

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Том 11

**МАТЕРИАЛЫ МЕМОРИАЛЬНОЙ
МИКОЛОГИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

Москва
2025

ББК 28.591
УДК 58-616.5
С56

Главный редактор
Кураков А.В.

Заместитель главного редактора
Сергеев А.Ю.

Редакционная коллегия:

Биланенко Е.Н.
Бурова С.А.
Ветчинкина Е.П.
Волобуев С.В.
Гагкаева Т.Ю.
Еланский С.Н.
Иванушкина Н.Е.
Кононенко Г.П.
Кочкина Г.А.

Краснопольская Л.М.
Левитин М.М.
Терешина В.М.
Наумова Е.С.
Сидорова И.И.
Стогниенко О.И.
Ткаченко О.Б.
Шнырева А.В.
Цивилева О.М.

С56 Современная микология в России. – Т. 11. Материалы мемориальной микологической конференции.
М.: Национальная академия микологии, 2025. – 328с.

В одиннадцатый том сборника «Современная микология в России» вошли труды общих и прикладных, не относящихся к медицине, секций состоявшейся в 2025 году в Москве Мемориальной микологической конференции, посвященной 25-летию Общероссийской Общественной организации «Национальная академия микологии», памяти ее основателя, первого Президента Академии Заслуженного Врача РФ профессора Юрия Валентиновича Сергеева, редактора данного сборника в 2002-2024 гг., и памяти других выдающихся микологов России.

Серия «Современная микология в России» издается с 2002 года и включает материалы Съездов микологов России и Микологических форумов.

ББК 28.591
УДК 58-616.5

*Издано в Российской Федерации в рамках программы
и по рекомендации Ученого совета Национальной академии микологии.*

ISBN 978-5-901578-45-2

© Национальная академия микологии, 2025

ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ МИКОЛОГИИ

В начале XXI века микологи, работающие в различных областях фундаментальной и прикладной науки, в медицинских, учебных, сельскохозяйственных и производственных организациях России осознали, что им необходимо свое общество. Это было крайне актуально после непростых 90-х годов XX века, когда были нарушены многие связи между специалистами разных регионов и направлений микологии, не проводились микологические съезды, остро ощущалось недофинансирование науки, образования, медицины, аграрного и других производств. Все это обусловило острое желание биологов, врачей и фармацевтов России объединиться в научное общество, которое распространяло бы микологические знания и принимало в свои ряды всех, кто изучает Царство Грибов, ищет нужные человеку грибные метаболиты и использует их в народном хозяйстве, распознает и лечит грибковые инфекции, борется с болезнетворными грибами, деструкторами материалов, паразитами и вредителями.

Такое общество должно было решить задачу организации регулярных Всероссийских съездов, на которых будут представляться достижения по всем направлениям фундаментальной и прикладной микологии, конференций и микологических школ по конкретным направлениям микологии, издавать периодические журналы, монографии, учебные пособия, чем способствовать реализации приоритетных исследовательских программ, внедрению их результатов в практику, подготовке высококвалифицированных научных кадров, содействовать международному сотрудничеству и интеграции российских ученых в мировое научное сообщество.

В конце XX века создать национальное общество микологов-врачей предложила профессор София Алексеевна Бузова. Но осуществить эту идею на всероссийском и междисциплинарном уровне мы смогли только под руководством профессора Юрия Валентиновича Сергеева – Заслуженного Врача России, автора крупнейших монографий и руководств по медицинской микологии, дерматологии и иммунологии. Читая курс по грибковым инфекциям студентам-медикам, работая с возбудителями микозов в лаборатории, Ю.В. Сергеев показал, что к началу XXI века наша медицинская микология отстает от прогресса биологии и генетики, а большинство врачей, работавших с грибковыми инфекциями человека, не имеют опыта сотрудничества с микологами вне медицины или даже на уровне смежных специальностей. А такие традиции всегда отличали русскую микологическую школу, они были заложены еще М.С. Ворониным и А.А. Ячевским, развивались Н.И. Вавиловым и Н.А. Наумовым, З.В. Ермольевой и З.Г. Степанищевой, В.И. Кудрявцевым и А.Х. Саркисовым. Этот опыт был утрачен к концу XX века. В течение десяти лет не выходило отечественных учебников по микологии, определителей грибов и пособий, которыми могли бы пользоваться разные специалисты: биологи,

врачи, биотехнологи и фармацевты, фитопатологи и ветеринарные врачи, не проводились и союзные или общероссийские микологические конференции.

Все это привело группу ученых-единомышленников: Ю.В. Сергеева, Ю.Т. Дьякова, Б.В. Уша, В.М. Лещенко, С.А. Бузову, М.М. Левитина и ряда других к созданию в 2000 году Общероссийской общественной организации – Национальной Академии Микологии (НАМ), и в этом же 2000 году она начала работу. Лидером, главным вдохновителем организации НАМ, проделавшим большую работу в объединении микологов Российской Федерации был профессор Ю.В. Сергеев, избранный Президентом НАМ и руководивший нашей Академией все последующие годы.

В деятельность НАМ внесли неоценимый вклад члены Президиума Академии прошлых лет: знаменитый микробиолог и биотехнолог профессор Е.П. Феофилова, классический миколог член-корр. РАН А.Е. Коваленко, эколог О.Е. Марфенина, а также профессор Л.В. Гарибова, с которой связано зарождение и развитие грибоводства в стране, специалисты в области экологической микологии член-корр. РАН И.Ю. Чернов и профессора Л.Л. Великанов, В.П. Прохоров, Л.В. Переведенцева, систематики грибов – профессора В.А. Мельник, С.М. Озерская, И.В. Каратыгин, М.А. Бондарцева, фитопатологи С.В. Лекомцева и А.Н. Лихачев. Их уже нет с нами, как и многих других замечательных ученых, прославивших российскую микологию и много сделавших для Академии. В медицинской микологии не стало выдающихся врачей: первого Вице-президента НАМ профессора В.М. Лещенко, его преемников по отделу микологии профессоров Г.И. Суколина, Ж.В. Степановой, ученицы А.М. Ариевича профессора В.Я. Кунельской, и В.С. Новоселова – много лет участвовавших в наших мероприятиях и всегда спешивших обменяться опытом и мнениями с коллегами, и самим черпать знания из фундаментальной микологии. Из Санкт-Петербургских выдающихся медицинских микологов ушел из жизни Н.П. Елинов и другие известные ученые – сотрудники НИИ медицинской микологии им. П.Н. Кашкина. Их память мы вечно чтим и будем вновь вспоминать их заслуги на заседаниях Мемориальной микологической конференции, труды делегатов которой вошли в настоящий сборник.

Что же мы успели сделать вместе за прошедшую четверть нового века?

Позади 5 Съездов микологов России, которые мы проводим каждые пять лет. В периоды между Съездами состоялись 4 Международных микологических Форума, 6 Всероссийских конгрессов по медицинской микологии, несколько общероссийских и межрегиональных конференций в Москве, Санкт-Петербурге и Екатеринбурге. Вице-президентом НАМ А.В. Кураковым с коллегами из Московского университета и Ботанического института РАН были возобновлено проведение мико-

логических школ для молодых ученых на Звенигородской биостанции. В работе конференций, форумов, микологических совещаний и школ за эти годы приняло участие более двадцати тысяч специалистов – настоящих и будущих микологов, из России и соседних стран.

Материалы этих больших – по крайней мере, континентального масштаба, – мероприятий вошли в десять томов сборника «Современная микология в России» и 26 томов «Успехов медицинской микологии» – наиболее объемных микологических сборников в мире, выходящих практически ежегодно. Между Съездами уже традиционно выпускается крупноформатное издание, коллективная монография или сборник лекций – «Микология Сегодня», издано 4 тома. Приложения к данной серии и отдельные издания составили более 50 наименований: учебные пособия, руководства, монографии – размещаемые публично в рамках издательской программы нашей Академии.

За период 2003–2020 гг. Национальная Академия Микологии стала участником многих международных научных объединений, таких как Международный Союз Микробиологических обществ (IUMS) и Международное общество медицинской и ветеринарной микологии (ISHAM). Также Академия вошла в состав Федерации Европейских микробиологических обществ (FEMS) и Международной микологической ассоциации (IMA), активно участвовала в работе этих обществ и международных исследовательских проектах. Академией выдавались гранты на участие молодых ученых из России в научных конференциях FEMS, EMA, IMA, ISHAM и тематических конференций за рубежом. Многие наши микологи являются членами Европейской Микологической Ассоциации (European Mycological Association), и принимали участие с докладами в ее конгрессах. Изменения международной обстановки в последние годы сместили приоритеты научного взаимодействия от участия в работе международных консорциумов в сторону развития отечественных научных и образовательных программ, импортозамещения и творческой кооперации микологов из всех регионов России и СНГ.

Национальная Академия Микологии разработала несколько наградных знаков и медалей, которые вручаются за выдающиеся успехи в фундаментальных и прикладных микологических исследованиях, медицине, преподавании; ими награждаются ученые-естественники и медицинские микологи. Самой главной из них является медаль А.А. Ячевского, одного из основателей отечественной микологии и фитопатологии, автора первого отечественного учебника по микологии. Инициатива введения такой награды была выдвинута Вице-Президентом НАМ профессором Ю.Т. Дьяковым и академиком РАН М.М. Левитиным – выдающимся советскими и российскими микологами и фитопатологами.

Первая церемония награждения медалью А.А. Ячевского состоялась в 2008 году, с тех пор медаль вручается на Съездах микологов каждые 5 лет. Этой медали были удостоены, в частности, такие крупные ученые-микологи, как профессора Т.В. Белозерская, М.В. Бибикина, И.И. Сидорова. Медицинскими и медико-биологическими секциями Академии под руководством Вице-Президента НАМ профессора С.А. Буровой позднее были разработаны медали «за заслуги в медицинской микологии» и в память о З.В. Ермольевой – микробиологе и создателе

отечественного пенициллина, этих наград удостоились видные ученые-биологи и врачи России. В Академии предусмотрено почетное членство и с 2020 г. вручается знак Почетного члена Академии.

Первый Съезд микологов России в 2002 был не первым мероприятием, которое провела Академия. Им явился симпозиум по систематике и номенклатуре грибов, который мы созвали в 2001 году. По материалам симпозиума его участники написали коллективную монографию «Новое в систематике и номенклатуре грибов», вышедшую в 2003 году. Ныне, двадцать лет спустя, подготовлено новое издание этой книги, которое увидит свет в наш юбилейный год. А на конференции в этом году мы собираемся обсудить вопросы современной систематики царства Fungi.

На конференции запланировано немало интересных докладов и сообщений, и большую часть их материалов Вы найдете на страницах этого издания. Из года в год ширится наша научная повестка, а залов и времени, как всегда, не хватает. Многие из тех, кто не сможет приехать в Москву, выступят онлайн. Дистанционные технологии преподавания – это тоже наследие Первого Президента Академии Ю.В. Сергеева, который провел первые микологические телемосты в 2007–2008 гг. Таких телемостов состоялось уже 70, в них и постоянно действующем с 2015 года образовательном семинаре Академии под руководством А.Ю. Сергеева успели принять участие более 30 тысяч специалистов.

Руководители Академии в сложную эпоху 2000-х годов: Президент НАМ Юрий Валентинович Сергеев, Вице-Президенты Юрий Таричанович Дьяков, Василий Михайлович Лещенко и другие известные микологи СССР заложили основу для независимого и устойчивого развития микологии в новой России.

Наша задача – быть достойными наших славных предков и предшественников, работать дружно, упорно и целеустремленно, стремиться к новым микологическим открытиям, созидать современную микологию в России во благо здоровья и процветания нашего народа.

С.А.Бурова

А.В.Кураков

А.Ю.Сергеев

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Current Mycology in Russia

Том 11

Выпуск 1.

**Фундаментальные вопросы
микологии**

Volume 11

Issue 1.

**Fundamental issues
of mycology**

Глава 1.

История микологии

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.01

Chapter 1.

History of mycology

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.01

Глава 2.

Генетика и систематика грибов

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.02

Chapter 2.

**Contemporary fungal genetics
and systematics**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.02

Глава 3.

**Морфология, физиология
и биохимия грибов**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.03

Chapter 3.

**Studies in fungal morphology,
physiology and biochemistry**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.03

Содержание выпуска 1

Глава 1. История микологии

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ВИЦЕ -ПРЕЗИДЕНТА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ МИКОЛОГИИ, РУКОВОДИТЕЛЯ ОТДЕЛА ОБЩЕЙ И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МИКОЛОГИИ Ю.Т. ДЬЯКОВА, ПОСВЯЩАЕТСЯ
Левитин М.М..... 8
ПРОДУЦЕНТ ПЕНИЦИЛЛИНА ВО ВРЕМЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ 1941-1945 ГГ. УДАЛОСЬ ОТЫСКАТЬ ДВУМ ГРУППАМ СОВЕТСКИХ УЧЕНЫХ: З.В.ЕРМОЛЬЕВОЙ И Г.Ф.ГАУЗЕ С М.Г.БРАЖНИКОВОЙ
Маланичева И.А. 9
П.В. СЮЗЕВ И Н.А. ПАЛЬЧЕВСКИЙ: ДВА ИСКРЕННИХ ЛЮБИТЕЛЯ ПРИРОДЫ И КОЛЛЕКТОРЫ МИКОЛОГИЧЕСКОГО ГЕРБАРИЯ ВСЕРОССИЙСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ
Полуэктова Е.В. 11
КОЛЛЕКЦИЯ КУЛЬТУР БАЗИДИОМИЦЕТОВ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.Л. КОМАРОВА В ГОД 70-ЛЕТНЕГО ЮБИЛЕЯ: ОСНОВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
Псурцева Н.В., Кияшко А.А., Сенник С.В., Майорова И.В., Шахова Н.В., Белова Н.В..... 12
ИСТОРИЯ ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИХ И МИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УРАЛЕ
Ширяев А.Г. 14
К ВОПРОСУ ОБ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНОЙ ШКОЛЕ
ПО ИММУНИТЕТУ РАСТЕНИЙ К БОЛЕЗНЯМ ГРИБНОЙ ПРИРОДЫ
Смирнов А.Н., Смирнова О.Г., Чебаненко С.И., Рогожин Е.А..... 16

Глава 2. Генетика и систематика грибов

ТЕМПЕРАТУРА +5 °С– ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВИДОВ *TALAROMYCES WORTMANII* И *T. RUGULOSUS*
Данилогорская А.А..... 19
НОВОЕ В СИСТЕМАТИКЕ РОДА *PENICILLIUM*
Данилогорская А.А..... 21
ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ РЕВИЗИЯ РОДА *ALTERNARIA* (СЕКЦИИ *PSEUDOULOCLADIUM* И *ULOCLADIOIDES*): ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ВИДОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РОССИЙСКИХ ШТАММОВ.
Гомжина М.М., Ганнибал Ф.Б. 22
СИСТЕМАТИКА ГРИБОВ РОДА *ASPERGILLUS* В XXI ВЕКЕ
Иванушкина Н.Е. 23
ЗИГОМИЦЕТОВЫЕ ГРИБЫ: РАЗНООБРАЗИЕ, СИСТЕМАТИКА, ЗИГОМИКОЗЫ
Кочкина Г.А. 24
СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМАТИКА ДРОЖЖЕЙ АСКОМИЦЕТОВ РОДА *SACCHAROMYCES*
Наумова Е.С. 26
СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМАТИКА МИКСОМИЦЕТОВ (МУХОМУСЕТЕС) В ИЗУЧЕНИИ ИХ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ И ФИЛОГЕНИИ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
Новожилов Ю.К., Щепин О.Н., Приходько И.С., Бортников Ф.М., Гмошинский В.Н., Шнитлер М. 26
НОВЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМАТИКИ *MALASSEZIA* SPP.
Сергеева М.А., Арзуманян В.Г..... 27
ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ, ТАКСОНОМИЯ, ЭКОЛОГИЯ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБОВ РОДА *EMERICELLOPSIS* J.F.H. ВЕУМА
Соколов В.В., Малышева К.В., Садыкова В.С., Биланенко Е.Н., Георгиева М.Л..... 30

Глава 3. Морфология, физиология и биохимия грибов

УРОВЕНЬ ПОЛИОЛОВ И УГЛЕВОДОВ ЦИТОЗОЛЯ ГРИБОВ КАК ИНДИКАТОР СТРЕССА, ВЫЗВАННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
Федосеева Е.В., Терешина В.М., Данилова О.А., Януцевич Е.А., Сергеева Ю.Д., Терехова В.А..... 31
БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОГО ШТАММА *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* DAG-1 ИЗ АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ
Халилова Э.А., Исламмагомедова Э.А., Аливердиева Д.А. 33
ЭКЗОМЕТАБОЛИТЫ НОВОГО ИЗОЛЯТА *RHIALOSERPHALA FORTINII* – ЭНДОФИТА КОРНЕЙ БРУСНИКИ
Кобякова О.Б., Стручкова И.В..... 34
ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ УРОВНЯ МОНООКСИДА АЗОТА НА ЛИГНОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ *LENTINUS EDODES* И *GRIFOLA FRONDOSA*
Лощинина Е.А..... 36
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТАМИ ШУМАНОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИНТЕНСИВНОСТЬ СПОРОНОШЕНИЯ ГРИБА *TRICHODERMA VIRENS*
Мелузов М.Н., Синицына Ю.В., Мшенская Н.С., Шарифова Ф.А..... 38
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗООБМЕНА КСИЛОТРОФНЫХ ГРИБОВ СУБАРКТИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ
Мухин В.А., Диярова Д.К., Жуйкова Е.В..... 39
СТАБИЛЬНОСТЬ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ *ASPERGILLUS FUMIGATUS* В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ
Насибов Э.М. 41

ОБРАЗОВАНИЕ ЭТИЛЕНА ДРОЖЖЕВЫМИ ГРИБАМИ РАЗНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП	
Петренко М.В., Поздняков Л.А., Качалкин А.В.....	43
NEUROSPORA CRASSA КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	
Потапова Т.В.	44
ЛАККАЗЫ ЛИГНИНОЛИТИЧЕСКИХ ГРИБОВ	
Позднякова Н.Н.	46
ГАЛОТОЛЕРАНТНОСТЬ РЕДКИХ ДРОЖЖЕЙ КИШЕЧНИКА	
Прокопьев В.В., Тадыков Д.А.	47
ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ КУЛЬТУРАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ	
Торопова Е.Ю., Селюк М.П.	49
ГЕТЕРОТАЛЛИЗМ И ГОМОТАЛЛИЗМ У ГРИБОВ: ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДЕТЕМИНАЦИЯ И ПРОГРАММЫ РЕАЛИЗАЦИИ	
Шнырева А.В.....	50
РОЛЬ МЕМБРАННЫХ ЛИПИДОВ И ОСМОЛИТОВ В АДАПТАЦИИ ЭКСТРЕМОФИЛЬНЫХ МИКРОМИЦЕТОВ	
К АБИОТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ	
Терешина В.М., Януцевич Е.А., Данилова О.А., Кочкина Г.А., Бондаренко С.А., Биланенко Е.Н., Георгиева М.Л.,	
Антропова А.Б., Гроза Н.В., Грум-Гржимайло О.А.....	51
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСКРИПТОМОВ ВЕГЕТАТИВНОГО МИЦЕЛИЯ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	
ЛЕКАРСТВЕННОГО БАЗИДИОМИЦЕТА <i>LENTINULA EDODES</i> С ОЦЕНКОЙ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТАБОЛИЗМА В ПРОЦЕССЕ	
ОНТОГЕНЕЗА	
Ветчинкина Е.П.	53

Глава 1

История микологии

10.14427/cmr.2025.xi.01

**СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ВИЦЕ - ПРЕЗИДЕНТА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ МИКОЛОГИИ,
РУКОВОДИТЕЛЯ ОТДЕЛА ОБЩЕЙ И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МИКОЛОГИИ
Ю.Т. ДЬЯКОВА, ПОСВЯЩАЕТСЯ**



Юрий Таричанович Дьяков
2.06.1932-22.05.2017

Ю.Т. Дьяков был самым авторитетным микологом и фитопатологом в нашей стране и за рубежом. Его научная и педагогическая деятельность в основном была связана с Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова. В Университете он прошел путь от ассистента кафедры микологии и альгологии до заведующего кафедрой.

Он одним из первых фитопатологов стал уделять внимание вопросам генетики фитопатогенных грибов и генетики иммунитета растений к болезням. В 60-е годы прошлого столетия в Советском союзе стала возрождаться генетика. Поэтому, в 1965 г стало возможным поставить генетический доклад на Всесоюзном совещании по иммунитету. На совещании присутствовали крупнейшие фитопатологи и селекционеры страны: профессора М.С.Дунин и М.В. Горленко, селекционеры академики П.П. Лукьяненко и В.С. Пустовойт. Руководил совещанием академик ВАСХНИЛ П.М. Жуковский. По предложению П.М. Жуковского доклад по проблемам генетики иммунитета было предложено сделать молодому ассистенту каф. низших растений МГУ Ю.Т. Дьякову. Он сделал блестящий доклад. В нем описывались известные в то время гены устойчивости к грибным, бактериальным и вирусным заболеваниям, их расположение на хромосомах, плейотропное и эпистатическое действие генов по отношению к некоторым расам возбудителей. Это было первое свободное выражение мировых достижений в области классической генетики применительно к проблемам фитоиммунитета.

Доклад Ю.Т. был воспринят как программа развития работ в области генетики иммунитета. С тех пор Ю.Т. Дьяков стал лидером в этой области науки в нашей стране.

В дальнейшем Ю.Т. выдвинул ряд кардинальных проблем в решении вопросов генетики иммунитета:

- изучение первичных продуктов генов устойчивости и вирулентности;
- изучение рецепторных взаимодействий, приводящих к возникновению защитных реакций;
- изучение медиаторов, передающих сигнал об изменении генной активности на хромосомы;
- изучение рецепторов специфических супрессоров и их локализация;
- изучение механизмов супрессии;
- изучение функций генов вирулентности или авирулентности фитопатогенов и устойчивости или восприимчивости растений- хозяев.

Особое внимание (можно сказать всю свою жизнь) Ю.Т.Дьяков уделял генетике взаимоотношений паразита и хозяина. В монографии «Фундаментальная фитопатология» (2012) он напишет: «Сквозная линия, объединяющая основные проблемы фитопатологии – изучение взаимодействий высшего и низшего организмов – растения-хозяина и паразита. Без знания, анализа и использования в практике этих взаимоотношений самые устойчивые сорта быстро теряют устойчивость, самые активные фунгициды будут малоэффективны» (с.9).

Наряду с проблемами взаимоотношений паразита с растениями Ю.Т. Дьяков уделял внимание проблеме сходства иммунитета растений, животных и человека. Он писал: «в процессах, обеспечивающих жизнедеятельность клетки и ее взаимодействие с окружающей средой между простейшими эукариотами – дрожжами, и венцом творения – человеком, гораздо больше общего, чем специфического» (Фундаментальная фитопатология, 2012, с.352). Действительно, патогенные для растений и животных микроорганизмы выделяют сходные метаболиты – иммуномодуляторы, влияющие на иммунную систему. Иммуномодуляторы фито и зоопатогенов сходны по строению и механизму действия на хозяев. Близкие по структуре углеводы (β -глюканы, хитин и др.) служат иммуномодуляторами и растений, и животных. Грибные циклические пептиды также являются иммуносупрессорами и у растений, и у животных. Известно существование у растений МАР-киназной сигнальной системы. Она сопровождается активацией

внутриклеточных биохимических процессов, связанных с накоплением салициловой кислоты. Устойчивость сопровождается аккумуляцией салициловой кислоты благодаря активации генов защитного ответа. Салициловая кислота играет важную роль и в регуляции защитных реакций животных. Много общего между апоптозом у растений и животных. Индукторами апоптоза у растений и животных могут быть одни и те же иммуномодуляторы микроорганизмов.

Научная деятельность Юрия Таричановича была связана с самыми актуальными проблемами фитопатологии: иммунитетом растений к болезням, генетикой фитопатогенных грибов, физиологией и биохимией, популяционной и эволюционной биологией, цитогенетикой и селекцией съедобных грибов и др.

Значительную часть жизни этого ученого занимала педагогическая деятельность. Он читал курс низших растений, генетики грибов, лекции по фитопатологии, иммунитету растений к болезням, фитопатогенным вирусам. Своими лекциями, глубиной знаний предмета, он привлекал студентов к познанию микологии и фитопатологии. Им подготовлены десятки специалистов, работающих в защите растений и смежных областях, более 40 кандидатов и около 10 докторов наук.

Ю.Т. Дьяков известен своей публикационной активностью. Им опубликовано 22 монографии и ряд учебников, более 400 научных статей. Его публикационная активность в полном объеме отражена в публикации Бюл. Моск. О-ва испытателей природы (2017. Т. 122. вып. 6. С. 71-79). Юрий Таричанович обладал колоссальной эрудицией. Не случайно, помимо книг, написанных по специальности, им опубликованы «История христианской церкви, рассказанная рационалистом» (2013),

«Христианство и гуманизм. Место церкви в развитии человеческого общества» (2014). Юрий Таричанович был прекрасным популяризатором микологии. Им опубликован ряд обзорных статей в журнале «Природа» и книга «Занимательная микология» (2001).

Ю.Т.Дьяков известен своей общественной деятельностью. В течение многих лет являлся главным редактором журнала «Микология и фитопатология», членом редколлегии журнала «Известия РАН, сер. биология», принимал непосредственное участие в организации многих микологических конференций. Ю.Т. Дьяков являлся Заслуженным профессором МГУ, Заслуженным работником высшей школы РФ, академиком РАЕН.

В 2000 г. Ю.Т. Дьяков стал одним из инициаторов создания Национальной академии микологии. Он проявил огромную активность в привлечении микологов и фитопатологов к работе в секциях академии. Будучи Вице-Президентом, он способствовал организации Съездов микологов России, микологических форумов, тематических конференций. Он был главным редактором многих микологических изданий Академии – сборников «Микология сегодня», «Современная микология в России», коллективной монографии «Новое в систематике и номенклатуре грибов»

Говорят, человек вечен, пока сохраняется память о нем.

Светлая память Юрию Таричановичу Дьякову!

М.М. Левитин, академик РАН

ПРОДУЦЕНТ ПЕНИЦИЛЛИНА ВО ВРЕМЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ 1941-1945 ГГ. УДАЛОСЬ ОТЫСКАТЬ ДВУМ ГРУППАМ СОВЕТСКИХ УЧЕНЫХ: З.В.ЕРМОЛЬЕВОЙ И Г.Ф.ГАУЗЕ С М.Г.БРАЖНИКОВОЙ

Маланичева И.А.

НИИ по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе, Москва

Появление первых антибиотиков в 30-х гг. 20 века вызвало острый интерес мирового научного сообщества в целом и еще более острый – среди медиков и микробиологов. Поэтому поисками новых веществ стали заниматься ученые по всему миру. Война еще более обострила этот интерес, переведя его из научно-медицинского в практический и оборонный. Поскольку первым антибиотиком, получившим мировую известность, стал пенициллин, то объектом поисков вначале был именно он. Видимо, тогда еще было не вполне ясно, что кроме пенициллина существуют и другие антибиотики, что, впрочем, выяснилось довольно скоро.

Первыми, открывшими сам факт образования пенициллина и его продуцент, *Penicillium notatum*, (А.Флеминг, 1881-1955), разработавшими технологию его получения и наладившими его производство в США уже в первые годы войны (Г.Флори (1898-1968) и Э.Чейн (1906-1979)), были англичане. И хотя Англия, США и СССР были военными союзниками, доступ к англо-американскому пенициллину (во время позже начавшейся для СССР войны с Германией) у СССР был весьма ограничен, поэтому руководством страны было решено

в максимально сжатые сроки создать собственный антибиотик для нужд армии – для спасения раненых в полевых и тыловых госпиталях.

К моменту принятия этого решения ближе всех к заданной цели в своих исследованиях находилась З.В. Ермольева (1898-1974), известный советский микробиолог и эпидемиолог, всю жизнь искавшая средства борьбы с инфекциями, которая уже успела проявить свои возможности на войне летом 1942 года в самом начале битвы за Сталинград. Зинаиде Виссарионовне удалось с помощью разработанных ею фаговых препаратов предотвратить начавшуюся эпидемию холеры среди городского населения и войсковых частей. Поэтому именно ей было поручено получение пенициллина с оказанием всемерной поддержки. Ценой напряженной работы всего коллектива под руководством З.В.Ермольевой во Всесоюзном институте экспериментальной медицины (ВИЭМ) по официальной версии в 1942 г. им удалось получить активный продуцент пенициллина, *Penicillium crustosum*. Благодаря этому открытию в СССР началось сначала ограниченное, а впоследствии и массовое производство пенициллина-крустозина. И хотя добиться этого

удалось только ближе к концу войны, жизнь и здоровье многих раненых удалось спасти благодаря подвигу ученых.

Таким образом, З.В.Ермольева вошла в историю советской и военной медицины как создатель отечественного пенициллина [1].

Однако, группа З.В.Ермольевой не была единственной, кому удалось получить пенициллин во время войны. Причем этот поиск был успешно проведен молодыми учеными, которые до войны, в отличие от З.В.Ермольевой, уже зарекомендовали себя именно как микробиолог-инфекционист, работали по совсем другим специальностям и направлениям. Публикации их работ в военный период свидетельствуют о том, что ими также был найден продуцент пенициллина и разработана технология его получения.

Известный ученый-эколог и эволюционист Г.Ф.Гаузе (1910-1986), один из основоположников современной экологии, переосмысливший понятие «экологической ниши» и автор закона Гаузе, с началом войны отошел от «тематики мирного времени» и стал, как и многие советские ученые, работать на оборону страны. С 1940 г. он занимался изучением действия дезинфицирующих веществ и дезинфекцией почвы в зимних и летних условиях. До открытия антибиотиков эти исследования рассматривались как поиск защиты от бактериологического оружия. Но, когда к нему попали статьи 1939 г. американского исследователя Р.Дюбо (1901-1982) об открытии антибиотика тиротрицина и его продуцента *Bacillus brevis*, то он вместе со своей супругой Марией Георгиевной Бражниковой (1913-1998), тогда еще аспиранткой ВИЭМ, немедленно переключился на поиски антибиотиков, поскольку ему сразу стал ясен потенциал этих новых «дезинфицирующих» веществ именно для нужд военной медицины. Из МГУ, где Гаузе сначала учился (1927-1931 гг.), а затем работал все довоенное время, он перешел в Тропический институт Наркомздрава СССР, где по договоренности с его директором П.Г.Сергиевым в начале 1942 г. ему была предоставлена лаборатория для этой цели [2].

По-видимому, работа велась почти одновременно в направлении поисков и тиротрицина и пенициллина, поскольку даты первых публикаций о нахождении антибиотиков одинаковы – 1943 год.

Довольно скоро у штамма *Bacillus brevis* var. G.-В. Гаузе и Бражниковой было найдено активное вещество, оказавшееся родственным грамицидиновым компонентам тиротрицинового комплекса, открытого Р.Дюбо; ему дали название грамицидин С (Советский) для отличия от грамицидина Дюбо. Впоследствии, однако, оказалось, что грамицидин С – химически оригинальное вещество, циклический декапептид из пяти дважды повторяющихся аминокислот: L-лейцина, L-орнитина, L-валина, L-пролина и D-фенилаланина. Считается, что бактерицидное действие грамицидина С лежит достигается присутствием в его молекуле именно D-изомера фенилаланина [2,3].

Авторы разработали технологию получения грамицидина С, и как и крустозин Ермольевой, его стали производить сначала в небольшом масштабе, затем в производственных отделах Института эпидемиологии и микробиологии по всей стране.

Кроме работ по советскому грамицидину Гаузе и Бражникова параллельно проделали огромную работу и по поиску пенициллина. По-видимому, работы З.В.Ермольевой по пенициллину были засекречены, т.к. в статье Г.Ф.Гаузе и М.Г.Бражниковой перед описанием

исследований по поиску продуцентов пенициллина имеется следующая фраза:

«...Современи случайного нахождения А.Флемингом штамма-продуцента пенициллина *Penicillium notatum* систематических поисков новых активных штаммов пенициллов не проводилось до самого последнего времени, и работа нашей лаборатории представляет собой первую попытку с этим направлением.» (!) [4].

Они установили, что пенициллино-подобные вещества образуют до 10% из проверенных ими 150 штаммов плесневых грибов рода *Penicillium*. С использованием самого активного из продуцентов, (сопоставимого по активности со штаммом Флеминга), ими также была разработана технология получения пенициллина. Однако, как признавали сами авторы, выход из пенициллина-сырца очищенного вещества, пригодного для внутривенного применения, оказался ничтожно малым. Тем не менее, для применения в офтальмологии хорошо подходил и неочищенный препарат, что было подтверждено успешными испытаниями в московских госпиталях [4].

В конце 1944 г. на 1-й Прибалтийский фронт выехала бригада врачей под руководством Главного хирурга Красной армии Н.Н.Бурденко, в составе которой группам З.В.Ермольевой и Г.Ф.Гаузе предстояло испытать разработанные ими, соответственно, пенициллин и грамицидин С во фронтовой обстановке. И оба антибиотика с успехом прошли эту апробацию [5].

Таким образом, первые отечественные медицинские антибиотики, созданные в военном 1942 году и спасшие множество жизней, стали огромным научным достижением и подвигом советских ученых, приблизившим Победу.

На современном этапе в связи с быстро развивающейся устойчивостью патогенных бактерий постоянно разрабатываются все новые и новые поколения полусинтетических пенициллинов и других β-лактамов антибиотиков, т.к. они, обладая высокой клинической эффективностью и низкой токсичностью, по-прежнему составляют основу антимикробной химиотерапии и занимают ведущее место при лечении большинства инфекций.

Грамицидин С прошел проверку временем, этот антибиотик и сейчас эффективно используется при лечении инфекционно-воспалительных заболеваний и гнойных ран.

Список литературы

1. Ермольева З.В. Пенициллин. 1946. – М.: Медгиз, 153 с.
2. Галл Я.М. Георгий Францевич Гаузе. (1910–1986). 2012 – СПб.: Нестор-История, 234 с.
3. Андрюков Б.Г., Беседнова Н.Н., Запорожец Т.С. К 80-летию создания грамицидина С: от изучения асимметрии бактериальных молекул к открытию антимикробных пептидов // Антибиотики и Химиотерапия. 2022. 67(3-4). С. 85-92. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2022-67-3-4-85-92>
4. Гаузе Г.Ф., М. Г. Бражникова М.Г. Грамицидин и пенициллин. В кн. «Достижения советской медицины в годы Отечественной войны» под редакцией проф. Е. Б. Бабского, проф. И. Г. Кочергина и проф. В. В.Парина. Сборник 1. 1943. М.: Наркомздрав СССР, Медгиз. С.149-162.
5. Новые методы лечения раненых. Бригада академика Н.Н.Бурденко на фронте // Известия Советов депутатов трудящихся СССР. 30 ноября 1944 г. №283 (8585). С.2

**П.В. СЮЗЕВ И Н.А. ПАЛЬЧЕВСКИЙ: ДВА ИСКРЕННИХ ЛЮБИТЕЛЯ ПРИРОДЫ
И КОЛЛЕКТОРЫ МИКОЛОГИЧЕСКОГО ГЕРБАРИЯ ВСЕРОССИЙСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ**

Полужктова Е.В.

ВНИИ защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин

Микологический гербарий Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) имеет давнюю историю. В 1892 году А.А. Ячевский собрал первые образцы грибов, положив начало большому гербарию. Коллекция активно пополнялась за счет сборов отечественных и зарубежных микологов, включая редкие и ценные образцы, и к 1917 году насчитывала 100 тысяч образцов. В настоящее время гербарий содержит около 150 тысяч единиц хранения. География сборов распростиралась от Мурманской, Архангельской, Вологодской губернии до Бессарабии, Кавказа и Закаспийской области (Берестецкая и др., 2012).

Несмотря на то, что первая четверть XX века в России была насыщена непростыми событиями (Русско-Японская и Первая мировая война, революция 1917 г., Гражданская война), труд отечественных ботаников и микологов в длительных экспедициях по сбору и обработке гербария, отправке и идентификации образцов, их сохранению продолжался даже в самых тяжелых обстоятельствах. Результатом этой деятельности стало ценное научное наследие для последующих поколений.

В Микологическом гербарии ВИЗР помимо персональных коллекций известных микологов А.А. Ячевского, Н.А. Наумова, М.К. Хохрякова, П.Н. Головина, А.С. Бондарцева находятся образцы Н.М. Мартыанова, П.В. Сюзева, К.Е. Мурашкинского, Н.А. Пальчевского и многих других исследователей. Многие из этих ученых участвовали в крупных длительных экспедициях по неизученным территориям, развивали музейное дело и вели педагогическую деятельность. В данной работе хотелось бы подробнее остановиться на истории жизни и деятельности Н.А. Пальчевского и П.В. Сюзева, выдающихся специалистов в области ботаники и коллекторах Микологического гербария ВИЗР.

Значительное количество образцов, собранных на Дальнем Востоке России в конце XIX-начале XX века, принадлежит Н.А. Пальчевскому. Николай Александрович был направлен туда на службу после окончания военного училища, а свободное от работы время он посвящал исследованию дальневосточной флоры (Хисамутдинов, 1998). В 1888 году Пальчевский был командирован военным губернатором Приморской области для исследования причин появления «пьяного хлеба» и условий, благоприятствующих развитию этого неизвестного ранее заболевания на злаках. Использование зараженного зерна в пищу человеком и на корм животным вызывало отравление и стало настоящим бедствием для приморских крестьян. Несмотря на то, что Н.А. Пальчевский был ботаником-самоучкой и не имел необходимого оборудования, он смог собрать обстоятельный микологический материал, который затем представил для обработки академику М.С. Воронину (Сюзов, 1909, а). Результат этого исследования был отражен в его единственном большом научном труде «Болезни культурных злаков Южно-Уссурийского края», изданном в 1891 году. В ходе этой работы была собрана коллекция образцов *Fusarium roseum* Link, которая является раритетом Микологиче-

ского гербария ВИЗР, а также ряд других микроскопических грибов, найденных на колосьях местных злаков. По итогам проведенных Николаем Александровичем сборов был впервые опубликован список грибов Южно-Уссурийского края.

Другие эксикаты Н.А. Пальчевского были собраны позднее, в 1902-1903 годах в путешествии по южному Приморью, в Первой Сихотэ-Алинской экспедиции 1906 года и некоторых других поездках (Хисамутдинов, 2005). Позднее, собранный Пальчевским микологический материал был отправлен для определения А.А. Ячевскому, который предназначил эти образцы для Bulletin de la Societe Mycologique de France (Сюзов, 1909, а).

В Никольске-Уссурийском весной 1905 года Н.А. Пальчевский познакомился с П.В. Сюзовым, ботаником из Пермской губернии. Вместе они совершили несколько совместных ботанических экскурсий, в которых Николай Александрович, посвятивший четверть века своей жизни изучению природы Дальнего Востока, оказал Сюзову большую помощь в ознакомлении с местным растительным миром (Николаев, 1958).

Павел Васильевич известен своей колоссальной работой по изучению флоры Пермской губернии, он также был одним из организаторов Русского Ботанического общества (Демина, 2017). Сюзов работал в ботанической лаборатории Московского университета, в 1891-1894 гг. занимался изучением флоры Средней России. До 1914 года служил помощником Ильинского окружного лесничего в Пермском имении графа Строганова (Николаев, 1958). В своей жизни П.В. Сюзов прошел большой путь от ботаника-любителя до профессора кафедры биологии педагогического университета (Чернов, 2007).

Этот путь был непростым, полным неожиданных поворотов и событий. На военной службе Павел Васильевич находился в Маньчжурии, во время русско-японской и первой мировой войны – был мобилизован артиллеристом на Дальний Восток, с 1916 года служил на юго-западе европейской части России, – и только после 1917 года вернулся на Урал. Но где бы ни оказывался исследователь, он всегда находил время и возможность сбора и подготовки гербария (Демина, 2017). В походах по Маньчжурии отсыревшие от дождя образцы, ботаник просушивал на специальном самодельном настиле из деревянных жердей над углями костра, во время поездок по Восточно-Китайской железной дороге – над горячим котлом в кабине машиниста (Николаев, 1958), а в путешествии из Японии на Урал на пароходе, исследователь помещал растения около вытяжных труб машинного отделения (Чернов, 2007).

Несмотря на то, П.В. Сюзов был известен как ботаник, его научные интересы были крайне разнообразны. Сюзов привлекал внимание лесоводов к проблеме патологии древесных растений, в 1894 году он выступил с докладом о болезнях растений, вызываемых грибами, в музее Пермской комиссии Уральского общества любителей естествознания (Николаев, 1958). В 1900 году в результате многолетних сборов им была опубликована статья «Важнейшие болезни деревьев и кустарников от

поражения их частей паразитными грибами на Урале», в которой был перечислен 71 вид фитопатогенных грибов для растений разных семейств (Чернов, 2007).

В 1898 году в «Материале к микологической флоре Пермской губернии» Сюзев писал «Я не упускал случая собирать растения с явно выраженными признаками поражения паразитическими грибами, хотя у меня вообще было мало надежды на самостоятельное определение и обработку последних» (Сюзев, 1899). В своих работах, Павел Васильевич нередко обращался к А.А. Ячевскому для идентификации возбудителей болезней растений. В книге «Наставление для собирания и засушивания растений для гербария», говоря о растениях с признаками поражения паразитическими грибами, ученый ссылается на работы Ячевского, как на наиболее авторитетный источник в этом вопросе (Сюзев, 1909, 6). В 1910 году П.В. Сюзев опубликовал труд, в котором представил список из 57 видов грибов, собранных на юге Дальнего Востока России и северо-востоке Китая (Николаев, 1958). В этом каталоге присутствуют как сапротрофные, так и паразитические грибы, например, *Pucciniastrum tiliae*, паразитирующий на липе (Siuzev, 1909). Идентификацию этих образцов проводили А.А. Ячевский, В.А. Траншель и А.С. Бондарцев. В работе «Материал к микологической флоре Пермской губернии» значительная часть грибов (около 100 видов) также была определена именно Артуром Артуровичем Ячевским (Сюзев, 1899).

В микологическом гербарии ВИЗР хранятся образцы П.В. Сюзева, собранные в период 1890–1920 гг. в Пермской губернии, некоторые из этих образцов (в основном ржавчинные грибы из родов *Puccinia*, *Uredinopsis*, *Pucciniastrum*, *Melampsora*) входят в сборник «Паразитические грибы, собранные на растениях Пермской флоры». Кроме того, в коллекции находятся его образцы из Бессарабии, Московской и Подольской губерний.

Оглядываясь на истории жизни П.В. Сюзева и Н.А. Пальчевского, можно с уверенностью сказать, что этих исследователей объединяла любовь к своему делу и его продолжение в самых непростых обстоятельствах. «Мы оказались близки лишь как два искренних любителя природы», – писал Павел Васильевич в «Вос-

поминании о Н.А. Пальчевском» (Сюзев, 1909, а). Увлеченность и многолетний труд этих ученых способствовали дальнейшему развитию фундаментальных и прикладных исследований в области микологии и фитопатологии. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 19-76-30005)

Список литературы

1. Берестецкая Л.И., Дмитриев А.П., Левитин М.М. Микологический гербарий Всероссийского института защиты растений Вестник защиты растений. 2012. 3. С. 58–61.
2. Хисамутдинов А.А. Николай Александрович Пальчевский Вестник ДВО РАН. 1998. №4. С.72–81.
3. Сюзев П.В. Воспоминание о Н. А. Пальчевском (с портретом) Отдельный оттиск изъ «Трудовъ Ботаническаго Сада Императорскаго Юрьевского Университета». Типография К. Матисена, Юрьевъ. 71–74. 1909. а)
4. Хисамутдинов А.А. «Мне сопутствовала счастливая звезда...»: Владимир Клавдиевич Арсеньев (1872–1930 гг.). Владивосток. Дальнаука. 2005. 254 с
5. Демина И.В. Беззаветный любитель природы из села Ильинского. К 150-летию со дня рождения Павла Васильевича Сюзева Архив города Перми. 2017. URL: <https://www.permarchive.ru/index.php?page=bezzavetnyj-lyubitel-prirody-iz-sela-ilinskogo>.
6. Николаев С.Ф. Испытатель природы Павел Васильевич Сюзев. Замечательные люди Прикамья. Пермское книжное издательство. Пермь. 1958. 55 с.
7. Чернов Н.Н. К 140-летию лесовода и ботаника Павла Васильевича Сюзева Уральский государственный лесотехнический университет. 2007. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-140-letiyu-lesovoda-i-botanika-pavla-vasilievicha-syuzeva/viewer>.
8. Сюзев П.В. Материал к микологической флоре Пермской губернии. Москва: типо-лит. т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1899. 10 с.
9. Сюзев П.В. Гербарий. Наставление для собирания и засушивания растений для гербария. 1909. 117 с. 6)
10. Siuzev P. Enumeratio fungorum in Oriente Extremo anno 1905 collectorum Extrait des «Travaux du Musee Botanique de l'Academie Imperiale des Sciences de St.-Petersburg», VII.1909. 9 p.

КОЛЛЕКЦИЯ КУЛЬТУР БАЗИДИОМИЦЕТОВ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.Л. КОМАРОВА В ГОД 70-ЛЕТНЕГО ЮБИЛЕЯ: ОСНОВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Псурцева Н.В., Кияшко А.А., Сеник С.В., Майорова И.В., Шахова Н.В., Белова Н.В.
Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

Ботанический институт им. В.Л. Комарова обладает бесценным коллекционным фондом, в состав которого наряду с гербариями, коллекцией Ботанического сада, коллекциями Ботанического музея и ископаемых растений входит Коллекция культур базидиомицетов (LE-BIN). Коллекция LE-BIN начала создаваться в 1955 г. на базе лаборатории биохимии грибов (современное название) для изучения полезных свойств и биологически активных метаболитов грибов в чистой культуре. Основой этих исследований явилось всестороннее изучение дереворазрушающего гриба *Inonotus obliquus* в 1960-е годы, позволившее создать медицинский препарат Бефунгин. Первая монография, посвященная биологически активным веществам высших грибов, была опубликована А.Н. Шивриной в 1965 г. Систематический состав коллекции впервые был опубликован

в 1978 г. и к моменту опубликования первого списка видов коллекция насчитывала свыше 500 штаммов 194 видов). Первый каталог коллекции был опубликован в 1992 г. и содержал информацию о 470 штаммах 300 видах из 126 родов. Развитие коллекции в те годы шло по пути расширения видового и штаммового разнообразия базидиальных грибов, обладающих биологической активностью. С использованием коллекционных штаммов активно проводились исследования протеолитических и окислительных ферментов, противоопухолевых веществ, стероидов и низкомолекулярных соединений. Были выявлены и запатентованы штаммы-продуценты ферментов с фибрино-тромболитической и моноксидоредуктазной активностью, оксидоредуктаз с высокой лакказной и пероксидазной активностями и других веществ. Всего на различные научные изобре-

ния с применением штаммов LE-BIN было зарегистрировано 27 авторских свидетельств и патентов. Однако, начиная с середины 1990-х в коллекции была сформулирована концепция ее дальнейшего развития, основанная на идее сохранения биоразнообразия *ex situ*. План развития коллекции стал включать сохранение в культуре таксономического и экологического разнообразия базидиомицетов с акцентом на сохранение редких, исчезающих и эктомикоризных грибов и культивирование видов, полезных для биотехнологии и медицины. С тех пор видовое и штаммовое разнообразие коллекции неуклонно возрастало. В 2007 г. было выпущено 2-е расширенное и актуализированное издание каталога коллекции, в которое вошло 1463 штамма агарикоидных, афиллофороидных и гастероидных макромицетов более 500 видов из 200 родов, 55 семейств и 24 порядков, а также представлен список из 14 штаммов сумчатых макромицетов, которые с начала 2000-х годов также вошли в состав коллекции [1].

В конце второй декады XXI века отношение в нашей стране к проблеме сохранения разнообразия и биоресурсных коллекций со стороны правительства заметно улучшилось. Появились проекты, финансируемые из бюджетных средств, на поддержание биоресурсных коллекций (БРК). Это благотворно отразилось на количестве пополняемых коллекцию образцов, улучшении условий их сохранения и качественной верификации, в том числе с использованием технологии ДНК-штрихкодирования. Например, за предыдущие четыре года выполнения работ по проекту БРК (2021 – 2024 гг.) в коллекционный фонд было введено 599 новых штаммов. Сопроводительная информация по каждому из штаммов занесена в коллекционный Журнал поступлений. Для 651 штамма получены качественные последовательности ITS1-5.8S-ITS2 региона rDNA и проведено их депонирование в международный генетический банк NCBI. Оцифрованы признаки колоний 826 коллекционных штаммов грибов, подготовлены паспорта для 148 штаммов. База данных Коллекции пополнена записями о более чем 2800 штаммах, в настоящее время она включает информацию о всех штаммах коллекционного фонда LE-BIN и доступна на сайте БИН РАН.

В коллекции применяются современные методы для поддержания и работы с культурами. Штаммы сохраняются параллельно 3-мя способами: в пробирках на скошенном сусло-агаре и мицелиальными дисками под стерильной дистиллированной водой при 4 °C, а также мицелиальными дисками в 10% растворе глицерина методом криоконсервации при -80 °C [2].

Анализ таксономической структуры и разнообразия штаммов коллекционного фонда показал, что разнообразие грибов в LE-BIN сопоставимо с крупнейшими коллекциями культур мира. На 1 апреля 2025 г. в коллекции насчитывается 4115 штаммов 906 видов из 410 родов, принадлежащих к 3 классам базидиальных и 4 классам сумчатых макромицетов. Абсолютное большинство штаммов (98%) составляют представители Basidiomycota из 97 семейств. Расширение штаммового разнообразия также является приоритетной задачей развития коллекции. В составе фонда насчитывается 67 видов макромицетов с не менее 10 штаммами, в то время как 426 видов представлены лишь 1 штаммом. Корректная идентификация сохраняемых грибов еще одна важнейшая задача коллекции. Несмотря на активное применение современных молекулярных методов идентификации, до уровня вида определено 3054 штамма, 869 штаммов идентифицированы до рода (в коллекции

насчитывается 42 рода с не менее 10 неопределенными до вида штаммами), а для 192 штаммов известно лишь об их принадлежности к Basidiomycota.

До 2012 г. в коллекции сохранялось разнообразие макромицетов преимущественно российского происхождения, но затем была сформулирована задача по сохранению *ex situ* и изучению микобиоты макромицетов Вьетнама при сотрудничестве с Совместным Российско-Вьетнамским Тропическим и Научно-Исследовательским и Технологическим Центром. За весь период этого сотрудничества было организовано свыше 20 экспедиций в национальные парки и заповедники Вьетнама для получения чистых культур макромицетов, в ходе которых в коллекцию было введено 875 штаммов, 327 из которых были генотипированы. Многие из этих штаммов являются потенциально новыми или малоизученными видами, что представляет собой полезный ресурс как для таксономических исследований, так и для поиска новых лекарственных грибов и продуцентов биологически активных соединений [3].

Коллекционный фонд LE-BIN на современном этапе продолжает являться основой для многочисленных исследований и практических разработок как сотрудников БИН РАН, так и сторонних организаций. В лаборатории биохимии грибов проводятся исследования культурально-морфологических и структурно-функциональных особенностей макромицетов на вегетативной и генеративной стадиях развития [2]. Например, проведен скрининг 550 коллекционных штаммов из около 350 афиллофороидных и агарикоидных видов, направленный на поиск штаммов, обладающих высокими активными ферментами лигнолитического и целлюлолитического комплекса. Высокая оксидоредуктазная активность была обнаружена у более 70% грибов, относящихся к различным экологическим группам (ксилотрофы, подстилочные и почвенные сапротрофы). Наиболее активные штаммы *Panus rudis* LE-BIN 1566, *Trametes hirsuta* LE-BIN 072, *T. gibbosa* LE-BIN 1911, *Coriolopsis caperata* (*Cerrena caperata*) LE-BIN 0677, *Lenzites betulinus* LE-BIN 2047 были изучены в погруженных условиях в качестве штаммов-продуцентов лакказ. Для ряда штаммов был проведен тест с полифенольным красителем – азуром Б и было показано, что представители семейств *Meruliaceae*, *Polyporaceae*, *Fomitopsidaceae*, *Hymenochaetaceae* и *Hericiaceae* относятся к группе грибов, показавших высокий уровень биодegradации этого субстрата и перспективны для использования в технологиях биоконверсии и биоремедиации. Впервые у представителей семейства *Steccherinaceae*: *Steccherinum ochraceum* LE-BIN 1833, *S. bourdotii* LE-BIN 2738 и *Junghuhnia nitida* LE-BIN 2013 были выделены и охарактеризованы лакказы и установлено, что лакказы, продуцируемые штаммом *S. ochraceum* отличались высокой термостабильностью и ацидофильностью, что позволяет использовать данные ферменты в биотехнологических процессах при высоких температурах и низких значениях pH. На примере штамма *S. ochraceum* LE-BIN 3174 были получены новые сведения о генетических и ферментативных механизмах, управляющих адаптацией к поздним стадиям разложения древесины.

Анализ ресурсного потенциала более 180 вьетнамских штаммов на скорость роста и ферментативную активность оксидаз, протеиназ и целлюлаз подтверждает важность тропических штаммов для экологии, биотехнологии и медицины. Из исследованных штаммов 53 показали высокую скорость роста, 43 – высокую целлюлолитическую активность, 73 – высокую активность

окислительных ферментов и 27 – высокую протеолитическую активность, что делает их перспективными кандидатами для биотехнологического и медицинского применения и открывает новые возможности для управления процессом накопления биомассы, открытия новых ферментов и биологически активных веществ, разработки новых лекарств и эффективных технологий переработки растительных отходов [3].

Традиционным направлением лаборатории является изучение липидов. Хотя базидиомицеты редко используются в качестве продуцентов масел, они содержат незаменимые жирные кислоты, такие как линолевая и линоленовая, в липидном профиле, обычно в качестве основных компонентов. Омега-3 и омега-6 полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) выполняют множество биологических функций в организме человека, например, влияют на воспалительный каскад, снижают уровень холестерина в крови и окислительный стресс, обеспечивают нейропротекцию и защиту сердечно-сосудистой системы. Липидомное профилирование 38 штаммов грибов, относящихся к Agaricales (12 образцов), Polyporales (17), Russulales (5), Gleophyllales (2), Cantharellales (1), Auriculariales (1) и Phallales (1) из коллекции LE-BIN, показало, что большинство штаммов являются источниками фосфолипидов, богатых ПНЖК, а именно линолевой C18:2 и линоленовой C18:3 кислотами. Фосфолипиды изученных штаммов на 70-80% состояли из линолевой кислоты. Среди съедобных грибов у штамма *Flammulina velutipes* LE-BIN 1483 наблюдали максимальное количество линоленовой кислоты (10% от 18:2/18:3 молекулярных видов фосфатидилхолинов), при этом содержание общих липидов составило 9-11% от сухой массы. Было также показано, что *Sparassis crispa* LE-BIN 2902, *Tyromyces lacteus* LE-BIN 3990, *Dentipellis fragilis* LE-BIN 3869, *Irpex lacteus* LE-BIN 4341 и *Laetiporus sulphureus* LE-BIN 3867, синтезировали высокую долю мононенасыщенных (МНЖК) полярных липидов, этерифицированных преимущественно олеиновой C18:1 жирной кислотой, что является лучшим выбором для производства биодизеля, обычно производят из дрожжей.

Изучение вторичных метаболитов с использованием штаммов LE-BIN продолжает находиться в сфере интересов лаборатории. В недавно опубликованной работе были представлены результаты исследования штаммов 97 видов базидиомицетов на наличие тритерпеноидных кислот, в 15 штаммах обнаружены тритерпеновые кар-

боновые кислоты ланостеринового типа: эбуриковая кислота, траметеноловая кислота, дегидроэбуриковая кислота и дегидротраметеноловая кислота [4].

Одним из новых направлений работы является поиск штаммов-продуцентов веществ с инсектицидными и гербицидными свойствами для создания новых химических средств защиты растений. Из коллекции были отобраны штаммы 53 видов из 43 родов макромицетов, охарактеризованы по ростовым и морфологическим признакам и верифицированы методом ПЦР-анализа. Для получения анализируемых веществ были получены этилацетатные экстракты мицелия, которые использовали для проведения тестов на биологическую активность и исследовали методами ТСХ и ВЖХ с тандемной масс-спектрометрией для возможности предварительной идентификации известных веществ. В результате энтомотоксичность при 100% гибели гусениц наблюдали у экстрактов штамма *Neonothopanus nambi*. Наибольшую фитотоксичность на всех трех исследованных моделях – пшенице обыкновенной, бодяке полевом и корнях салата наблюдали у *Sarcosoma globosum* и *Famulina rossica*. Наивысшую антимикробную активность проявили *F. rossica* и *Sparassis latifolia*. Полученные результаты подтверждают перспективность исследования вторичных метаболитов этих штаммов для создания пестицидных биопрепаратов.

Список литературы

1. Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Gachkova E.Y., Belova N.V. Basidiomycetes Culture Collection LE (BIN): Catalogue of Strains. M., SPb: KMK Scientific Press Ltd. 2007. 116 p.
2. Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Senik S.V., Shakhova N.V., Belova N.V. The conservation and study of macromycetes in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection – their taxonomical diversity and biotechnological prospects Journal of fungi. 2023. Vol. 9, N 12. P. 1196.
3. Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Senik S.V., Pham T.H.G. Ex situ conservation, DNA barcoding and enzymatic potential evaluation of macrofungi (Basidiomycota, Ascomycota) from Vietnam Journal of fungi. 2025. Vol. 11, N 1. P. 34.
4. Senik S.V., Shakhova N.V., Kiyashko A.A. Shavarda A.L. Triterpenoid Acids of Agaricomycetes (Basidiomycota) Chemistry of natural compounds. 2025. Vol. 60, N 1. P. 196–198.

ИСТОРИЯ ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИХ И МИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УРАЛЕ

Ширяев А.Г.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Несмотря на то, что в настоящее время микобиота многих групп грибов Свердловской обл. довольно хорошо изучена, тем не менее, еще в XIX и в начале XX в. в этом регионе местных микологов и фитопатологов не было. Сбор грибов проводили приезжие специалисты из научных организаций Санкт-Петербурга и Казани (Н.В. Сорокин, Н.А. Наумов). Участники Уральского общества любителей естествознания (УОЛЕ) помогали им в организации и проведении экспедиций в пределах Свердловской обл. Представители УОЛЕ сами собирали материал (первый образец датирован 1867 г.), но на определение передавали вышеперечисленным специалистам. Некоторый материал собран среднеуральскими краеведами и лесоводами (Н.П. Булычев, П.В. Сюезв, Ю.М. Колосов), однако лесное и сельское хозяйство

Свердловской обл. остро нуждалось в местных специалистах – фитопатологах и микологах, которые могли бы проводить регулярные исследования [1].

В 2025 г. исполняется 100 лет с начала исследований в г. Екатеринбурге (Свердловске) Зинаиды Афанасьевны Демидовой – первого местного фитопатолога и миколога [2]. Она с 1915 г. училась на высших Стребутовских сельскохозяйственных курсах в Петрограде, а диплом защищала у Н.И. Вавилова. В Петроградском сельскохозяйственном институте З.А. Демидова начала работать как фитопатолог на кафедре фитопатологии у проф. Н.А. Наумова и подготовила дипломную работу по теме «Признаки видов грибов рода *Septoria*, поражающих хлебные злаки». С октября 1923 г. работала в Государственном институте опытной агрономии, где

обучалась фитопатологии в лаборатории микологии и фитопатологии А.А. Ячевского, в которой в то время работали Н.А. Наумов, В.Г. Траншель, Н.Н. Воронихин, Б.П. Каракулин и др.

В мае 1925 г. она приехала в г. Свердловск на Станцию защиты растений от болезней и вредителей (СТАЗРА), где возглавила созданную фитопатологическую лабораторию. З.А. Демидова составила списки грибов, вызывающих болезни сельскохозяйственных растений в Свердловской (Уральской) обл. Указания на собранные ей образцы трутовых, ржавчинных и пероноспорных грибов имеются в работах А.А. Ячевского, В.А. Траншеля, Н.А. Наумова, А.С. Бондарцева.

В 1929 г. она организует микологическую группу в составе биологического сектора Уральского отделения Всесоюзного научно-исследовательского института древесины, ныне Уральского государственного лесотехнического университета. Здесь, совместно с А.С. Казанским, В.К. Хомутским, И.Е. Андреевым, она занимается изучением дереворазрушающих грибов. В 1930-е гг. в г. Свердловске начинается период строительства новых крупных жилых районов и заводов-гигантов (Уралмаш, Эльмаш, Химмаш и т.п.), в которых одной из проблем было массовое развитие домовых грибов. З.А. Демидова изучала видовой состав микобиоты, предлагала методы борьбы с этими вредоносными организмами. В сентябре 1944 г. З.А. Демидова защитила кандидатскую диссертацию «Испытание токсических свойств в отношении домовых грибов некоторых продуктов уральской химической промышленности» при Свердловском лесотехническом институте. Итог этих исследований – разработка нового антисептика для предохранения древесины от гниения – кремнефтористого аммония, и составление инструкции по его использованию для обработки строительной древесины. В результате она получила благодарность от Президиума АН СССР за успешное внедрение работ, имеющих научное и научно-хозяйственное значение (за подписью научного секретаря Президиума АН СССР акад. А.В. Топчиева), а также орден «Знак почета» и авторское свидетельство.

1930-е гг. – это период массового создания Ботанических садов и Дендрариев. В работах А.П. Пентина исследовано разнообразие и методы борьбы с болезнями городских и садовых зеленых насаждений в Свердловской области [3]. Заметки о некоторых видах грибов встречаются в работах Г.Н. Дорогина, Л.А. Лебедевой и М.А. Батина. Определение запасов съедобных грибов проводил И.И. Орлов.

В 1944 г. создается Институт биологии Уральского филиала АН СССР (ныне Институт экологии растений и животных УрО РАН), в состав которого включили лабораторию фитопатологии, а З.А. Демидова стала ее руководителем. В эти годы в лаборатории работал известный отечественный специалист по лесной фитопатологии С.И. Ванин, а также Ф.А. Соловьев, которые вместе в З.А. Демидовой и Г.С. Хреновой изучали «биржевые» и «домовые грибы». Часть образцов собранных в эти годы была определена А.С. Бондарцевым и хранится в гербарии БИН РАН.

В 1950-е гг. З.А. Демидова исследует грибы из рода *Sclerotinia*, а также изучает комплексы патогенных грибов картофеля, ведет учеты зараженности растений на опытных сортовых посевах, изучает сорта картофеля, устойчивые к фитофторозу. С 1956 г. возглавила микологическую группу, в которую вошла известный миколог Н.Т. Степанова. В научную тематику этой группы включили исследования биоразнообразия дереворазру-

шающих грибов Северного и Среднего Урала. В 1962 г. З.А. Демидова опубликовала работу «К флоре ржавчинных грибов на Урале», а затем «Материалы по изучению головневых грибов на Урале». В 1963 г. она опубликовала работу, в которой подведен итог исследований разнообразия базидиальных грибов, поражающих древесину на Урале. З.А. Демидова участвовала в подготовке нового поколения ученых, что способствовало формированию научной школы микологов ИЭРиЖ УрО РАН.

В 1960-1970 гг. в Лесотехническом институте была создана коллекция дереворазрушающих грибов, в основу которой легли сборы акад. П.Л. Горчаковского и С.Г. Шиятова сделанные за время их поездок по Уралу.

В 1960-е гг. в ИЭРиЖ исследовалось биоразнообразие и экология дереворазрушающих грибов в лесах Урала (Н.Т. Степанова-Картавенко), изучение возбудителей различных болезней сельскохозяйственных растений (Е.П. Шумиленко, А.В. Коробейникова, Г.С. Хренова). Как итог многолетних исследований, в 1967 г. опубликована монография «Афиллофоровые грибы Урала», а в 1971 г. защищена докторская диссертация Н.Т. Степановой-Картавенко «Эколого-географическая характеристика афиллофоровых грибов Урала». В этом же году защищены две диссертации ее учениц: А.В. Сирко «Сумчатые грибы Урала и закономерности их распространения» и Л.К. Казанцевой «Микофлора Полярного Урала и ее роль в начальных стадиях распада древесины». В 1970-е гг. Н.Т. Степанова становится заведующей группой экологии низших растений-редуцентов, а затем и лабораторией (1976 г.). Упор был сделан на исследования эколого-географических характеристик таксономии и экологии различных групп микро- и макромицетов в лесах Свердловской обл. и Урала. В середине 1970-х гг. в лаборатории работали Н.Т. Степанова, А.В. Сирко, Л.К. Казанцева, Г.А. Кулай, Н.Ф. Ищенко, аспиранты В.А. Мухин и Л.М. Мезенцева. Вскоре, под руководством Н.Т. Степановой было подготовлено и защищено несколько кандидатских диссертаций: «Разложение древесины базидиальными грибами» (В.А. Мухин), «Разложение листового опада базидиальными грибами» (Л.М. Мезенцева). Итоги многолетних исследований экологии и географии ксилотрофных базидиомицетов обобщены в докторской диссертации В.А. Мухина «Экологические закономерности формирования и структура биоты ксилотрофных базидиомицетов Западно-сибирской равнины». В 1993 г. по материалам диссертации подготовлена монография «Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины».

В.А. Мухин руководил микологической группой в 1983-1991 гг., а затем заведовал лабораторией биоразнообразия растительного мира и микобиоты ИЭРиЖ УрО РАН до 2015 г. В это время развернулись исследования Б.В. Красуцкого, который в 1990 г. защитил кандидатскую диссертацию «Экологические связи жесткокрылых с ксилотрофными грибами в равнинном Зауралье». Были успешно проведены всесоюзные, всероссийские и международные научные конференции. В 1990-2000-е гг. изучение разнообразия и экологии макроскопических грибов в регионе начали О.Б. Тарчевская, Т.Г. Бухвалова, И.В. Ставищенко, Е.В. Брындина, Н.В. Ушакова, А.Г. Ширяев и А.А. Вотинцева, миксомицетов – К.А. Фефелов, и микориз растений – Д.В. Веселкин, А.А. Бетехтина. С 2010-х гг. исследование агарикоидных грибов проводит О.С. Ширяева. Под руководством В.А. Мухина исследуется физиология дереворазрушающих грибов, углекислой и метагенной активности древесного дебриса. За

прошедшее пять лет защищены кандидатские диссертации Д.К. Дияровой и Е.В. Жуйковой.

В 2024 г. в г. Красноуфимске проведена международная научная конференция «Изучение и сохранение биоразнообразия природной и антропогенной микобиоты», благодаря которой существенно возросли наши знания о некоторых группах микро- и макроскопических грибов, а также грибоподобных организмов в Свердловской обл. и России. Уточнена экология ряда редких и исчезающих видов.

Среди новых направлений работ нашего коллектива можно назвать изучение пространственно-временной структуры инвазионной микобиоты: на 480 видах чужеродных древесно-кустарниковых растений выявлено 284 вида чужеродных грибов. Видовое богатство грибов увеличивается по экспоненте с каждым десятилетием. В регион распространяются новые виды инвазионных грибов (*Grosmannia aoshimae*, *Hymenoscyphus fraxineus*, *Ophiostoma novo-ulmi* и др.) вызывающие опасные болезни деревьев, приводящих к массовой гибели древостоев. Проведено картирование, установлен факт натурализации инвазионных видов грибов и их переход на местные виды растений. Увеличение числа чужеродных видов грибов приводит к унификации микобиоты в гордах лесной зоны ЕЧРФ.

История микологических исследований в Свердловской обл. включает пять периодов:

- 1) 1860-1910 гг.: работы участников УОЛЕ, специалистов из Казани и С.-Петербурга, а также местных краеведов и лесоводов;
- 2) 1920-1950 гг.: исследования Демидовой З.А.;
- 3) вторая половина 1950-1970 гг.: работы Степановой-Картавенко Н.Т.;
- 4) вторая половина 1970-х гг. и по настоящее время: исследования Мухина В.А.;
- 5) С 2000-х и по настоящее время: работа молодых исследователей.

К ВОПРОСУ ОБ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНОЙ ШКОЛЕ ПО ИММУНИТЕТУ РАСТЕНИЙ К БОЛЕЗНЯМ ГРИБНОЙ ПРИРОДЫ

Смирнов А.Н.¹, Смирнова О.Г.¹, Чебаненко С.И.¹, Рогожин Е.А.²

¹ Российский государственный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва

² Институт биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова

Вавиловская научная школа по иммунитету растений известна достаточно давно. В России она занимает профилирующие позиции и в научной, и в педагогической работе, связанной с фитопатологией, микологией, агроэкологией и селекцией растений (Дьяков, 2024). Тем не менее, ее развитие, применение ее достижений в теории и практике сталкивается с некоторыми проблемами и вызовами.

Первая проблема связана с терминологической нестыковкой. Западные научные школы допускали применение термина «иммунитет» только для человека и теплокровных животных (с некоторыми ограничениями – и для холоднокровных тоже). Для растений данный термин считали нелегитимным и не применяли из-за принципиально иных механизмов, определяющих невосприимчивость к инфекционным болезням. Из-за этого выделение научной школы по иммунитету растений вызывает некоторые вопросы.

Вторая проблема связана с ролью сортового иммунитета (сортовой устойчивости) в сельском хозяйстве. Укрепляется тренд использования продуктивных восприимчивых сортов основных сель-

В настоящее время Институт экологии растений и животных УрО РАН один из признанных микологических центров России, сотрудники которого проводят исследования разнообразия, экологии и физиологии различных групп грибов, имеют тесные контакты с зарубежными коллегами.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (№ 25-26-00338).

Список литературы

1. Демидова З.А. Краткий обзор исследований по микологии и фитопатологии на Урале Труды Ин-та биологии УФАН. 1960. № 17. С. 5–15.
2. Ширяев А.Г., Ширяева О.С., Змитрович И.В., Ерохин Н.Г. Памяти Зинаиды Афанасьевны Демидовой (1894–1985) Микология и фитопатология. 2023. Т. 57(6). С. 462–466.
3. Братцева И.В., Мухин В.А. Микологические исследования на Урале: библиографический указатель работ, выполненных в ИЭРиЖ УрО РАН в 1945–2008 гг. Екатеринбург: Голицынский, 2008. 140 с.

скохозяйственных культур, защищаемых от болезней грибной и псевдогрибной природы посредством рутинных схем применения фунгицидов, с учетом агрометеорологических факторов (Смирнов и др., 2019). Роль сортовой устойчивости (механизмов пассивного и активного иммунитета) к данным болезням (а это важнейшее достижение вавиловской научной школы) при таком подходе эксплуатируется в растениеводстве в недостаточной степени.

Цель исследования – оценить уровень вавиловской школы по иммунитету растений и на примере патосистем картофеля – фитофтороз и картофеля – альтернариоз оценить вклад сортовой устойчивости в эффективную защиту картофеля от особо опасных болезней.

Материалы и методы. Анализ вавиловской научной школы проводили в соответствии с подходами, изложенными в работах В. В. Кваниной и А. И. Владимиров. Выделили ученых – основоположников и их наработки оценивали по четырем эталонным признакам – критериям научной школы (Кванина, 2016; Владимиров, 2013).

Результаты. Анализ первичных работ по иммунитету растений позволил выделить пять их авторов – Н. И. Вавилова, В. Ф. Купревича, М. С. Дунина, Б. П. Токина и П. М. Жуковского. Характерно, что они родились в один исторический период – с 1887 по 1901 гг. Их основные труды и вклад в создание и начальное развитие приводится и анализируется в табл. 1.

Признак № 1 (основной критерий). Наличие лидера, обладающего тонким восприятием нового в науке, практике и наделенного организаторскими способностями. Научная биография Н. И. Вавилова полностью соответствует данному критерию. Но надо отметить, что именно работы по иммунитету растений стоят в плане роли и признания ученого особняком, они сделала ему имя возможности научного роста. Трансформация фундаментального наследия И. И. Мечникова применительно к растениям (Авруцкая и др., 2018) оказалась гениальным решением и определило развитие данной научной школы на десятилетия вперед, привлекло внимание не только современников, но и последующие поколения выдающихся отечественных ученых. Хотя применимость термина иммунитет для растений (plant immunity) до сих пор обсуждается, его активно используют в исследованиях, автономно или как синоним термина устойчивость. Объективно, в настоящем решаются вопросы не о легитимности термина иммунитет растений, а об уточнении роли тех или иных механизмов данного феномена (Barashkova et al., 2024; Jones et al. 2004).

Признак № 2 (основной критерий). Наличие преемственности поколений. Всесоюзный институт растениеводства (ВИР, г. Ленинград) в первой половине двадцатого века сформировался как центр сосредоточения развития знаний в области иммунитета растений. Все основоположники фитоиммунологической науки (табл. 3) были прямо или опосредованно связаны с этим местом, они развивали идеи, заложенные и обобщенные Н. И. Вавиловым. Для них это было принципиально важно. В ВИР приезжали зарубежные ученые (будущий нобелевский лауреат Г. Меллер и другие). Особо отметим, что фитопатолог Д. Д. Вердеревский совместил фитонцидные результаты с сортовым иммунным статусом сельскохозяйственных культур и селекционной работой. Именно с Н. И. Вавиловым работал видный агрометеоролог транснационального уровня Г.Т. Селянинов.

Следующее поколение советских и российских ученых, родившееся в 1910-ые....1940-ые гг., впитало идеи основоположников, развило и распространило их. Среди них можно отметить уехавшего в США фитопатолога И. Нидерхаузера, отечественных фитопатологов Т. Д. Страхова, М. В. Горленко, К. В. Попкову, Ю. Т. Дьякова, Л. Н. Андреева, С. К. Темирбекову, М. Ф. Григорьеву, С. С. Санина, биофизика А. Б. Рубина, биохимиков О. Л. Озерецковскую и Л. В. Метлицкого. Именно это поколение ученых сделало иммунитет растений мощным, емким и разветвленным научным направлением. Оно было оригинальным и в то же время с легкостью аккумулировало достижения ведущих зарубежных и отечественных ученых и научных школ в области резистентологии, фитопатологии и селекции. Иммунитет растений стал курсом, занявшим промежуточное положение между селекцией, фитопатологией и физиологией растений, приобрел оригинальные черты.

Таблица 1. Основоположники советской научной школы по иммунитету растений.

Ученые	Основной труд	Основной вклад и заслуги
Вавилов Николай Иванович (1887-1943)	Иммунитет растений к инфекционным заболеваниям, 1918	Комплексная синтетическая теория иммунитета растений, введены понятие, категории и факторы иммунитета растений. Один из создателей всемирно известной системы ВАСХНИЛ в СССР.
Купревич Василий Феофилович (1897-1969)	Физиология больного растения в связи с общими вопросами паразитизма, 1948	Обоснование направлений взаимосвязей между фитопатологией, иммунитетом растений и фитопатологией. Защищал на эту тему докторскую диссертацию в блокадном Ленинграде. Академик АН СССР, возглавлял академию наук Белорусской ССР. Его именем названа одна из центральных улиц г. Минск
Дунин Михаил Семенович (1901-1993)	Иммуногенез и его практическое использование, 1946, 1949	Направления прикладного использования иммунитета растений с учетом фаз развития растения-хозяина. Основоположник кафедры фитопатологии в Тимирязевской сельскохозяйственной академии.
Токин Борис Петрович (1901-1984)	Фитонциды, 1948	Наличие первого иммунного фитонцидного барьера химической природы в рамках пассивного иммунитета. Ректор Томского государственного университета, основоположник кафедры эмбриологии ЛГУ. Лауреат государственных премий, его именем назвали улицу в г. Вольск.
Жуковский Петр Михайлович (1888-1975)	Культурные растения и их сородичи. Систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование, 1950; Ботанико-географические и генетические закономерности иммунитета растений к болезням и использование их в селекции, 1959.	Теория сопряженной эволюции патогенов и растений-хозяев в вавиловских центрах происхождения культурных растений. Участвовал в восстановлении имени Н. И. Вавилова в советской науке в 1950-ые годы. Академик-секретарь ВАСХНИЛ.

Признак № 3 (основной критерий). Получение объективно нового знания, обогащающего науку. Н. И. Вавилов смог аккумулировать научное наследие И. И. Мечникова и приложить его к растительным организмам (Авруцкая и др., 2018). Это позволило как систематизировать уже имеющиеся профильные знания, так и открыло удобный путь для получения новых. В меди-

цинских и биологических исследованиях установили, что многие механизмы иммунитета человека и животных имеют белковую природу, у растений приоритетными считались механизмы на основе небелковых молекул (фитонциды, фитоалексины, гликоалкалоиды и др.). Тем не менее, исследования последних лет на молекулярном и генетическом уровнях показывают, что механизмы иммунитета растений имеют комплексную природу, и в них принципиальную роль как раз белковой природы – дефензины, антимикробные белки и пептиды, PR-белки, белки сигнальных а также рецепторных систем и др. (Barashkova et al., 2024; Jones et al., 2024). Это – только одно из свидетельств получения объективно новых профильных знаний, гарантия легитимности как термина, так и анализируемой научной школы.

Признак № 4 (дополнительный аналитический критерий). Совмещение профильных научной и педагогической работ, приведение их к одному стилю. Все указанные ученые в большей или меньшей степени были связаны преподавательской ВУЗовской работой по иммунитету растений, эта традиция определилась еще взаимосвязью И. И. Мечникова и Н. И. Вавилова в стенах Московского сельскохозяйственного института (Авруцкая и др., 2018). Учебники и монографии М. В. Горленко, К. В. Попковой, Ю. Т. Дьякова, В. А. Шкаликова известны в студенческой среде двадцатого и двадцать первого столетий, они оказывали значительное влияние на проведение НИРС в ведущих биологических и сельскохозяйственных университетах и академиях страны. Была налажена как организация рутинной педагогической работы, так и проведение проблемных лекций. Передовые научные достижения и наработки в области иммунитета и устойчивости растений к болезням оперативно анализировались и вовлекались в учебный процесс, а далее носители этих знаний активно и оперативно использовали их в научно-производственной работе.

В исследованиях 2024 г. установили, что при замене сортов картофеля с полевой станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева проявление агрессивности патогенов *Phytophthora infestans* и *Alternaria alternata* на клубневых дисках других сортов снижалось в 2,2-9,9 раза (53,9%-89,9% по биологической эффективности) и в 1,8-7,4 раза (35,5%-86,6% по биологической эффективности) соответственно. Однако в 2025 г. этот эффект по *P. infestans* воспроизвелся довольно слабо.

Заключение. Проведенный анализ показал, что вавиловское направление по иммунитету растений удовлетворяет всем признакам (критериям) научной школы транснационального характера.

Список литературы

1. Дьяков Ю. Т. Фитоиммунитет. – Москва:Инфра-М, 2024. 178 с. DOI 10.12737/21429
2. Смирнов А. Н., Приходько Е. С., Васильченко О. Г. и др. Прикладное значение определения репродуктивного потенциала и агрессивности грибных и псевдогрибных патогенов картофеля и томата Картофель и овощи. – Т. 2019. – №6. – С. 18-25. doi. org/10.25630/PAV.2019.71.33.005
3. Кванина В. В. Понятие и признаки научной школы Вестник университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА). – 2016. – Т. 11. – С. 37-42. DOI: 10.17803/2311-5998.2016.27.11.037-042
4. Владимиров А. И. О научных и педагогических школах. М:Издательский дом «Недра», 2013. – 61 с.
5. Авруцкая Т. Б., Боронцовская О. И., Никифоров А. И. К 100-летию публикации научной работы Н. И. Вавилова «Имму-

нитет растений к инфекционным заболеваниям». – Известия ТСХА. – 2018. – Выпуск 6. – С. 119-128

6. Barashkova A. S., Smirnov A. N., Rogoghin E. A. Complex of defense polypeptides of wheatgrass (*Elytrigia elongata*) associated with plant immunity to biotic and abiotic stress factors Plants. – 2024. – V. 13. -2459. <https://doi.org/10.3390/plants13172459>

7. Jones J. D. G, Staskawicz B. J., Danol J. L. The plant immune system: from discovery to deployment Cell. – 2024. – V. 187. – Is. 9. – P. 209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.03.045>

Глава 2

Генетика и систематика грибов

10.14427/cmr.2025.xi.02

ТЕМПЕРАТУРА +5 °С– ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВИДОВ *TALAROMYCES WORTMANII* И *T. RUGULOSUS*

Данилогорская А.А.
ФИЦ ПНЦБИ ИБФМ РАН, Москва

В рамках выполнения программы по таксономической ревизии фонда мицелиальных грибов ВКМ, полученных в коллекцию в домоллекулярную эру, были изучены штаммы, выделенные из таких уникальных местообитаний как многолетнемерзлые отложения Арктических областей и Антарктиды и идентифицированные первоначально как *Penicillium variable* (всего 36 штаммов). Данный вид в 2011 был перемещен в род *Talaromyces* и переименован в *T. variabilis* (Samson et al., 2011), а в 2016 году переведен в синонимы вида *T. wortmanii* (Yilmaz et al., 2016).

В ходе работы был использован метод полифазной таксономии, включающий изучение фенотипических, генотипических и физиологических признаков. Фенотипические признаки описывали согласно схемам, предложенным Питом в 1979 году после семи дней роста культур на средах MEA, G25N при 25 °C и CYA при 5, 25 и 37 °C (Pitt, 1979). Оценку роста при 5 °C проводили под микроскопом, а при 37 °C– невооруженным глазом, как предписано в ключе (Pitt, 1979). Генотипические признаки изучали с использованием метода секвенирования по Сэнгеру. Грибную биомассу наращивали на поверхности стерильного целлофана, помещенного на агаризованную среду (MEA) при температуре 25 °C в течение 1,5–2 суток (до начала спороношения), затем снимали скальпелем и помещали в эппендорфы 1,5 мл (1/4 объема). Выделение ДНК проводили с помощью коммерческого набора «Экстрэн 3» компании Синтол (<https://www.syntol.ru/>). С 2014 г. рекомендованной последовательностью для первичного определения видов рода *Penicillium* и *Talaromyces* является частичная последовательность гена бетта-тубулина (BenA) (Visagie et al., 2014). ПЦР проводили с помощью праймеров T10 и Btb2, которые рекомендуют для работы с видами секции *Islandici* (Yilmaz et al., 2016), куда относится *T. wortmanii*. Для амплификации использовали программу, предложенную Цай и Дружининой (2021) со следующими изменениями: температура отжига праймеров была увеличена до 60 °C. Если при этом на фореze получались дополнительные полосы, ее повышали до 61–62 °C. Секвенирование выполняли в компании Евроген (<https://evrogen.ru/>), результаты сравнивали с последовательностями в базе данных BLAST.

В результате проведенной работы из 36 проверенных штаммов 6 оказались представителями других секций (*Brevicompecta*, *Chrysogena*, *Exilicaulis*, *Trachyspermi*), остальные 30– представителями искомой секции *Islandici*, разделившись между *T. wortmanii* и *T. rugulosus* (рис.1), что совпало с разделением их по возможности роста при 5 °C (табл.1). В ключе (Pitt, 1979) способность прорастания спор при 5 °C является признаком, отличающим *Penicillium rugulosum* (текущий *T. rugulosus*)

от сходного с ним по многим фенотипическим характеристикам *Penicillium variable* (текущий *T. wortmanii*). В описании самого *T. wortmanii* также указывалось отсутствие прорастание при 5°C. Однако рост при данной температуре не включили в пересмотр секции *Islandici* (Yilmaz et al., 2016), выполненный с применением полифазного подхода. Чтобы восполнить этот пробел дополнительно в работу были включены еще пять штаммов. Три представителя *T. rugulosus*, выделенных из местообитаний, отличающихся по температурному режиму от большинства проанализированных штаммов. И два– *T. wortmanii*, образующих аскоспоры, т.к. у штаммов, определенные по фенотипическим признакам как *Penicillium variable*, они отсутствуют (табл.1).

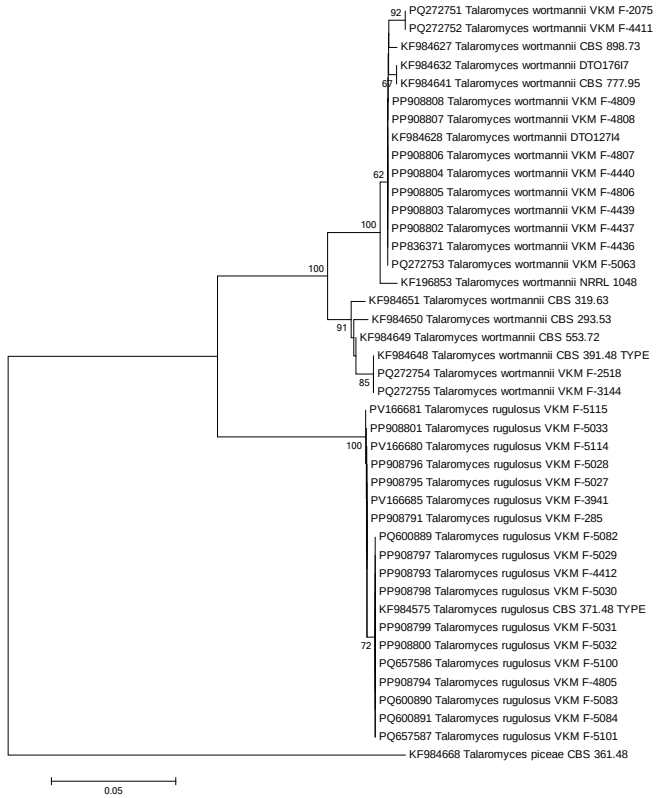


Рисунок 1. Филогенетическое дерево, построенное по участку гена бетта-тубулина (Ben A) изученных и референсных штаммов *T. rugulosus* и *T. wortmanii* для определения родства в программе MEGA 6 (метод максимального правдоподобия). Длина выравнивания– 327 символов, включая пробелы. Значения поддержки представлены значением бутстрэпа и указаны рядом с узлами. Дерево укоренено на *Talaromyces piceae*.

В результате анализа 13 штаммов *T. wortmanii* и 21 штамма *T. rugulosus* было установлено, что характерной

чертой *T. wortmannii* является отсутствие роста (в редких случаях образование ростовых трубок) при 5 °С, а для *T. rugulosus*– формирование колоний или микроколоний (т.е. радиальный рост, наблюдаемый под микроскопом) (табл.1).

Список литературы

1. Samson R.A., Yilmaz N., Houbraken J., Spierenburg H., Seifert K.A., Peterson S.W. et al. Phylogeny and nomenclature of the genus *Talaromyces* and taxa accommodated in *Penicillium* subgenus *Biverticillium*. *Studies in Mycology*. 2011. Vol. 70. P. 159–183. DOI: 10.3114/sim.2011.70.04.

2. Yilmaz N, Visagie CM, Frisvad JC, Houbraken J, Jacobs K, Samson RA. Taxonomic re-evaluation of species in *Talaromyces* section *Islandici*, using a polyphasic approach. *Persoonia*. 2016. Vol. 36. P. 37–56. DOI: 10.3767/003158516X688270.

3. Pitt J.I. The Genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. London: Academic Press Inc., 1979. 634 p.

4. Visagie C.M., Houbraken J., Frisvad J.C., Hong S.-B., Klaassen C.H.W., Perrone, G. et al. Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in Mycology*. 2014. Vol. 78(1). P. 343–371. DOI: 10.1016/j.simyco.2014.09.001

5. Cai F, Druzhinina I.S. In honor of John Bissett: authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma*. *Fungal Diversity*. 2021. Vol. 107. P. 1–69. DOI: 10.1007/s13225-020-00464-4

Таблица 1. Штаммы *T. rugulosus* и *T. wortmannii*, использованные в исследовании.

Вид	Штамм	Оценка роста при 5 °С	Происхождение штамма
<i>T. wortmannii</i>	VKM F-2075	проростание спор (без микроколоний)	промышленные материалы
	VKM F-2518 ^A	н.р.	нет данных
	VKM F-3144 ^A	н.р.	ризосфера хлопчатника, Россия
	VKM F-4411	н.р.	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4436	н.р.	растительное сырье, Южная Америка
	VKM F-4437	н.р.	растительное сырье, Южная Америка
	VKM F-4439	н.р.	растительное сырье, Южная Америка
	VKM F-4440	проростание спор (ростовые трубки)	промышленные материалы, г. Москва
	VKM F-4806	н.р.	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4807	н.р.	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4808	проростание спор (ростовые трубки)	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4809	н.р.	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5063	проростание спор (ростовые трубки)	растительное сырье, Южная Америка

Таблица 1 (продолжение). Штаммы *T. rugulosus* и *T. wortmannii*, использованные в исследовании.

Вид	Штамм	Оценка роста при 5 °С	Происхождение штамма
<i>T. rugulosus</i>	VKM F-285	2 мм	почва, Волгоградская область
	VKM F-3941	прорастание спор, микроколонии	продукты питания, г. Москва
	VKM F-4396	1 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4412	1 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4413	1-2 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-4805	прорастание спор, микроколонии	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5027	1-2 мм	вода, криопэг, Арктика
	VKM F-5028	1-2 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5029	2 мм	промышленные материалы, г. Москва
	VKM F-5030	2 мм	мерзлота, вода, Антарктида
	VKM F-5031	1-2 мм	мерзлота, вода, Антарктида
	VKM F-5032	1-2 мм	мерзлота, вода, Антарктида
	VKM F-5033	1-2 мм	многолетнемерзлые отложения, Антарктида
	VKM F-5065	1 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5082	1-2 мм	многолетнемерзлые отложения, Антарктида
	VKM F-5083	1-2 мм	промышленные материалы, г. Москва
	VKM F-5084	проростание спор, микроколонии	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5100	1 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5101	1-2 мм	многолетнемерзлые отложения, Арктика
	VKM F-5114	проростание спор, микроколонии	почва, Московская область
	VKM F-5115	проростание спор, микроколонии	многолетнемерзлые отложения, Арктика

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание №FMRM-2022-0019).

* A – штамм образует аскоспоры

НОВОЕ В СИСТЕМАТИКЕ РОДА *PENICILLIUM*Данилогорская А.А.
ФИЦ ПНЦБИ ИБФМ РАН, Москва

Род *Penicillium* – анаморфный род аскомицетовых грибов, чье название переводится как «маленькая кисточка», филогенетически принадлежащий к семейству *Aspergillaceae*, порядку *Eurotiales* (Houbraken, Samson, 2011). С 2011 г. действует обновленная по сравнению с 1949 г. (Raper, Thom, 1949) концепция рода, разработанная на основе комбинированного анализа четырех локусов ДНК (RPB1, RPB2, Cst8, Tsr1). Во-первых, в него были включены виды с пигментированными веточками конидиеносцев (виды рода *Thysanophora*, *P. stolckiae* и родственные ему). Во-вторых, включены виды, ранее относимые к родам *Eladia*, *Eupenicillium*, *Carpentales*, *Citromyces*, *Chromocleista*, *Hemicarpenales*, *Thysanophora*, *Torulomyces*. В-третьих, исключены виды рода *Talaromyces* и родственные им (с мягкими плодовыми телами), т.е. теперь представители рода *Penicillium* характеризуются образованием только псевдопаранхематозных и склеротиидных плодовых тел. Также из рода были исключены виды с ланцетовидными фиалидами и равными по длине метулами. Сам род был разделен на два подрода *Aspergilloides* и *Penicillium* (Houbraken, Samson, 2011).

С 2016 г. на основе данных комбинированного анализа трех участков ДНК (BenA, RPB2, CaM) был начат пересмотр существовавших на тот момент 25 секций. Был присвоен статуса синонима секции *Digitata*, виды которой вошли в секцию *Penicillium*, выделены две новые секции: *Osmophila*, куда был включен *P. osmophilum*, и *Robsonsonia*, куда отнесли *P. coprophilum* и *P. coprobium* (Houbraken et al., 2016). В 2020 году на основе полифазного подхода, т.е. с использованием помимо филогенетических данных информации о фенотипе, физиологии и экстролитах, было выделено семь новых секций: *Inusitata*, *Eremophila*, *Griseola*, *Alfrediorum*, *Lasseniorum*, *Crypta*, *Formosana*. Секция *Fracta* стала синонимом секции *Ramigena* (Houbraken et al., 2020). Таким образом, на начало 2024 года в род *Penicillium* было принято 535 видов, разделенных на 2 подрода и 32 секции (Visagie et al., 2024).

Количество новых видов в последнее время быстро нарастает и при филогенетическом анализе в одной секции стали выделяться отдельные клады, представляющие собой природные группы видов. Попадание нового вида по данным секвенирования в такую кладу часто может предсказать, какими функциональными характеристиками он обладает. Данным кладам или комплексам видов был присвоен номенклатурный статус серии (Houbraken et al., 2020). На 2024 год в роде *Penicillium* было описано 90 серий (Visagie et al., 2024). В целом, использование такой формальной серии призвано облегчить работу с секциями с большим количеством видов, а также видовую идентификацию по фенотипу. Например, рекомендуется определять вид по названию серии, когда в ней собраны морфологически трудно различимые виды, которые при этом имеют сходные функциональные характеристики (Houbraken et al., 2020).

В 2012 г. в качестве официального ДНК баркода для идентификации грибов была принята внутренняя транскрибируемая спейсерная область рДНК (ITS) (Schoch et al., 2012). Однако для рода *Penicillium* данный участок хорошо зарекомендовал себя только в определении принадлежности штамма к комплексу видов или одной из 32 секций, и только иногда давал информацию

о видовой принадлежности. Это связано с тем, что вариативности ITS у *Penicillium* недостаточно для разделения близкородственных видов так же, как и у многих других родов аскомицетовых грибов. Поэтому возникла необходимость в выборе вспомогательного идентификационного маркера для определения видовой принадлежности. В 2014 г. для этих целей была предложена частичная последовательность гена β -тубулина (BenA), с помощью которой на данный момент рекомендуется проводить рутинную идентификацию видов *Penicillium* (Visagie et al., 2014). Однако есть близкородственные виды, например, представители секции *Chrysogena*, различить которые с использованием только гена BenA невозможно, поэтому необходимо дополнительно использовать другие участки ДНК (CaM, RPB2) и/или фенотипические признаки (Houbraken et al., 2012). В таких случаях, в качестве руководства для идентификации стоит использовать публикации по интересующей секции.

Крайне важно отметить, что приступая к филогенетической идентификации вида необходимо иметь представление о его макро- и микроморфологических признаках, определенных на комплексе рекомендуемых сред при нескольких температурах инкубации (см. Visagie et al., 2014), т.к. в случае заражения может пройти амплификация вида-загрязнителя, а не искомой культуры. Также есть ряд видов, которые слабо или совсем не отличаются по основным анализируемым локусам ДНК, однако в связи с высокой промышленной значимостью не объединяются в один вид. Например, *P. camambertii*, *P. caseifulvum* и *P. commune* (Giraund et al., 2010). Данные виды идентичны по BenA, RPB2, CaM и ITS, однако различаются по макро- и микроморфологии: *P. camambertii* обладает белыми конидиями, *P. caseifulvum* – оранжевым оборотом на среде YES, *P. commune* – зелеными конидиями (Frisvard, Samson, 2004).

Описание нового вида *Penicillium* помимо привычного описания макро- и микроморфологических признаков потребует проведения мультилокусного типирования – анализа четырех участков ДНК: BenA, CaM, RPB2 и ITS. Рекомендуемые праймеры, а также профиль амплификации можно найти в статьях: например, Houbraken, Samson, 2011; Visagie et al., 2014.

Список литературы

1. Houbraken J., Samson R.A. Phylogeny of *Penicillium* and the segregation of *Trichocomaceae* into three families. *Studies in Mycology*. 2011; 70: 1–51. doi: 10.3114/sim.2011.70.01.
2. Raper K.B., Thom C. A manual of the *Penicillia*. 1949.
3. Houbraken J., Wang L., Lee H.B., Frisvad J.C. New sections in *Penicillium* containing novel species producing patulin, pyripyropens or other bioactive compounds. *Persoonia*. 2016; 36: 299–314. doi: 10.3767/003158516X692040.
4. Houbraken J., Kocsube S., Visagie C.M., Frisvad J.C., Hubka V., Samson R.A. et al. Classification of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and related genera (*Eurotiales*): an overview of families, genera, subgenera, sections, series and species. *Studies in Mycology*. 2020; 95: 5–169. doi: 10.1016/j.simyco.2020.05.002.
5. Visagie C.M., Yilmaz N., Kocsube S., Hong S.-B., Klaassen C.H.W., Perrone, G. et al. A review of recently introduced *Aspergillus*,

Penicillium, Talaromyces and other Eurotiales species. *Studies in Mycology*. 2024; 107: 1–66. doi: 10.3114/sim.2024.107.01.

6. Schoch C.L., Seifert K.A., Huhndorf S., Robert V., Spouge J.L., Levesque C.A. et al. Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012; 109: 6241–6246. doi: 10.1073/pnas.1117018109.

7. Visagie C.M., Houbraken J., Frisvad J.C., Hong S.B., Klaassen C.H., Perrone G. et al. Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in Mycology*. 2014; 78: 343–371. doi: 10.1016/j.simyco.2014.09.001.

8. Houbraken J., Frisvad J.C., Seifert K.A., et al. New penicillin-producing *Penicillium* species and an overview of section *Chrysogena*. *Persoonia*. 2012; 29: 78–100. doi: 10.3767/003158512X660571.

9. Giraud F., Giraud T., Aguileta G., Fournier E., Samson R., Cruaud C. et al. Microsatellite loci to recognize species for the cheese starter and contaminating strains associated with cheese manufacturing. *International Journal of Food Microbiology*. 2010; 137: 204–213. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.014.

10. Frisvad J.C., Samson R.A. Polyphasic taxonomy of *Penicillium* subgenus *Penicillium*. A guide to identification of food and air-borne terverticillate *Penicillia* and their mycotoxins. *Studies in Mycology*. 2004; 49: 1–173.

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ РЕВИЗИЯ РОДА *ALTERNARIA* (СЕКЦИИ *PSEUDOULOCLADIUM* И *ULOCLADIOIDES*): ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ВИДОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РОССИЙСКИХ ШТАММОВ.

Гомжина М.М., Ганнибал Ф.Б.

Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург

Род *Alternaria* – это крупная группа анаморфных аскомицетов сем. *Pleosporaceae*, включающая в свой состав грибы, относимые еще несколько лет назад к 15 родам (Woudenberg et al. 2013, Lawrence et al. 2016). В том числе в род *Alternaria* вошел бывший ранее самостоятельным род *Ulocladium* Preuss, включавший более 30 видов (Gannibal, Lawrence 2018). Традиционно, систематика видов рода *Ulocladium* основалась в первую очередь на морфологических признаках спораносных структур, форме и размеру конидий, характеру их септированности и орнаментации, наличию или отсутствию апикального выроста (Simmons 1967). Однако диапазон варьирования морфологических характеристик может перекрываться не только между близкородственными родами, но и даже в пределах самого рода. Более того, внутри рода, существует дуализм морфологических характеристик, отличающих зрелые и ювенильные конидии. Из-за запутанной морфологии корректная идентификация видов *Ulocladium* очень сложна. Результаты исследований, проведенных за последнее десятилетие, показывают, что достоверную идентификацию видов *Alternaria* следует осуществлять только с применением полифазного подхода в рамках консолидированной концепции видов (Consolidated species concept, CSC; Crous et al. 2015), анализирующей совокупность морфологических и молекулярно-генетических признаков. При этом в качестве основных используют молекулярные признаки, полученные в результате мультилокусного филогенетического анализа, который проводят с применением принципа генеалогической согласованности (Genealogical concordance phylogenetic species recognition, GCPSR; Taylor et al. 2000). Принцип GCPSR предполагает, что топологии всех филогений, построенных как на основании нуклеотидных последовательностей отдельно взятых локусов, так и комбинированные, должны совпадать. Для определения границ близкородственных видов многих групп микромицетов в последние несколько лет используют ряд методов коалесцентного анализа с реконструкцией деревьев Пуассона (Poisson tree processes, PTP, multi-rate Poisson tree processes, mPTP; Zhang et al. 2013) и оценки потенциальной рекомбинации между видами. Для идентификации видов *Alternaria*, относимых ранее к роду *Ulocladium*, а также для видов *Alternaria* распространенных в России, подобные

методы никогда не применяли. Можно рассчитывать на то, что комбинация этих методов (CSC+GCPSR+PTP+mPTP) позволит провести надежную и корректную идентификацию видов *Alternaria*, даст возможность выявить криптическое разнообразие и уточнить границы видов. Сейчас все виды бывшего рода *Ulocladium* включены в род *Alternaria* (Woudenberg et al. 2013) в основном в три секции: *Ulocladium* (4 вида), *Ulocladioides* (21 вид), *Pseudoulocladium* (6 видов).

Виды бывшего рода *Ulocladium* распространены по всему миру, но встречаются довольно редко по сравнению с некоторыми другими видами *Alternaria*. Они являются преимущественно сапротрофами, обитающими на растениях и в почве, часть видов – оппортунистические патогены человека и животных, другие – фитопатогены (Runa et al. 2009). Надежных сведений об *Ulocladium*-подобных видах *Alternaria* на территории России немного. В литературе описано всего несколько видов, но эти сведения не подтверждены анализом последовательностей ДНК. В коллекции чистых культур Лаборатории микологии и фитопатологии имени А.А. Ячевского Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (МФ, ВИЗР) хранятся 20 штаммов *Ulocladium*-подобных видах *Alternaria*, выделенных преимущественно из субстратов растительного происхождения, собранных в разные годы на территории России. Целью данного исследования была идентификация 20 *Ulocladium*-подобных штаммов *Alternaria* в результате мультилокусного филогенетического анализа, с применением принципа GCPSR и определение границ видов в секциях *Ulocladioides* и *Pseudoulocladium*.

Для всех штаммов были определены нуклеотидные последовательности шести филогенетически информативных локусов ДНК, а именно участков, ответственных за синтез актина (*act1*), основного аллергена *Alternaria* (*Alta1*), кальмодулина (*cal*), глицеральдегид-3-фосфат дегидрогеназы (*gapdh*), РНК-полимеразы II (*rpb2*) и фактора элонгации трансляции 1-α (*tef1*). Филогенетические деревья были построены согласно трем алгоритмам: метод максимального правдоподобия, принцип максимальной экономии и анализ последовательностей методом Байесовской статистики. Для определения границ видов *Alternaria* в секциях *Ulocladioides* и *Pseudoulocladium* на основании конкатенированного

выравнивания последовательностей четырех локусов: *Alta1*, *gapdh*, *rpb2* и *tef1* с использованием онлайн сервисов (<http://species.h-its.org/ptp/>, <http://mptp.h-its.org/>) были реконструированы деревья Пуассона (PTR, mPTR). Для оценки потенциальной рекомбинации между штаммами и видами использовали комбинированное филогенетическое дерево (*Alta1*, *gapdh*, *rpb2* и *tef1*). Визуализация осуществлялась путем построения филогенетической сети из объединенного набора данных с использованием преобразования LogDet и опций алгоритма NeighborNet, на платформе SplitsTree 4.16.1.

Полученные результаты дали основание для синонимизации нескольких видовых эпитетов и позволили уточнить микобиоту *Ulocladium*-подобных видов на территории России (Gannibal, Gomzhina 2024). На комбинированном филогенетическом дереве все исследованные штаммы вошли в состав двух клад, соответствующих секциям *Ulocladioides* и *Pseudoulocladium*. Внутри секции *Ulocladioides* штаммы формировали семь клад, соответствующих видам *A. atra*, *A. cantlous*, *A. consortialis*, *A. heterospora*, *A. malicola*, *A. multiformis* и *A. subcucurbitae*. Внутри секции *Pseudoulocladium* – четыре клады, соответствующие видам *A. aspera*, *A. chartarum*, *A. concatenata* и *A. septospora*.

Реализация принципа GCPSR привела к заключению, что мультилокусный филогенетический анализ демонстрирует завышенную оценку биоразнообразия и не все выделенные виды имеют филогенетическую поддержку. Так, согласно GCPSR, в секции *Ulocladioides* поддерживаются пять видов: *A. atra*, *A. cantlous*, *A. consortialis*, *A. malicola* и *A. subcucurbitae*. В секции *Pseudoulocladium* – один – *A. chartarum*.

Оценка потенциальной рекомбинации между штаммами и видами продемонстрировала «конфликт» между всеми штаммами и видами в секции *Pseudoulocladium*, и между группами видов *A. atra*+*A. multiformis*, *A. heterospora*+*A. subcucurbitae*, *A. brassicae-pekinensis*+*A. consortialis*+*A. cucurbitae*+*A. obovoidea*+*A. terricola* из-за вероятного присутствия полового процесса внутри этих групп.

Деревья Пуассона, полученные в результате PTR и mPTR, имели сходную топологию. Согласно результатам коалесцентного анализа, в секции *Ulocladioides* поддерживается пять видов: *A. atra*, *A. cantlous*, *A. consortialis*, *A. malicola* и *A. subcucurbitae*. В секции *Pseudoulocladium* – один – *A. chartarum*.

Таким образом, результаты GCPSR, PTR, mPTR и оценки потенциальной рекомбинации между видами согласуются. На основании полученных результатов сделаны таксономические преобразования. Секция

Pseudoulocladium представляет собой один вид *A. chartarum*, а виды *A. aspera*, *A. concatenata* и *A. septospora* необходимо рассматривать как синонимы *A. chartarum*. Секция *Ulocladioides* включает пять видов: *A. atra*, *A. cantlous*, *A. consortialis*, *A. malicola* и *A. subcucurbitae*. Вид *A. multiformis* – синоним *A. atra*; *A. heterospora* – синоним *A. subcucurbitae*; *A. brassicae-pekinensis*, *A. cucurbitae*, *A. obovoidea* и *A. terricola* – синонимы *A. consortialis*.

Все 20 штаммов из коллекции ВИЗР были идентифицированы согласно современной таксономии и номенклатуре рода *Alternaria*. В результате в России выявлено четыре вида секции *Ulocladioides*: *A. atra*, *A. cantlous*, *A. consortialis* и *A. subcucurbitae* и один вид секции *Pseudoulocladium* – *A. chartarum*. Штамм *A. cantlous*, выделенный из *Daucus sativus* и штаммы *A. subcucurbitae*, выделенные из *Dianthus* sp., *Bromus inermis* и *Cucumis sativus* в Санкт-Петербурге и Омской области являются первыми находками этих видов для России.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-76-30005-П).

Список литературы

1. Woudenberg JHC, Groenewald JZ, Binder M, Crous PW. 2013. *Alternaria* redefined. *Stud Mycol.* 75:171–212. doi:10.3114/sim0015.
2. Lawrence DP, Rotondo F, Gannibal PB. 2016. Biodiversity and taxonomy of the pleomorphic genus *Alternaria*. *Mycol Prog.* 15:1–22. doi:10.1007/s11557-015-1144-x.
3. Gannibal PhB, Lawrence DP. 2018. Distribution of *Alternaria* species among sections. 6. Species formerly assigned to genus *Ulocladium*. *Mycotaxon.* 133:293–299. doi:10.5248/133.293.
4. Simmons EG. 1967. Typification of *Alternaria*, *Stemphylium*, and *Ulocladium*. *Mycologia.* 59:67–92. doi:10.2307/3756943.
5. Crous P.W., Hawksworth D.L., Wingfield M.J. 2015. Identifying and naming plant-pathogenic fungi: past, present, and future. *Annu Rev Phytopathol* 53: 247–67. doi: 10.1146/annurev-phyto-080614-120245.
6. Taylor JW, Jacobson DJ, Kroken S, Kasuga T, Geiser DM, Hibbett DS, Fisher MC. 2000. Phylogenetic species recognition and species concepts in fungi. *Fungal Genet Biol.* 31:21–32. doi:10.1006/fgbi.2000.1228.
7. Gannibal P.B., Gomzhina M.M. 2024. Revision of *Alternaria* sections *Pseudoulocladium* and *Ulocladioides*: assessment of species boundaries, determination of mating-type loci, and identification of Russian strains. *Mycologia* 116(5): 744–763. doi:10.1080/00275514.2024.2363152.

СИСТЕМАТИКА ГРИБОВ РОДА *ASPERGILLUS* В XXI ВЕКЕ

Иванушкина Н.Е.

ИБФМ им. Г.К. Скрыбина, ФИЦ Пушинский НЦБИ РАН

Род *Aspergillus* включает более 450 видов [1], это наиболее цитируемый в научных публикациях род среди всего разнообразия мицелиальных грибов [2], поскольку в его состав входят виды, важные для биотехнологии, сельского хозяйства и медицины.

Необходимым условием взаимопонимания между исследователями, работающими в разных областях микологии, является восприятие происходящих в систематике изменений, поскольку даже неверное наименование организма может привести к огромной путанице. Систематика, традиционно разделяется на три части: классификация, номенклатура и идентификация. В XXI

веке значительные изменения затронули все аспекты систематики аспергиллов. Без сомнения это связано со кардинальным изменением методологии исследований за счет масштабного использования методов геносистематики.

На основании филогенетического подхода в XXI веке сильно изменилась внутривидовая классификация рода *Aspergillus*. На сегодняшний день виды рода сгруппированы в 6 подродов и 28 секций, кроме того впервые на основании молекулярно-генетических исследований внутри секций были выделены серии, каждая из которых объединяет виды одной филогенетически близкой

клады. Количество серий в секции варьирует от одной до восьми. На начало 2024 года всего выделено 89 серий [1, 3].

Еще одно революционное решение, принятое в XXI веке, касается правил выбора названий для грибов с плеоморфным жизненным циклом, в том числе и аспергиллов. В силу принятых решений, закрепленных в «Международном кодексе номенклатуры водорослей, грибов и растений», все названия, как анаморфные так и телеоморфные, должны рассматриваться как номенклатурно равные. При этом выбор названий для конкретных родов зависит от решения специалистов-таксономистов [4].

Для удобства исследователей, работающих с аспергиллами, разработаны схемы идентификации, основанные, на принципах полифазной таксономии с использованием набора признаков: генотипических, основанных на мультилокусном анализе генов «домашнего хозяйства»; фенотипических, описываемых на стандартных питательных средах, и хемотаксономических, связанных с определением спектра вторичных метаболитов.

ЗИГОМИЦЕТОВЫЕ ГРИБЫ: РАЗНООБРАЗИЕ, СИСТЕМАТИКА, ЗИГОМИКОЗЫ

Кочкина Г.А.

ИБФМ им. Г.К. Скрыбина, ФИЦ Пушчинский НЦБИ РАН

Зигомицетовые грибы широко распространены в окружающей среде. Природные субстраты, из которых их выделяют, очень разнообразны. Для сапротрофов это – экскременты человека и животных, вода, почва, воздух, поверхность растений, продукты питания. Они могут быть микофилами, паразитами насекомых и червей. Симбиотрофные грибы порядка *Glomales* образуют арбускулярно-везикулярную микоризу с растениями. Среди зигомицетовых грибов есть возбудители серьезных микотических инфекций.

Грибы отдела *Zygomycota* представляют собой переходную группу от самых ранних дивергентных зооспоровых грибов *Cryptomycota*, *Chytridiomycota* и *Blastocladiomycota* к нежгутиковым мицелиальным многоклеточным грибам подцарства *Dikarya*. Есть мнение, что это одни из первых наземных грибов, появившихся на Земле [1].

Молекулярно-генетические исследования последних десятилетий показали, что отдел *Zygomycota* не является целостным и представляет собой полифилетический или парафилетический таксон, а традиционная классификация зигомицетовых грибов, основанная на их фенотипических особенностях, не является естественной и подлежит пересмотру. Поэтому в современной классификации этот таксон отсутствует, также как и класс *Zygomycetes*. В настоящее время грибы, образующие зигоспоры при половом процессе, принято называть нетаксономическим термином «зигомицетовые грибы» («*zygomycetous fungi*»). Это одна из самых малочисленных групп в Царстве грибов с числом видов менее 1% от всех описанных к настоящему времени.

Для молекулярно-генетических исследований по систематике и классификации зигомицетовых грибов используют мультилокусный анализ, как правило, анализируя нуклеотидные последовательности трех субъединиц рРНК (18S rRNA, 28S rRNA, 5.8S rRNA), двух субъединиц РНК-полимеразы (RPB1 и RPB2), фактора элонгации EF1 α (tef), актина (act). Для идентификации зигомицетовых грибов на родовом и видовом уровнях

Для систематизации стремительно растущей информации о видовом разнообразии аспергиллов регулярно публикуются списки признанных видов рода [1].

Список литературы

1. Visagie C.M., Yilmaz N., Kocsubé S. et al. A review of recently introduced *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and other Eurotiales species.. *Studies in Mycology*. 2024, 107, 1–66. DOI: 10.3114/sim.2024.107.01
2. Bhunjun C.S., Chen Y.J., Phukhamsakda C. et al. What are the 100 most cited fungal genera?. *Studies in Mycology*. 2024, 108, 1–412. DOI: 10.3114/sim.2024.108.01
3. Houbraken J., Kocsubé S., Visagie C.M. et al. Classification of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and related genera (Eurotiales): an overview of families, genera, subgenera, sections, series and species.. *Studies in Mycology*. 2020, 95, 5–169. DOI: 10.1016/j.simyco.2020.05.002
4. Flann C., Turland N., Monro A.M. Report on botanical nomenclature—Melbourne 2011. XVIII International Botanical Congress, Melbourne: Nomenclature Section, 18–22 July 2011. *Phytokeys*. 2014, 41, 1–289. DOI: 10.3897/phytokeys.41.8398

чаще всего используют сиквенсы региона ITS1-5.8S-ITS2, части генов большой 28S и малой 18S субъединиц рРНК, дополняя исследования анализом генов act, tef и др.

Выявленные глубокие филогенетические различия привели к изменению рангов имевшихся таксонов и к образованию новых. В результате многочисленных исследований предложена классификация зигомицетовых грибов, которую предложившие ее ученые, считают естественной, то есть основанной на родстве (табл. 1) [2]. Безусловно, классификация зигомицетовых грибов будет изменяться по мере развития новых методов молекулярно-генетического анализа и описания новых видов, особенно найденных в ранее неизученных экологических нишах.

Среди всех отделов зигоспоровых грибов наиболее изученным и самым крупным (82 рода) является отдел *Mucoromycota*. В этом отделе обращают на себя наибольшее внимание грибы порядка *Mucorales* (класс *Mucoromycetes*). В связи с молекулярно-генетическими исследованиями таксономия порядка сильно изменилась за последние годы. Оказалось, что многие морфологические характеристики, на основе которых ранее выделялись таксоны и были сформированы определители, не являются таксономически значимыми. К таковым, например, относятся форма спорангионоса, образование спорангиолей, гомоталлизм [3]. Напротив, филогенетическими исследованиями было подтверждено, что таксономически значимым признаком является отношение гриба к температуре роста.

Именно порядку *Mucorales* принадлежат 85% всех установленных возбудителей микозов из числа зигомицетовых грибов. По данным де Хута [4] за последние 20 лет именно в этом порядке увеличилось число патогенных видов более чем на 30% (табл. 2).

Во время пандемии COVID-19 мукормикозы создали огромную проблему для медиков. В период с апреля по июль 2021 г. в Индии было зарегистрировано более 45 тысяч случаев инфекции, когда возбудители поража-

ли носовые пазухи, легкие, мозг, кишечник, и уровень смертности при этом был очень высок [5]. Заболевание получило название «черный гриб», поскольку возбудители вызывали некроз мягких тканей, и они приобретали черный цвет. Все это привело к повышенному вниманию микологов к этой группе грибов. Появилось множество работ, направленных на разработку методов ускоренной идентификации возбудителей, изыскание оптимальных способов лечения и повышения иммунитета пациентов.

В дальнейшем совершенствование инструментов генетики и геномики должно способствовать уточнению локусов для идентификации зигомицетовых грибов и дальнейшему совершенствованию классификации и таксономии этой группы, а также выявлению новых факторов вирулентности. Все это, в конечном итоге, позволит лучше понять роль этих грибов в природе и с максимально эффективно использовать их потенциал.

Таблица 1. Современная классификация зигомицетовых грибов согласно Mycobank (на 21.03.2023 г.).

Подцарство	Отдел (Филум)	Подотдел	Число классов	Число порядков	Число семейств	Число родов
MUCOROMYCETA	<i>Calcarisporiellomycota</i>	<i>Calcarisporiellomycotina</i>	1	1	1	2
	<i>Glomeromycota</i>	<i>Glomeromycotina</i>	4	9	22	57
	<i>Mortierellomycota</i>	<i>Mortierellomy-cotina</i>	1	1	1	19
	<i>Mucoromycota</i>	<i>Mucoromycotina</i>	4	4	18	82
ZOOPAGOMYCETA	<i>Entomo-phthoromycota</i>	<i>Entomophthoromycotina</i>	2	2	2	27
	<i>Kickxellomycota</i>	<i>Kickxellomycotina</i>	7	7	8	68
	<i>Zoopagomycota</i>	<i>Zoopagomycotina</i>	1	1	6	23
BASIDIOMYCEOTA	<i>Basidiobolomycota</i>	<i>Basidiobolomycotina</i>	1	1	1	2

Таблица 2. Распределение возбудителей мукомикоза по порядкам зигомицетовых грибов.

Таксоны зигомицетовых грибов		Число возбудителей микозов согласно	
Порядки	Семейства	de Hoog et al., 2000	de Hoog et al., 2020
<i>Basidiobolales</i>	<i>Basidiobolaceae</i>	1	1
<i>Conidiobolales</i>	<i>Conidiobolaceae</i>	3	3
<i>Mortierellales</i>	<i>Mortierellaceae</i>	2	2
<i>Mucorales</i>	<i>Cunninghamellaceae</i>	2	4
	<i>Lichtheimiaceae</i>	4	5
	<i>Mucoraceae</i>	7	11
	<i>Rhizopodaceae</i>	8	9
	<i>Saksenaaceae</i>	2	4
	<i>Syncephalastraceae</i>	1	1
	<i>Thamnidaceae</i>	0	1

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание №FMRM-2022-0019).

Список литературы

1. Voigt K., James T.Y., Kirk P.M., de A. Santiago A.L.C.M., Waldman B., Griffith G.et al. Early-diverging fungal phyla: taxonomy, species concept, ecology, distribution, anthropogenic impact, and novel phylogenetic proposals. *Fungal Diversity*, 2021, 109: 59–98. DOI: 10.1007/s13225-021-00480-y

2. Tedersoo L., Sánchez-Ramírez S., Kõljalg U., Bahram M., Döring M., Schigel D.et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 2018, 90: 135–159. DOI: 10.1007/s13225-018-0401-0

3. Walther G., Wagner G., Kurzai O. Updates on the taxonomy of Mucorales with an emphasis on clinically important taxa. *Journal of Fungi*, 2019, 5(4): 106. DOI: 10.3390/jof5040106

4. de Hoog G.S., Guarro J., Gené J., Ahmed S., Al-Hatmi A.M.S., Figueras M.J. et al. *Atlas of clinical fungi*, 4th ed. Utrecht, Reus: Westerdijk Institute, Universitat Rovira i Virgili; 2020. p. 1600.

5. Divakar, P. K. Fungal taxa responsible for mucormycosis / “Black Fungus” among COVID-19 patients in India. *Journal of Fungi*, 2021, 7(8): 641. DOI: 10.3390/jof7080641

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМАТИКА ДРОЖЖЕЙ АСКОМИЦЕТОВ РОДА *SACCHAROMYCES*

Наумова Е.С.

НИЦ Курчатовский институт, Москва

Современная классификация дрожжей *Saccharomyces* находится в полном соответствии с биологической концепцией вида, разработанной на высших эукариотах (Mayr, 1942). Род *Saccharomyces* хорошо определен и включает восемь биологических видов: *S. arboricolus*, *S. bayanus*, *S. cariocanus*, *S. cerevisiae*, *S. jurei*, *S. kudriavzevii*, *S. mikatae* и *S. paradoxus* (Naumov et al., 2000; Kurtzman, 2003; Wang, Bai, 2008; Naseeb et al., 2017). Виды *S. cerevisiae* и *S. bayanus* используются в различных ферментационных процессах, тогда как остальные шесть видов не связаны с хозяйственной деятельностью человека и встречаются преимущественно в природе.

Обладая общей системы типов спаривания восемь видов *Saccharomyces* могут скрещиваться между собой. Однако, за счет постзиготической изоляции родительских видов, межвидовые гибриды стерильны, образуя нежизнеспособные продукты мейоза – аскоспоры. Внутри видов *S. bayanus* и *S. paradoxus* обнаружены частично генетически изолированные экологические и географические популяции, которые также отличаются по ряду молекулярных маркеров. Таксономический статус указанных популяций является дискуссионным. Некоторые авторы возводят их в ранг самостоятельных видов, другие рассматривают их в качестве различных разновидностей одного и того же вида.

Список литературы

1. Mayr E. Systematics and the Origin of Species / Columbia University Press, New York. 1942.
2. Naumov G.I., James S.A., Naumova E.S., Louis E.J., Roberts I.N. Three new species in the *Saccharomyces sensu stricto* complex: *Saccharomyces cariocanus*, *Saccharomyces kudriavzevii* and *Saccharomyces mikatae*. Int. J. Evol. Microbiol. 2000a. V. 50. P. 1931–1942.
3. Kurtzman C.P. Phylogenetic circumscription of *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* and other members of the *Saccharomycetaceae*, and the proposal of the new genera *Lachancea*, *Nakaseomyces*, *Naumovia*, *Vanderwaltozyma* and *Zygorhynchus*. FEMS Yeast Res. 2003. V. 4. P. 233–245.
4. Wang S.A., Bai F.-Y. *Saccharomyces arboricolus* sp. nov., a yeast species from tree bark. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2008. V. 58. P. 510–514.
5. Naseeb S., James S.A., Alsammar H., Michaels C.J. et al. *Saccharomyces jurei* sp. nov., isolation and genetic identification of a novel yeast species from *Quercus robur*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2017. V. 67. P. 2046–2052.

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМАТИКА МИКСОМИЦЕТОВ (МУХОМУСЕТЕС) В ИЗУЧЕНИИ ИХ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ И ФИЛОГЕНИИ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Новожилов Ю.К.¹, Щепин О.Н.^{1,2}, Приходько И.С.¹, Бортников Ф.М.¹, Гмошинский В.Н.³, Шнитлер М.²

¹Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

²Университет им. Эрнста-Моритца, Институт ботаники, Грейфсвальд, Германия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В отличие от многих других групп организмов, число выявляемых видов грибов и грибообразных протистов продолжает стремительно расти десятилетие за десятилетием, и нет никаких признаков выравнивания кривой роста числа известных видов. Большинство прогностических оценок численности грибов колеблется от 1 до 10 млн и даже 15 млн видов, последние усредненные оценки указывают на число 2.5. млн видов (Hyde et al., 2024, <https://doi.org/10.1007/s13225-024-00545-8>). На основе этой оценки число известных видов выявлено чуть более 3–4% от прогнозируемого видового разнообразия грибов. Колебания значений ожидаемого глобального видового богатства грибов и грибообразных протистов значительно зависят от метода оценки и поправки, например, соотношение числа известных видов грибов к числу видов растений колеблется между 6:1 и 10:1, а соотношения для отдельных локальных мест до 89:1.

Основная часть новых таксонов выявляется: с помощью традиционных методов инвентаризации в малоизученных районах и местообитаниях; с помощью метагеномного секвенирования различных субстратов; анализа неразобранных коллекций в гербарных фондах и повторного изучения уже известных видов с использованием полифазного подхода и методов молекулярной филогении и филогеномики (мультилокусный ДНК-баркодинг, анализа геномов с низким покрытием и т.д.). Полученные данные показывают, что общее число существующих видовых

названий примерно в 2–3 раза превышает число принятых в настоящее время видов. Часто гораздо проще назвать вид новым для науки, чем установить, не был ли он уже ранее описан, следствием чего является увеличение числа гетеротипных синонимов. Описание и ревизия таксона – это не просто сравнение изучаемых образцов с ранее признанными видами того же рода, но и кропотливая работа, поскольку нередко виды описываются в родах, к которым они уже не принадлежат.

В отношении миксомицетов после периода отдельных, не специальных исследований в XVIII–XIX вв. (когда появилось множество гетеротипных синонимов), отчетливо наблюдаются три фазы в описании новых видов – i) восходящая фаза, когда прогресс был быстрым в XIX веке; ii) крутая фаза, когда световая микроскопия стала широко использоваться и начались интенсивные сборы в малоизученных частях мира в первой половине XX века; iii) относительно постоянная фаза со второй половины XX века до наших дней, когда систематики стали использовать новые методы для выявления видов, включая влажные камеры, СЭМ.

В настоящее время известно около 30 концепций вида, которые рассматриваются в проекте «Tree of Life». В систематике грибов и грибообразных протистов в самом упрощенном варианте чаще всего используются 4 группы концепций: i) типолого-морфологическая концепция – вид как группа морфологически обособленных особей; ii) филогенетическая концепция –

вид как эволюционная линия; iii) группа концепций биологического вида – вид как совокупность особей, которые репродуктивно совместимы между собой, но репродуктивно изолированы от других подобных совокупностей; iv) экологическая концепция вида – вид представляет собой группу особей, обитающих в сходных условиях. В систематике миксомицетов чаще всего используются две первые концепции. В рамках типолого-морфологической концепции на основании анализа признаков оценивается уровень внутри- и межгрупповой изменчивости с целью выявления хиагуса между изучаемыми группами. При наличии такого хиагуса группы могут интерпретироваться как разные таксономические виды. Чтобы определить значимый порог сходства с помощью BLAST для совпадений на уровне видов при использовании ДНК-штрихкодов, в последнее время стал использоваться алгоритм ASAP (assemble species by automatic partitioning) и сходные с ним. Такие алгоритмы не только визуализируют процедуру штрихкодирования, но и представляют собой таксономические гипотезы, которые необходимо проверить (Puillandre et al. 2020).

Разграничение, идентификация видов, и как следствие оценка видового разнообразия зависят от принятой концепции вида систематиком. От этого также зависят и результаты использования его работы другими специалистами, профильными организациями и любителями (представителями гражданской науки «citizen science»). Подсчет видов, основанный на диагностируемой версии филогенетической концепции видов, даст другие цифры, чем подсчет, основанный на биологической концепции или типолого-морфологической концепции видов.

При определенных условиях границы видов миксомицетов становятся «проницаемыми». Видообразование и барьерные гены определяют формирование видов и их границ. Проницаемость видовых границ широко влияет на таксономию видов, а повышенная способность к распространению пропегулами – на популяционную биологию этих организмов. В результате того, что поток генов у них может преодолевать географические и экологические барьеры, возможно географическое и (или) экологическое наложение популяций видов. Трудно решить, какой подход к разграничению видов лучше всего подходит для конкретной группы таксонов. В одних случаях значительная вариабильность морфологических признаков может наблюдаться в пределах одного морфологического вида и эти отклонения не подтверждаются филогенетическим анализом, в других – наоборот относительная бедность морфологических признаков приводит к появлению морфологически

сходных криптических таксонов. Пример – некоторые виды нивальных миксомицетов из родов *Didymium*, *Diderma*, *Lepidoderma* др. В филогенетическом анализе все монолокусные подходы страдают одним и тем же существенным недостатком: неопределенностью получаемых таксономических заключений, связанной с тем, что один признак недостаточен для решения таксономических задач. Поэтому все кластеры, получаемые с помощью монолокусных подходов, должны рассматриваться как предварительные гипотезы. Увеличение филогенетического сигнала: объединение нескольких генов или регионов может дать больше филогенетической информации, особенно для разрешения глубоких или сложных узлов в филогенетическом дереве.

В этой связи наиболее перспективным может оказаться использование многих генов, например, с помощью анализа генома с низким покрытием. Так с помощью этого метода нами был успешно проведен филогенетический анализ темнотеловых миксомицетов (Columellomycetidae). Полученная топология подтверждает ряд выводов, сделанных ранее на основании филогений, построенных по частичным последовательностям одного – трех генов. Подтверждено положение *Polyschismium fallax* ($\equiv$ *Diderma fallax*) в роде *Polyschismium*, *Didymium spongiosum* ($\equiv$ *Mucilago crustacea*) в роде *Didymium*, *Diderma tigrinum* ($\equiv$ *Lepidoderma tigrinum*) в роде *Diderma*. Подтверждено положение *Lamproderma sacrographicum* отдельно от других представителей рода, ближе к Amaurochaetaceae и Meridermataceae. Подтверждена полифилетическая природа родов *Physarum*, *Fuligo*, *Badhamia* и *Lamproderma*. Подтверждена принадлежность рода *Kelleromyxa* к Columellomycetidae и впервые показано сестринское положение *Kelleromyxa fimicola* с *Physarum vernum* и *Lignydium muscorum* ($\equiv$ *Fuligo muscorum*). Впервые показана близость рода *Paradiachea*, совмещающего морфологические признаки родов *Diachea* (Didymiaceae) и *Lamproderma* (Lamprodermataceae), к роду *Lamproderma*. Интересным предварительным результатом является также то, что род *Meriderma* образует монофилетическую группу вместе с Amaurochaetaceae, чего не демонстрировалось в предыдущих мультигенных филогенетических исследованиях, основанных на меньшем объеме данных. В настоящее время остаются неразрешенными взаимоотношения семейств *Physaraceae* и *Didymiaceae*. В связи с этим планируется увеличить разрешение филогении с помощью извлечения дополнительных локусов для филогенетического анализа из полученных данных скимминга геномов и увеличения числа анализируемых таксонов.

НОВЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМАТИКИ MALASSEZIA SPP.

Сергеева М.А., Арзуманян В.Г.

Новосибирский государственный университет
НИИ Вакцин и сывороток им И.И.Мечникова, Москва

Систематика и номенклатура микроскопических грибов рода *Malassezia* продолжают обсуждаться в мировой литературе. На сегодняшний день эти липофильные дрожжи относят к Царству *Fungi*, Подцарству *Dikarya*, Отделу *Basidiomycota*, Подотделу

Ustilaginomycotina, Классу *Malasseziomycetes*, Порядку *Malasseziales*, Роду *Malassezia*. В составе рода выделяют 18 «общепризнанных» видов [1], включенных в крупные базы данных (Mycobank, Index Fungorum) и основные зарубежные коллекции грибов (CBS, ATCC, JCM).

Всестороннее изучение микроскопических грибов – представителей рода *Malassezia*, совершенствование морфологических и генетических методов диагностики [2,3], обнаружение новых видов [4,5] и углубление понимания роли, которую *Malassezia* spp. играют в развитии болезней кожи человека [6] и животных, продолжается и сегодня.

Как видно из табл. 1, исследования последних лет расширили представление о видовом разнообразии рода *Malassezia* главным образом за счет видов, распространенных в регионах Латинской Америки и Азии.

В 2024 году Y.J.Zhao и соавторы из Китая сообщили о выделении с кожи кур 21 штамма дрожжей *Malassezia*. Филогенетический анализ показал, что изоляты отличаются от наиболее «близкого» генетически вида *M. slooffiae* и могут быть рассмотрены как потенциальный новый вид под названием *M. gallinae* [4].

Годом позже, в 2025, японскими исследователями J.Hiruma и др. был описан еще один вероятный новый вид, полученный от пациента с себорейным дерматитом. От таковой у близкородственного вида *M. yamatoensis* генетическая последовательность нового изолята LSEM 4845T отличалась на 5,3% [5].

Примечательно, что полученная культура продемонстрировала рост при температуре 40 °C – ранее эта особенность считалась характерной преимущественно для видов, колонизирующих кожу животных, но не человека. Авторы предложили для выделенного вида-кандидата название *Malassezia polysorbatinonusus*, отражающее его неспособность к утилизации твинов.

В базе данных Mycobank авторское название вида признано «орфографическим вариантом» и не имеет общепризнанного (Legitimate) статуса, при этом «исправленная» независимым систематиком версия *M. polysorbatinonusa* обозначена как неверное/недопустимое (Invalid) название.

Тем не менее, в Index Fungorum на апрель 2025 года название кандидата на новый вид приводится в единственной форме – *M. polysorbatinonusa*.

На начало 2025 в Mycobank можно найти 26 «признанных» (Legitimate) видовых названий по поисковому запросу «*Malassezia*», систематическое положение некоторых в настоящий момент пересмотрено (так, *M. mansonii* (Castell.) Verdun (1913) теперь относят к роду *Exophiala*, *M. muris* ((Gluge & d’Ukedem) Escomel 1924) – некоторыми авторами рассматривается в составе рода *Microsporium*).

В составе собственно рода *Malassezia* на сегодняшний день Mycobank насчитывает 24 вида, в том числе – признаваемые «таксономическими синонимами» *M. furfur* виды *M. macfadyeni* (Castellani, 1908) и *M. tropica* (Castellani, 1923).

В Index Fungorum по поисковому запросу «*Malassezia*» выводится 27 видовых названий, из которых 3 являются «синонимами» *M. furfur* (*M. macfadyeni*, *M. ovalis* и *M. tropica*), название еще 2 видов (*M. mansonii*, *M. muris*) в современной номенклатуре также считаются устаревшими или неоднозначными, поскольку описывают грибы, могущие относиться к роду, отличному от *Malassezia*.

В обеих базах данных в качестве валидного видового названия значится также *M. equi* (Nell, 2002) – вид, выделенный с кожи здоровой лошади и генетически наиболее близкий к *M. sympodialis*. Единственный штамм этого вида, хранившийся в Национальной коллекции дрожжевых культур (NCYC) в Норидже, погиб [7].

Таблица 1. Общепринятая номенклатура *Malassezia*.

Название вида	Год открытия	Автор описания
<i>M. furfur</i>	1846 (первое упоминание)	C.Eichstedt, V.von Froriep
	1853 (выделен с кожи больного разноцветным лишаем)	R.Malassez
	1874 (выделен с кожи больного с перхотью)	C.Robin
	1889 (дано название)	E.H. Baillon
<i>M. pachydermatis</i>	1951	M.A.Gordon
<i>M. sympodialis</i>	1990	R.Simmons, E.Gueho
<i>M. slooffiae</i>	1996	J.Guillot, G.Midgley, E.Gueho
<i>M. obtusa</i>	1996	
<i>M. globosa</i>	1996	
<i>M. restricta</i>	1996	T.Siguta и др.
<i>M. dermatis</i>	2002	
<i>M. japonica</i>	2003	
<i>M. yamatoensis</i>	2004	T.Siguta и др.
<i>M. nana</i>	2004	A.Hirai и др.
<i>M. equina</i>	2007	F.J.Cabanes и др.
<i>M. caprae</i>	2007	F.J.Cabanes и др.
<i>M. cuniculi</i>	2011	F.J.Cabanes и др.
<i>M. brasiliensis</i>	2016	F.J.Cabanes и др.
<i>M. psittaci</i>	2016	F.J.Cabanes и др.
<i>M. arunalokei</i>	2016	P.Honnavar и др.
<i>M. vespertilionis</i>	2018	M.Lorch и др.

Многие виды дрожжей, выделенные и описанные в качестве относящихся к роду *Malassezia* spp. до широкого внедрения ПЦР-методик, впоследствии в ходе филогенетического анализа не были подтверждены в качестве генетически уникальных и не вошли в коллекционный список.

В этом числе, например, *M. ochoterenai*, выделенный с кожи мексиканской пациентки с себорейным дерматитом и описанный в 1941 году в качестве отличного от *M. furfur* вида на испанском языке биологом М.Маеске [8]. Несмотря на то, что монография автора – единственный источник, сообщающий об обнаружении *M. ochoterenai*, и на сегодняшний день таксономическое его положение не определено (вероятно, это «синоним» другого вида *Malassezia*), в этом году египетские авторы опубликовали статью, в которой сообщается о том, что *M. ochoterenai* «колонирует кожу попугаев» наряду с *M. psittaci* [9]. Источник данных авторами не был указан.

Ниже мы приводим для справки сводную номенклатуру существующих в новейшей литературе названий видом *Malassezia*, присутствующую в современных базах данных (табл. 2).

Таблица 2. Варианты новейшей номенклатуры *Malassezia*.

Видовое название	Index Fungorum	Mycobank	Статус
<i>Malassezia arunalokei</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia brasiliensis</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia caprae</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia cuniculi</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia dermatitis</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia equi</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia equina</i>	+	+	легитимное название; нет образцов*
<i>Malassezia furfur</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia gallinae</i>	+	+	потенциально новый вид; легитимное название
<i>Malassezia globosa</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia japonica</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia macfadyeni</i>	+	+	синоним <i>M.furfur</i>
<i>Malassezia mansonii</i>	+	+	название изменено на <i>Exophiala mansonii</i>
<i>Malassezia muris</i>	+	+	название изменено на <i>Microsporum muris</i>
<i>Malassezia nana</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia obtusa</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia ochoterenai</i>	+	+	легитимное название; нет образцов**
<i>Malassezia ovalis</i>	+	+	синоним <i>M.furfur</i>
<i>Malassezia pachydermatis</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia polysorbatinonusa</i>	+	+	потенциально новый вид; невалидное название***
<i>Malassezia polysorbatinonusus</i>		+	орфографический вариант
<i>Malassezia psittaci</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia restricta</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia slooffiae</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia sympodialis</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia tropica</i>	+	+	синоним <i>M.furfur</i>
<i>Malassezia vespertilionis</i>	+	+	легитимное название
<i>Malassezia yamatoensis</i>	+	+	легитимное название

*уникальность вида была подтверждена генетическим анализом;
**уникальность вида не подтверждена;
***по данным Mycobank.

Список литературы

1. Арзуманян ВГ, Колыганова ТИ. Новое в таксономии, идентификации и свойствах дрожжей рода *Malassezia* Baillon. Микология сегодня. Том 4. 2022;132-160.

2. Арзуманян ВГ, Вартанова АА, Вартанова НО. Дополнение базы данных для идентификации *Malassezia sympodialis* методом MALDI-TOF масс-спектрометрии. Успехи медицинской микологии.2023(24);331-334.

3. Arzumanyan V, Ilyina I, Khaldina M, Barunova N, Gavrilov V, Dronina Y, Pashkov G. Actuality Of Skin Scales Microscopy In Patients With Seborrheic Dermatitis. Migrat Lett. 2024 Mar 4;21(7):1041-7.

4. Zhao YJ, Ma Q, Liu MM, Wang QM. *Malassezia gallinae* sp. nov., a new basidiomycetous yeast species isolated from skins of chickens. Med Mycol. 2024 Nov 12;62(11):myae109. doi: 10.1093/mmy/myae109. PMID: 39479801.

5. Hiruma J, Nojo H, Hiruma M, Sugita T, Makimura K, Harada K, Kano R. *Malassezia polysorbatinonusus* sp. nov., a Novel Isolate from a Japanese Patient with Seborrheic Dermatitis. Mycopathologia. 2025 Jan 13;190(1):15. doi: 10.1007/s11046-024-00926-2. PMID: 39806192.

6. Сепреева МА, Сорокина ЕВ, Арзуманян ВГ. Патогенез себорейного дерматита: современное представление. Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2023(3):25-32. doi:10.14427/jipai.2023.3.25.

7. Cabañes FJ, Theelen B, Castellá G, Boekhout T. Two new lipid-dependent *Malassezia* species from domestic animals. FEMS Yeast Res. 2007 Sep;7(6):1064-76. doi: 10.1111/j.1567-1364.2007.00217.x. Epub 2007 Mar 16. PMID: 17367513.

8. Maecke M. Descripcion de una nueva especie de *Malassezia*: *Malassezia ochoterenai* agente causal de pityriasis (tinea) versicolor, y posicion sistematica del genero *Malassezia*. Anales Del Instituto De Biología. 1941; 12(2):511-546.

9. AboZaid MM et al. Phenotypic and Genotypic Characterization of *Malassezia* Species Isolated from *Malassezia* Associated Skin Diseases: review article. SMJ. 2025 29(1): 24-29.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ, ТАКСОНОМИЯ, ЭКОЛОГИЯ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБОВ РОДА *EMERICELLOPSIS* J.F.H. ВЕУМА

Соколов В.В.¹, Малышева К.В.¹, Садыкова В.С.¹, Биланенко Е.Н.², Георгиева М.Л.^{1,2}

¹НИИ по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе, Москва

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Мицелиальные грибы рода *Emericellopsis* (*Bionectriaceae*, *Hypocreales*, *Ascomycota*) широко распространены по всему миру и могут быть выделены из различных субстратов: сельскохозяйственные и лесные почвы, торфяные отложения, засоленные почвы, содовые солончаки, пресноводные, эстуарные и морские илистые отмели, с поверхности и как эндофиты морских водорослей и прибрежных растений-солянок, обнаружены на покровах ящериц и беспозвоночных животных.

Род *Emericellopsis* был введен van Beyma в 1939 году в семействе *Eurotiaceae* (порядок *Eurotiales*) для размещения двух описанных им видов почвенных микромицетов – *Emericellopsis terricola* и *Emericellopsis terricola* var. *glabra* [1]. Название было обусловлено сходством орнаментации аскоспор с таковыми у *Emericella nidulans*.

В дальнейшем положение рода несколько раз менялось. Он был перенесен в семейство *Pseudeurotiaceae* (*Eurotiales*), далее *Pseudeurotiaceae* были перенесены в другой порядок – *Sphaeriales*. Большой вклад в изучение рода *Emericellopsis* внесла Л. А. Белякова. Она провела обширные сравнительные исследования морфологии и биологии грибов этого рода, описала три новых вида: *Emericellopsis pallida*, *Emericellopsis donezkii* и *Emericellopsis maritima*. Были определены отношение изолятов к температуре, характер роста на различных питательных средах, способность усваивать различные источники углерода и азота, условия развития совершенных стадий [2], при ее участии собрана коллекция штаммов *Emericellopsis* во Всероссийской коллекции микроорганизмов. Помимо изучения совершенной стадии, активно изучалась и несовершенная стадия, имеющая *Acremonium*-подобную морфологию. В 1971 году W. Gams опубликовал результаты обширной работы по классификации микромицетов с несовершенной стадией типа *Cephalosporium/Acremonium*, включая виды рода *Emericellopsis* [3], разбив их на несколько групп, что в последующем стало основой для первых филогенетических исследований. Одно из таких исследований, результаты которого опубликованы в 1996 году, показало, что *E. terricola* и *E. minima* вместе с некоторыми видами *Acremonium* группируются в *Hypocreales*. В 1999 году Rossman с соавторами вводят новое семейство, *Bionectriaceae* (*Hypocreales*), размещая в нем род *Emericellopsis* на основании морфологии и доступных филогенетических данных [4]. В 2023 г. были опубликованы результаты обширной ревизии микромицетов с *Acremonium*-подобной морфологией, включая грибы рода *Emericellopsis*. Результатом филогенетического анализа комбинации последовательностей ITS, LSU, rpb2 и tef1 стало определение границ рода *Emericellopsis*, в который были добавлены виды без известной совершенной стадии, описанные ранее как *Acremonium*, а также *Emericellopsis fimetaria*, ранее известный как *Stilbella fimetaria*, вид, впервые описанный в 1799 году С. Н. Persoon. Кроме того, было подтверждено положение рода в системе грибов, в семействе *Bionectriaceae* [5].

В настоящее время род включает 29 видов. Для грибов рода *Emericellopsis* характерно образование шаровидных клейстотециев с мешковидными восьмиспоровыми сумками и эллипсоидными, яйцевидными аскоспорами, изначально с широкой гиалиновой оболочкой, которая при созревании разрывается, образуя несколько продоль-

ных крыльев. Конидиальное спороношение в культуре обычно хорошо представлено, у большинства видов с *Acremonium*-подобной морфологией, редко *Stilbella*-подобная морфология [1, 3].

Филогенетический анализ показал, что внутри рода *Emericellopsis* выделяется несколько клад, в целом совпадающих с субстратной приуроченностью видов: «морская», включающая преимущественно выделяемые из морских биотопов виды, и «наземная», включающая преимущественно почвенные виды; внутри «морской» клады некоторые авторы выделяют кладу «содовых почв», включающую щелочеустойчивый вид *Emericellopsis alkalina* [6].

Интерес к грибам рода *Emericellopsis* как к продуцентам антибиотиков появился после публикации J. H. Grosklags и M. E. Swift, которые в 1957 году описали совершенную стадию продуцирующего цефалоспорины *Cephalosporium salmosynnematum* – *Emericellopsis salmosynnemata*. Авторы показали, что ингибирующие рост бактерий соединения продуцируют также *E. terricola* var. *glabra* и *Emericellopsis* sp. WSF 47, спорадически и в меньшем количестве – *E. mirabilis*, *E. humicola*, *E. minima*, *E. terricola* [7]. В дальнейшем у разных видов рода *Emericellopsis* были обнаружены и другие соединения с антимикробной, антипротозойной и цитотоксической активностью в отношении опухолевых клеток. Наиболее интересные из этих соединений, нерибосомальные пептиды из группы пептабиолов, были обнаружены у *E. alkalina*, *E. donezkii*, *E. exuviana*, *E. fimetaria*, *E. microspora*, *E. minima*, *E. salmosynnemata*, *E. tubakii*. Анализ доступных геномов показывает, что у некоторых видов существуют кластеры генов, необходимые для синтеза нерибосомальных пептидов, которые также могут обладать биологической активностью. Все это делает виды рода *Emericellopsis* перспективными для поиска новых антибиотиков.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФ № 25-24-00291.

Список литературы

1. Van Beyma Thoe Kingma F.H. Beschreibung einiger neuer Pilzarten aus dem Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn (Nederland): VI. Mitteilung. Antonie Van Leeuwenhoek. 1939. Vol. 6, № 1. P. 263–290.
2. Beljakova L.A. Genus *Emericellopsis* van Beyma (*Eurotiaceae*). Mikol. Fitopatol. 1974. Vol. 8, № 5. P. 385–396.
3. Gams W. *Cephalosporium*-artige Schimmelpilze (*Hyphomycetes*); with an English summary, glossary of morphological terms and keys. Stuttgart: Fischer, 1971. 262 p.
4. Rossman A.Y., Samuels G. J., Rogerson C. T., Lowen R. Genera of *Bionectriaceae*, *Hypocreaceae* and *Nectriaceae* (*Hypocreales*, *Ascomycetes*).. Stud. Mycol. 1999. Vol. 42.
5. Hou L.W., Giraldo A., Groenewald J. Z. et al. Redisposition of *acremonium*-like fungi in *Hypocreales*. Stud. Mycol. 2023. Vol. 105, № 1. P. 23–203.
6. Grum-Grzhimaylo A.A., Georgieva M. L., Debets A. J. M., Bilanenko E. N. Are alkalitolerant fungi of the *Emericellopsis* lineage (*Bionectriaceae*) of marine origin?. IMA Fungus. 2013. Vol. 4, № 2. P. 213–228.
7. Grosklags J.H., Swift M.E. The Perfect Stage of an Antibiotic—Producing *Cephalosporium*. Mycologia. 1957. Vol. 49, № 3. P. 305–317.

Глава 3

Морфология, физиология и биохимия грибов

10.14427/cmr.2025.xi.03

УРОВЕНЬ ПОЛИОЛОВ И УГЛЕВОДОВ ЦИТОЗОЛЯ ГРИБОВ
КАК ИНДИКАТОР СТРЕССА, ВЫЗВАННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Федосеева Е.В.¹, Терешина В.М.², Данилова О.А.², Януцевич Е.А.², Сергеева Ю.Д.¹, Терехова В.А.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

²Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ ФОБТ РАН, Москва

Важными биомолекулами грибной клетки являются углеводы и полиолы цитозоля. Они выполняют множество функций, как в оптимальных условиях роста, так и условиях стресса, вызванного различными факторами.

Дисахарид трегалоза играет решающую роль в физиологии грибов. Трегалоза функционирует как резервный углевод и протектор от различных стрессов, модулирует гликолиз, стабилизирует внутриклеточные концентрации глюкозы и АТФ, а также проявляет антиоксидантную активность, снижая скорость окисления жирных кислот. Кроме того, трегалоза способствует стабилизации клеточной мембраны (Sharma et al., 2023; Ribeiro et al., 2024).

В зависимости от систематического положения гриба, возраста культуры, состава среды, в клетке могут накапливаться различные полиолы, выполняющие сходные функции, – эритрит, арабит или маннит (Януцевич, 2019). Эритрит, арабит и глицерин объединяют в группу низкомолекулярных полиолов. Накопление полиолов, главным образом глицерина, а также арабита, эритрита и маннита происходит у грибов в условиях осмотического шока (Turk, Gostinčar, 2018; Януцевич, 2019). Данные полиолы, а также трегалозу, относят к криопротекторным соединениям (Inouye, Phadtare, 2014; Януцевич, 2019).

Маннит представляет многофункциональную молекулу и его значение в грибной клетке особенно. Этот полиол играет ключевую роль в различных биологических процессах, выступая в качестве резервного углевода, обеспечивая защиту от осмотического и окислительного стрессов, регулируя соотношение коферментов НАД(Ф)/НАД(Ф)Н в клетке (Solomon et al., 2007; Patel and Williamson, 2016). Кроме того, он способствует патогенности грибов (Patel and Williamson, 2016). Маннит является характерным компонентом аскомицетов и, что примечательно, функции его могут варьировать среди различных видов грибов (Solomon et al., 2007).

Стресс, вызванный тяжелыми металлами (ТМ), может вызывать нарушение углеродного и энергетического метаболизма (Vantová et al., 2013). На примере лишайников было показано, что концентрации полиолов могут использоваться в качестве индикаторов стресса, вызванного ТМ (Roser et al., 1992; Nakajima et al., 2019). Однако взаимосвязь между концентрациями ТМ и полиолов зависит как от конкретного металла, так и от рассматриваемого полиола (таблица 1).

Таблица 1. Изменение концентрации углеводов и полиолов в лишайниках при действии тяжелых металлов.

Вид лишайника	Металл(ы)	Влияние на концентрацию углеводов и полиолов	Ссылка
<i>Evernia prunastri</i>	Cu	Концентрация общих восстанавливающих сахаров снижалась на фоне стресса, вызванного действием ТМ	Vantová et al., 2013
<i>Dirinaria picta</i>	общее количество Fe, Zn, Cu, Cd, Pb и Co	Концентрации маннита и эритрита были положительно связаны с общим количеством ТМ. Арабит оказался единственным полиолом, показавшим отрицательную корреляцию с общим количеством накопленных ТМ.	Huang et al., 2017
<i>Stereocaulon japonicum</i>	Cu	Концентрации арабита и маннита изменялись независимо от концентрации меди в талломах	Nakajima et al., 2019
<i>Diploschistes muscorum</i>	общее количество Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, As	Концентрация арабита уменьшалась с увеличением внутриклеточного и внеклеточного содержания ТМ в талломе лишайника	Osyczka et al., 2021

Подобные исследования на чистых культурах мицелиальных грибов ранее не проводились. Целью работы был анализ биохимических изменений в составе углеводов и полиолов цитозоля у почвенных мицелиальных грибов *Fusarium equiseti* и *Clonostachys farinosa* под влиянием меди.

Методы. Лабораторные штаммы *F. equiseti* и *C. farinosa* культивировали на питательной среде Чапека. В исследовании использовали нитрат меди. Предварительно определяли эффективные концентрации меди, вызывающие 30% ингибирование и 30% стимулирование прироста грибной биомассы.

Водную суспензию спор грибов получали смывом с поверхности активно спороносящих колоний с последующей фильтрацией через стерильное мелкое сито. Суспензию спор вносили в жидкую среду Чапека до конечной концентрации 1×10⁶ спор/мл. Медь в заранее определенных ингибирующей и стимулирующей

концентрациях добавляли в среду одновременно с внесением грибного инокулюма. Погруженные культуры грибов культивировали в колбах емкостью 250 мл с 100 мл среды на качалке (250 – 300 об./мин) при температуре 22–24°C. Анализировали два варианта проб: контрольные (рост при оптимальных условиях без внесения меди) и экспериментальные (с внесением меди). Отбор проб для анализа роста биомассы и биохимических изменений производили на 3–4-е сутки роста. Для проведения биохимических анализов грибной мицелий отделяли от культуральной жидкости фильтрованием через капроновое сито, промывали дистиллированной водой, удаляли лишнюю влагу, делали навески и хранили при -21°C.

Экстракцию растворимых сахаров мицелия проводили кипящей водой в течение 20 мин четырехкратно. Из полученного экстракта удаляли белки (Somogyi, 1945). Дальнейшую очистку экстракта углеводов от заряженных соединений проводили, используя комбинированную колонку с ионообменными смолами Dowex-1 (ацетатная форма) и Dowex 50W (H⁺). Состав углеводов определяли методом ГЖХ, получая из лиофильно высушенного экстракта триметилсилильные производные сахаров (Brobst, 1972). В качестве внутреннего стандарта использовали α-метил-D-маннозид («Merck», Германия). Хроматографирование проводили на газожидкостном хроматографе Кристалл 5000.1 («Хроматек», Россия) на капиллярной колонке ZB-5 30 м, 0.32 мм, 0.25 мкм («Phenomenex», США) с применением температурной программы от 130 до 270°C со скоростью 5-6 град/мин. В качестве метчиков использовали глюкозу, маннит, арабит, инозит, трегалозу («Sigma», США).

Результаты. В биомассе исследованных микромицетов, выращенных в оптимальных условиях, растворимые углеводы были представлены трегалозой (Тре), глюкозой (Глю) и реже фруктозой (Фру), а полиолы – глицерином (Гн), эритритом (Эри), арабитом (Ара), инозитом (Ино) и маннитом (Ман) (рис. 1, 2). В образцах биомассы микромицетов преобладал маннит: 54% от суммы УиП у *F. equiseti* и 50% от суммы УиП у *C. farinosa*. Вторым по доминированию у обоих видов был арабит: 23% от суммы УиП у *F. equiseti* и 28% от суммы УиП у *C. farinosa*. В биомассе *F. equiseti* была значительна доля трегалозы (19%), тогда как в биомассе *C. farinosa* – эритрита (17%) (рис. 1).

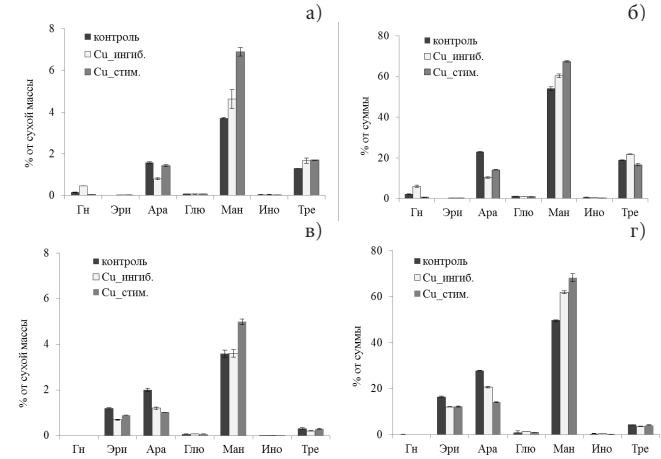


Рисунок 1. Состав углеводов и полиолов цитозоля в контроле и при действии Cu в мицелии микромицетов: а,б – *F. equiseti*; в,г – *C. farinosa*.

Под действием меди в биомассе микромицетов изменялся уровень маннита. Наиболее выражены изменения при действии меди в стимулирующей концентрации:

количество маннита в экспериментальных вариантах увеличивалось на 86% у *F. equiseti* и на 39% у *C. farinosa* относительно контрольных вариантов (рис. 1а,в). При действии меди в ингибирующей концентрации количество маннита увеличивалось на 25% у *F. equiseti* относительно контрольных вариантов (рис. 1а), тогда как у *C. farinosa* количество маннита оставалось без изменений (рис. 1в). Доля маннита увеличивалась в разной степени во всех образцах, подверженных действию меди, как в стимулирующей, так и в ингибирующей концентрациях (рис. 1б,г).

Уровень арабита в биомассе микромицетов, наоборот, снижался под действием меди. Стимулирующая концентрация меди провоцировала снижение количества арабита на 49% у *C. farinosa* относительно контрольных вариантов (рис. 1в), тогда как количество арабита у *F. equiseti* в этом случае оставалось без изменений (рис. 1а). При действии меди в ингибирующей концентрации количество этого полиола снижалось на 50% у *F. equiseti* и на 40% у *C. farinosa* относительно контрольных вариантов (рис. 1а,в). Доля арабита снижалась в разной степени во всех образцах, подверженных действию меди, как в стимулирующей, так и в ингибирующей концентрациях (рис. 1б,г).

Уровень другого полиола – эритрита, представленного в составе УиП у *C. farinosa*, – также снижался под действием меди. А вот уровень дисахарида трегалозы у обоих микромицетов скорее был независим от концентрации меди.

Заключение. Уровень полиолов – маннита, арабита и эритрита – может рассматриваться как индикатор воздействия ТМ. При этом между уровнем маннита и присутствием ТМ наблюдается прямая зависимость, тогда как между уровнем арабита, эритрита и присутствием ТМ – она обратная. Уровень трегалозы не зависит от концентрации меди.

За предоставление штаммов *F. equiseti* и *C. farinosa* благодарим к.б.н. А.Е. Иванову, в.н.с. кафедры биологии почв Факультета почвоведения МГУ.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 22-24-00799.

Список литературы

1. Януцевич ЕА. Осмолиты и мембранные липиды в ответе микромицетов на стрессорные воздействия. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Москва, 2019. 106 с.

2. Brobst KM. Gas-liquid chromatography of trimethylsilyl derivatives. In: General Carbohydrate Method. Elsevier, 1972. pp 3–8

3. Huang X, Wang L, Laserna AKC, Li SFY (2017) Correlations in the elemental and metabolic profiles of the lichen *Dirinaria picta* after road traffic exposure. *Metallomics* 9:1610–1621. DOI: 10.1039/C7MT00207F

4. Nakajima H, Fujimoto N, Yamamoto Y, et al (2019) Response of secondary metabolites to Cu in the Cu-hyperaccumulator lichen *Stereocaulon japonicum*. *Environ Sci Pollut Res* 26:905–912. DOI: 10.1007/s11356-018-3624-4

5. Osyczka P, Latkowska E, Rola K (2021) Metabolic processes involved with sugar alcohol and secondary metabolite production in the hyperaccumulator lichen *Diploschistes muscorum* reveal its complex adaptation strategy against heavy-metal stress. *Fungal Biol* 125:999–1008. DOI: 10.1016/j.funbio.2021.08.002

6. Patel TK, Williamson JD (2016) Mannitol in plants, fungi, and plant–fungal interactions. *Trends Plant Sci* 21:486–497. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.01.006
7. Ribeiro GD, de Holanda Paranhos L, Eleutherio ECA (2024) Trehalose promotes biological fitness of fungi. *Fungal Biol* 128:2381–2389. DOI: 10.1016/j.funbio.2024.03.004
8. Roser DJ, Melick DR, Seppelt RD (1992) Reductions in the polyhydric alcohol content of lichens as an indicator of environmental pollution. *Antarct Sci* 4:185–188. DOI: 10.1017/S0954102092000282
9. Sharma E, Shruti PS, Singh S, et al (2023) Trehalose and its diverse biological potential. *Curr Protein Pept Sci* 24:503–517. DOI: 10.2174/1389203724666230606154719
10. Solomon PS, Waters ODC, Oliver RP (2007) Decoding the mannitol enigma in filamentous fungi. *Trends Microbiol* 15:257–262. DOI: 10.1016/j.tim.2007.04.002
11. Somogyi M (1945) Determination of blood sugar. *J Biol Chem* 160:69–73. DOI: 10.1016/S0021-9258(18)43098-0
12. Vantová I, Bačkor M, Klejdus B, et. al. (2013) Copper uptake and copper-induced physiological changes in the epiphytic lichen *Evernia prunastri*. *Plant Growth Regul* 69:1–9. DOI: 10.1007/s10725-012-9741-z
13. Inouye M., Phadtare S. Cold-shock response and adaptation to near-freezing temperature in cold-adapted yeasts. *Cold-adapted Yeasts: Biodiversity, Adaptation Strategies and Biotechnological Significance* / Ed. Buzzini P., Margesin R. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. P. 243–257.
14. Turk M, Gostinčar C (2018) Glycerol metabolism genes in *Aureobasidium pullulans* and *Aureobasidium subglaciale*. *Fungal Biol.* V. 122. № 1. P. 63–73.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОГО ШТАММА *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* DAG-1 ИЗ АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Халилова Э.А., Исламмагомедова Э.А., Аливердиева Д.А.
Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала

За последние десятилетия тысячи диких и одомашненных штаммов *Saccharomyces cerevisiae* были охарактеризованы фенотипически и геномно (Bai et al., 2022), что позволило по-новому взглянуть на экологию, адаптацию к окружающей среде, структуру популяции, биогеографию, эволюцию вида. В настоящее время род *Saccharomyces* включает до 2000 видов, среди которых *S. cerevisiae* с полной нуклеотидной последовательностью генома выступает как типовой (<http://www.yeast-genome.org>); используется для проведения исследований геномной инженерии, хронологической продолжительности жизни, фармакогеномики рака; идентификации пути метаболизма лекарств; экологического мониторинга морской среды; биотехнологии хлебопечения и виноделия.

В последние годы исследования дрожжей *S. cerevisiae*, связанные с географическим распространением, популяционной структурой и генетическим разнообразием (Peris et al., 2023), могут привести к выделению новых штаммов с желаемым фенотипом для биотехнологии. Так микроорганизмы, обитающие в морской среде, привлекают внимание ученых и промышленных специалистов из-за их многочисленных и разнообразных биоактивных свойств. Морские дрожжи *S. cerevisiae* имеют широкий ареал распространения, включающий акватории Индийского, Атлантического и Тихого океана; Восточно-Китайского, Южно-Китайского, Бохайского морей и залива Ариак. Культуры данного вида выделялись из проб морской воды, донных отложений, морских животных, беспозвоночных кораллов, губки, водорослей, планктона, мангровых зарослей, песка, древесины. Отмечена приуроченность данного вида к теплым морским регионам. Важно отметить, что до настоящего времени, как было отмечено в работе Н.А. Копытиной (Копытина, 2018), в Каспийском море не обнаружен вид *S. cerevisiae* из отдела *Ascomycota*.

В данной работе представлены результаты исследований физиолого-биохимических свойств и таксономического положения изолированного морского штамма *S. cerevisiae* Dag-1, выделенного из воды Каспийского моря.

Штамм выделен из пробы воды акватории Каспийского моря (прибрежная территория Самурского

заказника, Республика Дагестан) в июле 2022 г. на расстоянии 1 км от берега (41°48'57" N, 48°34'43" E). Соленость воды составляла 12.8–13.0 ‰, температура 21.9–25.5°C. Было рассеяно 3 пробы, выделено 7 культур грибов, где численность вида *S. cerevisiae* была минимальной. Для проведения экспериментальных работ по культивированию, определению чувствительности к антибиотикам и теллуриду калия питательную среду Сабуро готовили из готового набора реагентов промышленного производства в соответствии с инструкцией изготовителя. Фенотипические свойства (размер клеток и колоний; отдельные биохимические показатели; отношение к кислороду; различным субстратам; температура; pH) изучали с использованием стандартных методов (Kurtzman et al., 2011). Чувствительность к противогрибковым препаратам осуществляли диско-диффузионным методом, используя стандартные диски «Системы индикаторные бумажные для идентификации микроорганизмов» (Россия). Способность к продуцированию ферментов определяли, используя экспресс-тесты для исследования ферментативной активности микроорганизмов (MERCK, Германия): β-галактозидазу (КФ 3.2.1.23) – с помощью индикаторных дисков, пропитанных специальным реактивом (орто-нитрофенил-β-D-галактопиранозидом, Conda, Испания); уреазу (КФ 3.5.3.1) – СЛО-тестом; каталазу (КФ 1.11.1.6) – 3 % H₂O₂ в качестве субстрата в среде в течение 24–48 ч; оксидазу (КФ 1.4.3.3) – с помощью реагента Ковача. Работы по идентификации штамма проводили в Центре коллективного пользования «Промышленные биотехнологии» Федерального исследовательского центра «Биотехнологии» Российской академии наук (Москва).

Результаты анализа морской воды показали следующее количественное соотношение микроэлементов, мг/дм³: Zn (0.020) > Ni (0.002) > Cu (0.0018) > Cr (0.0002) > Pb (0.0002) > Cd (0.0001). Содержание катионов (мг/дм³): Na⁺ (10180), Mg²⁺ (2457), Ca²⁺ (1056), K⁺ (171.4) и анионов Cl[–] (10200), SO₄^{2–} (4850), HCO₃[–] (42.7) значительно отличалось от стандартных норм. В целом, морская вода из указанного региона моря являлась загрязненной с отдельными аномальными концентрациями загрязняющих веществ.

Клетки штамма *S. cerevisiae* Dag-1 – округлые, размером 5.0×5.0 и 1.0×1.0 µm, что соответствует морфологическим признакам рода *Saccharomyces*. На средах Сабуро формировал округлые выпуклые непрозрачные колонии сливочного цвета с блеском, диаметром 3-5 мм. Штамм – каталазо-, амилазо- и β-глюкозидазоположительный; уреазо-, оксидазо- и β-галактозидазоотрицательный. Общепринято, что типовые штаммы *S. cerevisiae* не способны усваивать арабинозу, ксилозу, целлобиозу, маннит, сорбит, амилазу и др. (Kurtzman et al., 2011). Однако, морские штаммы *S. cerevisiae* могут демонстрировать нетипичные для вида свойства: ассимиляция арабинозы, целлобиозы, маннита, ксилозы, сорбита, амилазы, сорбитола. Выделенный морской штамм использовал в качестве источника углерода и энергии мономерные сахара (L-глюкозу, D-маннозу, D-сахарозу, D-арабинозу D-целлобиозу, D-ксилозу); утилизировал D-сорбит, D-маннит, D-инозит (витамин B8), (исключение индол); не усваивал лизин, орнитин (Таблица). Известно, что дрожжи, способные ферментировать маннит и инозит; пентозы (арабинозу, целлобиозу, ксилозу и др.) могут иметь особое значение в производстве этанола, где используются морские дрожжи, морские организмы и вода (Zaky et al., 2016).

Антибиотикорезистентность может служить средством борьбы с патогенами окружающей среды. Штамм *S. cerevisiae* Dag-1 отличался высокой чувствительностью к синтетическому антибиотику II поколения – флуконазолу, полиеновому антибиотику природного происхождения – нистатину; клотримазолу из группы имидазола; в меньшей степени – флуконазолу и итраконазолу из группы триазола. Имеются данные о способности отдельных представителей дрожжей *S. cerevisiae* к детоксикации теллурита, что определяло стратегию выживания микроорганизмов в неблагоприятных условиях. Обнаружено отсутствие влияния ингибитора теллурита калия на штамм Dag-1. Продemonстрирована резистентность *S. cerevisiae* Dag-1 к патогенным бактериям *E. coli*, *St. aurens*, *Kl. oxitoka* (анализ диффузии в агаре).

Последовательность фрагмента гена 18S рНК изолированного штамма *S. cerevisiae* Dag-1 депонирована в базе данных NCBI GenBank под номером OQ107063.2. На филогенетическом дереве Dag-1 расположен со штаммами кластера *S. cerevisiae* из базы NCBI GenBank со степенью достоверности 94 %, что позволяло, наряду с результатами морфологических и молекулярных исследований, выделить изолированную культуру в отдельный штамм вида *S. cerevisiae*. Данное различие в последовательности *S. cerevisiae* может быть связано с их эволюцией, направленной на адаптацию к особенностям окружающей среды обитания, таким как загрязнение агрессивными органическими соединениями, тяжелыми

металлами, соленостью морской воды Каспийского моря, что могло привести к генетическим изменениям, модифицирующих фенотип в пределах одного вида. Родственные гомологичные последовательности принадлежали изолятам, выделенным из различных географических районов и субстратов: балийского рисового вина (Китай), спиртовой ферментации (Япония), ЖКТ человека (Украина), мангровых зарослей (устье Porto Novo, Индийский океан, Индия). Отдельные штаммы рекомендованы для традиционных спиртовых напитков (Индия) и замораживания (Китай).

Таким образом, анализируя данные по морским и наземным дрожжам, очевидно, что морские культуры фенотипически отличаются от типичных дрожжей *S. cerevisiae* (Kurtzman et al., 2011). Исследованный штамм Dag-1 уникален по сравнению с другими наземными представителями этого вида: демонстрировал устойчивость к ингибиторам; способен к ферментации каталазы, амилазы, β-глюкозидазы; ассимиляции сахаров D-арабинозы, D-целлобиозы, D-ксилозы; спиртов D-сорбита, D-инозита, D-маннита, обычно присутствующих в лигноцеллюлозных гидролизатах; чувствителен к антибиотикам флуконазолу, нистатину; клотримазолу, флуконазолу и итраконазолу; проявлял антагонистические свойства к патогенным бактериям *E. coli*, *St. aurens*, *Kl. oxitoka*. Все отличительные особенности свидетельствовали о возможности использования Dag-1 в биотехнологии с использованием лигноцеллюлозного сырья. Информация о штамме *S. cerevisiae* Dag-1, выделенного из прибрежной зоны Каспийского моря, позволила расширить представление о распространении вида.

Список литературы

1. Bai F.Y., Han D.Y., Duan S.F., Wang Q.M. 2022. The Ecology and Evolution of the Baker's Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes* 2022. 13:230-251.
2. Peris D., Ubbelohde E.J., Kuang M.C., Kominek J., Langdon Q.K., Adams M., Koshalek J.A. Macroevolutionary diversity of traits and genomes in the model yeast genus *Saccharomyces*. *Nature Communications* 2023. 14(1):690-709.
3. Копытина Н.И. Водные микроскопические грибы Понто-Каспийского бассейна (чек-лист, синонимика). Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН. Воронеж: ООО «Ковчег». 2018. 292 с.
4. Kurtzman C.P., Fell J.W., Boekhout T. The Yeasts, a Taxonomic Study, 5th ed. Elsevier. 2011. 2354 p.
5. Zaky A., Greetham D., Louis E.J., Tucker G., Du C. A New Isolation and Evaluation Method for Marine Derived Yeast spp with Potential Applications in Industrial Biotechnology. *Journal of microbiology and biotechnology* 2016. 26(11):1891-1907.

ЭКЗОМЕТАБОЛИТЫ НОВОГО ИЗОЛЯТА *PHIALOCEPHALA FORTINII* – ЭНДОФИТА КОРНЕЙ БРУСНИКИ

Кобякова О.Б., Стручкова И.В.
ННГУ имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

Аскомицет *Phialocephala fortinii* C. J. K.Wang & H. E. Wilcox, относят к числу наиболее часто выделяемых грибов – корнеобитателей вересковых растений, но получению и исследованию изолятов этого гриба на территории России посвящены лишь единичные работы

(Синчурина, 2011; Mikheev et al., 2022). В то же время, сокультивирование с данным грибом может оказаться полезно при размножении и выращивании ценных ягодных растений названного семейства. Так, изолят *P. fortinii* DSE2, выделенный под руководством одного из

авторов на территории Нижегородской области, улучшал развитие вересковых при их микроклональном размножении (Mikheev et al., 2022). Нам представлялось интересным осуществить поиск *P. fortinii* в корнях того же вида растений (брусники обыкновенной *Vaccinium vitis-idaea* L.), но произрастающих в более северных, по сравнению с Нижегородской областью, местообитаниях.

Целью данной работы являлась проверка предположения о наличии *Phialocephala fortinii* в корнях брусники обыкновенной, произрастающей в Архангельской области, получение изолята этого гриба и выявление у него экзометаболитов, важных для взаимодействия с растением.

Выделение чистых культур грибов из корней дикорастущей брусники проводили согласно Mikheev et al., 2022. Методика включала поверхностную стерилизацию корней, размещение их отмытых от стерилизующего агента фрагментов поверх слоя питательной среды Чапека-Докса и последующее разделение на отдельные изоляты и группировки на основе сходства морфологических и ростовых показателей. Наличие или отсутствие спороношения определяли с помощью светового микроскопа при увеличении 400X. Скорость роста колоний определяли во время линейного роста, ежедневно измеряя диаметр колонии и вычисляя среднюю скорость изменения диаметра колонии в сутки.

Из полученных культур с темноокрашенным септированным мицелием, невысокой скоростью роста и отсутствием спороношения, был отобран материал мицелия для идентификации видовой принадлежности. Идентификация осуществлялась в ЦКП «Биотехнология» ФГБНУ ВНИИСБ с применением метода ПЦР. Для изолята, описываемого в данной работе, подтверждена видовая принадлежность: *P. fortinii*.

Таким образом, наше предположение о наличии *P. fortinii* в корнях брусники, произрастающей в Архангельской области, подтвердилось. Обсуждаемый в данной работе изолят *P. fortinii* имел следующие культурально-морфологические особенности: на среде Чапека-Докса образует колонии округлой формы с ровным краем. Верхняя и нижняя стороны колонии имеют серо-коричневую и темно-бурую окраску соответственно. Окраска питательной среды вокруг колонии не меняется. Мицелий имеет темно – окрашенные септы, гифы – шириной около 5 мкм. Спороношение отсутствует, даже при длительном (несколько месяцев) культивировании. Скорость роста колоний составляет 1,1-1,3 мм/сут.

Наличие среди экзометаболитов изолята *P. fortinii* ферментов, фосфатсолубилизирующих и ростостимулирующих соединений устанавливали на 6 сутки роста культуры с помощью чашечных методов, то есть по изменению цвета или прозрачности питательных сред особого состава вокруг колоний под действием экзометаболитов гриба. Состав сред, визуальные признаки, появляющиеся при наличии экзометаболитов и их наличие/ отсутствие у обсуждаемого изолята *P. fortinii* отражены в табл. 1.

Установлено, что в состав экзометаболитов изолята *P. fortinii*, обнаруженного в Архангельской области, в применявшихся нами условиях культивирования входят целлюлазы, амилазы, фенолоксидазы. В то же время, среди экзометаболитов отсутствуют протеазы (казеиназы) и липазы. Изолят является продуцентом фитогормона индолилуксусной кислоты, что характерно для многих микроорганизмов, стимулирующих рост растений, но не проявляет способности высвобождать фосфат из его неорганических соединений.

Таблица 1. Определение наличия/отсутствия экзометаболитов у изолята *P. fortinii* на основе чашечных методов.

Особенности состава питательной среды	Визуальные признаки наличия экзометаболитов	Наличие (+) или отсутствие (-) признаков высвобождения экзометаболитов
Содержит эфир сорбита и олеиновой кислоты (Tween-80)	При наличии липазы происходит гидролиз Tween-80 с высвобождением олеиновой кислоты. Вокруг колонии образуется непрозрачная зона кальциевых солей этой жирной кислоты (Siera, 1957).	-
Картофельно-декстрозный агар (КДА) с добавлением 0,5 % таниновой кислоты	При выделении фенолоксидаз – реакция Бавендама, среда вокруг колонии окрашивается в коричневый цвет (Билай, 1982).	+
Среда basal mineral salt medium (BSM) содержащая 0,5% Na-KMЦ	Выделяемые целлюлазы гидролизуют Na-KMЦ вокруг колонии. При добавлении конго красного он прочно связывается с Na-KMЦ, но в зоне гидролизованной Na-KMЦ легко смывается (NaCl), образуя зону просветления (Neethu et al., 2012).	+
Казеинсодержащая среда – 3% молочный агар	Образование зоны просветления исходно мутного агара за счет гидролиза протеазами казеина, осаждаемого добавлением 5% ТХУ, (Нетрусов, 2005).	-
Крахмалсодержащая среда	Образование зоны просветления среды при окрашивании агара 1% раствором йода в результате гидролиза крахмала амилазами (Нетрусов, 2005).	+
Среда для выявления фосфат-солубилизаторов, содержащая кристаллы нерастворимых в воде фосфатов и кислотно-основной индикатор	При выделении органических кислот, обеспечивающих фосфатсолубилизацию, pH среды смещается в кислую сторону, в среде вокруг колонии индикатор изменяет цвет. Кристаллы фосфата кальция растворяются, что приводит к просветлению среды (Sundara-Rao, Sinha, 1963).	-
КДА с добавлением триптофана в конечной концентрации 2,5 mM	При наличии индолилуксусной кислоты (ИУК) добавление реактива Сальковского приводит к развитию розовой окраски мембранного фильтра покрывавшего грибную колонию (Hoyos - Carvajal et al., 2009).	+

Таким образом, исследуемый изолят *Phialocephala fortinii* производит набор ферментов, способных воздействовать на важнейшие компоненты клеток растений – целлюлозу, крахмал, фенолсодержащие полимеры, что типично как для сапротрофных, так и для эндофитных видов грибов. Способность изолята этого корнеобитающего гриба к выделению ИУК может быть полезна при получении более разветвленной корневой системы саженцев. В дальнейшем предполагается провести количественный анализ упомянутых экзометаболических и сравнение ферментативного и ростостимулирующего потенциала изолятов, выделенных в Нижегородской и Архангельской области, что, на наш взгляд, позволит эффективно применить *P. fortinii* в растениеводстве.

Список литературы

1. Синчурина Е.В. Разработка биотехнологии препарата регулятора роста сельскохозяйственных растений на основе синтеза биологически активных веществ микромицетом *Phialocephala fortinii*: диссертация ... кандидата технических наук: 05.18.07.- Москва, 2011.- 219 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/590.
2. Mikheev V.S., Struchkova I.V., Ageyeva M.N., Brilkina A.A., Berezina E.V. The role of *Phialocephala fortinii* in improving plants'

phosphorus nutrition: New puzzle pieces. J Fungi (Basel). 2022. V. 8. № 11. P. 1225.

3. Sierra G. A simple method for the detection of lipolytic activity of micro-organisms and some observations on the influence of the contact between cells and fatty substrates. Antonie van Leeuwenhoek Ned. Tijdschr. Hyg. 1957. V. 23. P. 15-22.
4. Билай В.И. Методы экспериментальной микологии. К.: Наукова думка. 1982. 552 с.
5. Neethu K., Rubeena M., Sajith S., Sreedevi S., Priji P., Unni K., Josh M., Jisha V., Pradeep S., Benjami S. A novel strain of *Trichoderma viride* shows complete lignocellulolytic activities. Advances in Bioscience and Biotechnology. 2012. V. 3. P. 1160-1166.
6. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. и др. Практикум по микробиологии: Учеб. Пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / под ред. Нетрусова А.И. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. С. 125–135, С. 236–245.
7. Sundara-Rao W.V.B., Sinha M.K. Phosphate dissolving micro-organisms in the soil and rhizosphere. Indian J Agric Sci. 1963. №33. P. 272–278.
8. Hoyos-Carvajal L., Orduz S., Bissett J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. Biological Control. 2009. V. 51. №3. P. 409–416.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ УРОВНЯ МОНООКСИДА АЗОТА НА ЛИГНОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ *LENTINUS EDODES* И *GRIFOLA FRONDOSA*

Лощина Е.А.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ СНИЦ РАН, Саратов

Благодаря своим мощным ферментным системам ксилотрофные базидиомицеты белой гнили способны разрушать все основные компоненты древесины – лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу [1]. Изучение лигнолитических ферментов грибов и регуляции их метаболизма имеет большое практическое значение в связи с потенциалом их использования в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве и защите окружающей среды.

Монооксид азота (NO) у грибов является важным сигнальным соединением, принимающим участие в процессах роста, развития, размножения, патогенеза, адаптации и регуляции вторичного метаболизма [2]. Вещества, способные регулировать уровень NO в грибной клетке, одновременно влияют на рост мицелия, морфообразование, плодоношение, активность ферментов и биосинтез многих других соединений [3–5]. Кроме того, NO и его доноры в последнее время привлекают пристальное внимание исследователей в связи с обнаруженной широкой возможностью их использования при хранении овощей, фруктов и других сельскохозяйственных культур [6, 7], в том числе плодовых тел съедобных культивируемых грибов [8, 9]. Обработка собранного урожая экзогенным NO или его донорами регулирует химический состав продукции, индуцирует защитные реакции против вызывающих порчу микроорганизмов, усиливает активность противоокислительных ферментов, снижает концентрацию активных форм кислорода и тем самым позволяет продлить сроки хранения и замедлить снижение качества. Потенциал использования регуляторов уровня NO для хранения плодовых тел съедобных грибов и биотехнологического получения из них ценных вторичных метаболитов делает важным изучение влияния этих соединений на рост и метаболизм ксилотрофных базидиомицетов.

Целью данной работы явилось изучение влияния соединений, регулирующих уровень монооксида азота, на активность лакказы, Mn-пероксидазы и лигнин-пероксидазы ксилотрофных базидиомицетов *Lentinus edodes* и *Grifola frondosa*.

В настоящей работе были использованы культуры базидиомицетов *L. edodes* (Berk.) Pegler, штамм F-249 и *G. frondosa* (Dicks.) Gray, штамм 0917. Грибы выращивали в погруженной культуре при 26°C на синтетической среде с 9 г/л глюкозы и 1.5 г/л L-аспарагина. Донор NO нитропруссид натрия (SNP) и ингибитор синтеза NO гидрохлорид метилового эфира нитроаргина (L-NAME) вносили в среду культивирования в стерильных условиях в конечной концентрации 0.5 мМ. Активность лакказы (ЕС 1.10.3.2) в образцах *L. edodes* и *G. frondosa* определяли при 436 нм по скорости окисления 2,2'-азино-бис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоната), Mn-пероксидазы (ЕС 1.11.1.13) – при 468 нм по скорости окисления 2,6-диметоксифенола, лигнин-пероксидазы (ЕС 1.11.1.14) – при 310 нм по скорости окисления вератрилового спирта [10]. За единицу активности принимали количество фермента, катализирующего превращение 1 мкМ субстрата за 1 минуту. Удельную активность выражали в единицах на 1 мг белка. Содержание белка в образцах мицелия и культуральных жидкостей базидиомицетов определяли по методу Бредфорд [11].

Ранее мы изучили влияние SNP и L-NAME на активность ферментов катехолдиоксигеназ у *L. edodes* и *G. frondosa* и показали, что SNP вызывает повышение, а L-NAME – снижение катехолдиоксигеназной активности [12, 13]. Динамика изменения активности лакказы, Mn-пероксидазы и лигнин-пероксидазы у изученных грибов культур оказался сходной с катехолдиоксигеназами. У обоих видов базидиомицетов добавление SNP в среду вызывало увеличение удельной активности лиг-

нинразрушающих ферментов, а под действием L-NAME их активность снижалась или оставалась на уровне контроля.

В культуральной жидкости активность лакказы на среде с SNP возрастала по сравнению с контролем у *L. edodes* на 50-75%, а у *G. frondosa* – на 45-90% в зависимости от возраста культуры (рис. 1). При добавлении в среду культивирования L-NAME лакказная активность базидиомицетов по сравнению с контрольными образцами изменялась незначительно. В мицелии максимальное увеличение активности лакказы наблюдалось у *L. edodes* на 10 сут роста (в 2 раза), а у *G. frondosa* – на 7 сут (на 45%) (рис. 2). На среде с L-NAME удельная активность внутриклеточных лакказ оставалась на уровне контроля в большинстве исследованных образцов. Исключение составили 7-суточная культура *L. edodes* и 10-суточная *G. frondosa*, у которых лакказная активность снизилась на 40% и 20% соответственно по сравнению с контрольными культурами.

Рисунок 1. Активность лакказы в культуральной жидкости *L. edodes* и *G. frondosa*.

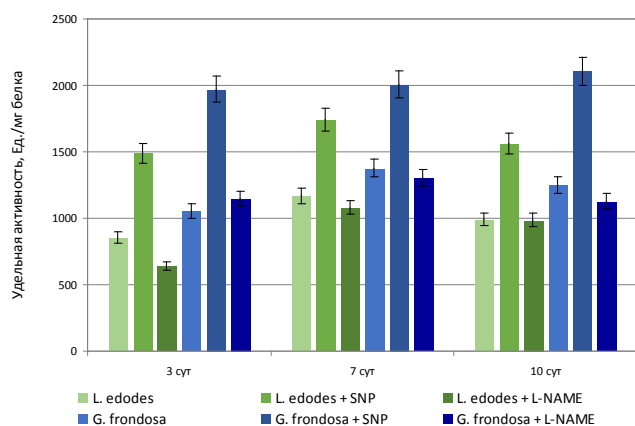
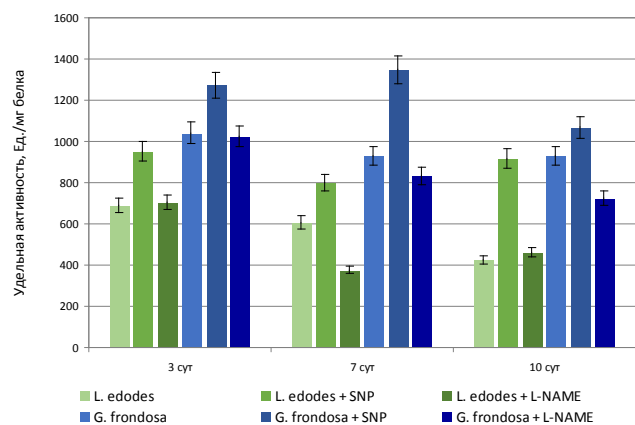


Рисунок 2. Активность лакказы в мицелии *L. edodes* и *G. frondosa*.



Сильно выраженное влияние экзогенное внесение SNP оказало на удельную активность внеклеточных Мп-пероксидаз базидиомицетов (рис. 3). В культуральной жидкости *L. edodes* активность Мп-пероксидазы на среде с SNP увеличивалась в 2-6 раз; максимальным это увеличение оказалось у 3-суточной культуры. У *G. frondosa* активность этого фермента возрастала в 3.7 раз на 3 сут выращивания и на 75-100% при более поздних возрастах культуры. L-NAME либо не оказывал влияния на активность Мп-пероксидаз, либо вызывал незначительное снижение ферментативной активности (до 20%). В мицелии базидиомицетов активность Мп-пероксидазы была заметно ниже по сравнению с культуральными

жидкостями, но под влиянием SNP также наблюдалось увеличение ферментативной активности (рис. 4). Внесение SNP в среду приводило к повышению активности внутриклеточных Мп-пероксидаз на 20-45% у *L. edodes* и на 40-75% у *G. frondosa*. Под воздействием L-NAME Мп-пероксидазная активность в мицелии снижалась незначительно за исключением 3-суточной культуры *L. edodes*, у которой ферментативная активность на среде с ингибитором NO-синтазы снизилась на 45%.

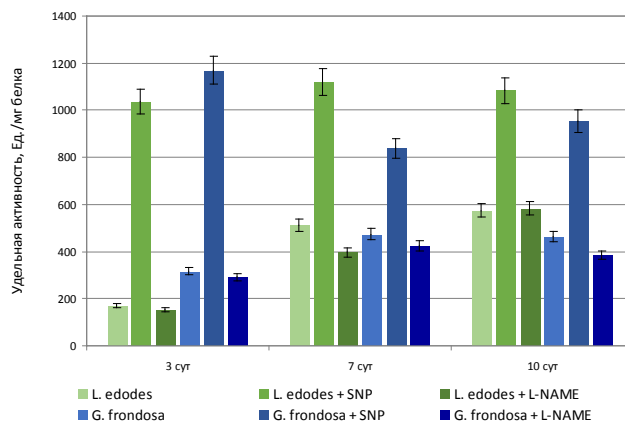


Рисунок 3. Активность Мп-пероксидазы в культуральной жидкости *L. edodes* и *G. frondosa*.

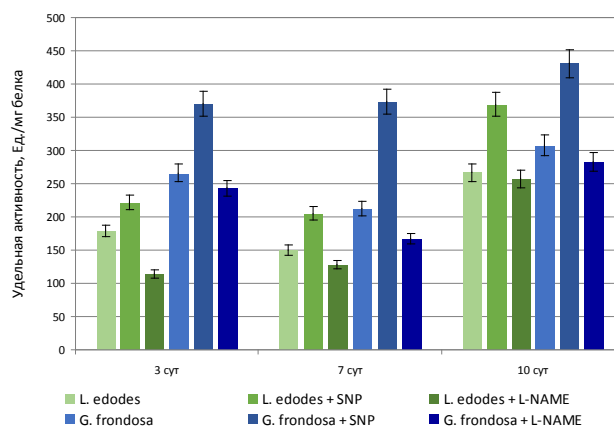


Рисунок 4. Активность Мп-пероксидазы в мицелии *L. edodes* и *G. frondosa*.

Сходное влияние SNP и L-NAME оказали и на лигнин-пероксидазную активность исследованных культур. На среде с 0.5 mM SNP ферментативная активность в культуральной жидкости повышалась на 40%-90% у *L. edodes* и на 30-60% у *G. frondosa* (рис. 5). На среде с L-NAME активность внеклеточных лигнин-пероксидаз грибов оставалась на уровне контроля или незначительно снижалась – до 15% у *L. edodes* и до 10% у *G. frondosa*. В мицелии грибных культур активность лигнин-пероксидаз *L. edodes* и *G. frondosa* под влиянием SNP при всех возрастах повышалась вдвое, а L-NAME вызывал снижение активности внутриклеточных лигнин-пероксидаз на 10-25 % у *L. edodes* и на 20-40% у *G. frondosa*. (рис. 6)

Таким образом, мы изучили влияние соединений-регуляторов уровня NO на активность лакказы, Мп-пероксидазы и лигнин-пероксидазы глубинных культур базидиомицетов *L. edodes* и *G. frondosa*. Активность лигнинразрушающих ферментов возрастала под влиянием донора NO нитропруссид натрия, а под влиянием ингибитора NO-синтазы гидрохлорида метилового эфира нитроаргина снижалась или оставалась на уровне

контроля. Наиболее сильное влияние экзогенный SNP оказал на удельную активность внеклеточных Mn-пероксидаз базидиомицетов. Воздействие SNP и L-NAME на активность грибных ферментов указывает на участие NO в процессах регуляции лигнинразрушающей ферментной системы базидиальных грибов.

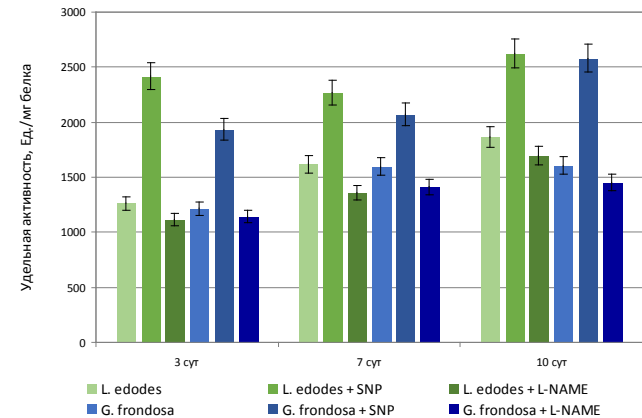


Рисунок 5 / Активность лигнин-пероксидазы в культуральной жидкости *L. edodes* и *G. frondosa*/

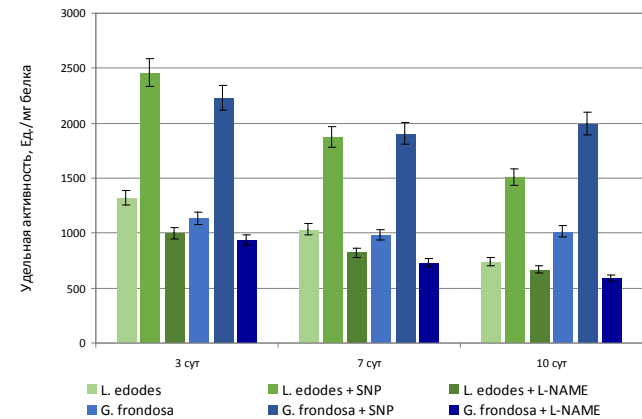


Рисунок 6. Активность лигнин-пероксидазы в мицелии *L. edodes* и *G. frondosa*.

Список литературы

1. Rodríguez-Couto S. Industrial and environmental applications of white-rot fungi. *Mycosphere*. 2017. Vol. 8(3). P. 456-466.

2. Yu N.N., Park G. Nitric oxide in fungi: production and function. *J. Fungi*. 2024. Vol. 10. P. 155.

3. Lai T., Li B., Qin G., Tian S. Oxidative damage involves in the inhibitory effect of nitric oxide on spore germination of *Penicillium expansum*. *Curr. Microbiol.* 2011. Vol. 62. P. 229-234.

4. Kong W.-W., Huang C.-Y., Chen Q., Zou Y.-J., Zhao M.-R., Zhang J.-X. Nitric oxide is involved in the regulation of trehalose accumulation under heat stress in *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis*. *Biotechnol. Lett.* 2012. Vol. 34. P. 1915-1919.

5. Zhao Y., Yuan W., Sun M., Zhang X., Zheng W. Regulatory effects of nitric oxide on reproduction and melanin biosynthesis in onion pathogenic fungus *Stemphylium Eturmiunum*. *Fungal Biol.* 2021. Vol. 125, № 7. P. 519-531.

6. Pols S., Van de Poel B., Hertog M.L.A.T.M., Nicolai B.M. The regulatory role of nitric oxide and its significance for future postharvest applications. *Postharvest Biol. Technol.* 2022. Vol. 188. P. 111869.

7. Liu Y, Chen T, Tao N, Yan T, Wang Q, Li Q. Nitric oxide is essential to keep the postharvest quality of fruits and vegetables. *Hortic.* 2023. Vol. 9. P. 135.

8. Zhang P, Sun H., Fang T, Zhao Y., Duan Y., Lin Q. Effects of nitric oxide treatment on flavour compounds and antioxidant enzyme activities of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during storage. *Food Qual. Saf.* 2020. Vol. 4, N 3. P. 135-142.

9. Gao X., Wu W., Chen H., Niu B., Han Y., Fang X., Chen H., Liu R., Gao H. Nitric oxide treatment delays quality deterioration and enzymatic browning of *Agaricus bisporus* via reactive oxygen metabolism regulation. *Food Front.* 2023. Vol. 4, N 1. P. 447-458.

10. Vetchinkina E., Meshchero A., Gorshkov V. Differential activity of the extracellular phenoloxidases in different strains of the phytopathogenic fungus, *Microdochium nivale*. *J. Fungi*. 2022. Vol. 8. P. 918.

11. Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 72. P. 248-258.

12. Лощинина Е.А. Изменение активности катехол-1,2-диоксигеназ ксилотрофных базидиомицетов под влиянием донора и ингибитора синтеза монооксида азота при стрессовых воздействиях. Современная микология в России. Т. 10. Материалы международного микологического форума. М.: Национальная академия микологии, 2024. С. 30-32.

13. Лощинина Е.А., Купряшина М.А. Влияние регуляторов синтеза монооксида азота на активность катехолдиоксигеназ ксилотрофных базидиомицетов при совместном культивировании с бактериями рода *Azospirillum*. Вавиловские чтения – 2024: Сборник статей межд. науч.-практ. конф., посвященной 137-ой годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2024. С. 59-62.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТАМИ ШУМАНОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИНТЕНСИВНОСТЬ СПОРОНОШЕНИЯ ГРИБА *TRICHODERMA VIRENS*

Мелузов М.Н., Синицына Ю.В., Мшенская Н.С., Шарифова Ф.А.
ННГУ имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

Исследование ответных реакций микроорганизмов на воздействие факторов окружающей среды является одной из актуальных задач в сфере сельского хозяйства и биотехнологий. Одним из наименее изученных факторов являются слабые низкочастотные электромагнитные поля, в частности – поля с частотными характеристиками шумановских резонансов (стоячих электромагнитных волн, распространяющихся в полости между поверхностью Земли и ионосферой). Грибы рода *Trichoderma* представляют значительный интерес для сельского хозяйства и биотехнологии, но влияние слабых электромагнитных полей на жизнедеятельность грибов данного рода практически не изучено. В связи с этим целью исследования было изучение влияния слабого электромагнитного поля с частотами первых 3-х гармоник шумановских резонансов (7,83 Гц, 14,3 Гц,

20,8 Гц) и магнитной индукцией 18 мкТл на ростовые характеристики и интенсивность спороношения гриба *Trichoderma virens*.

Посадка микромицета осуществлялась на чашки Петри с агаризованной полной питательной средой Чапека–Докса методом укола. Экспериментальные группы «7,83 Гц», «14,3 Гц» и «20,8 Гц» помещали в область однородного переменного магнитного поля, создаваемого с помощью колец Гельмгольца с подключенным генератором сигналов. Контрольная группа не подвергалась воздействию искусственного магнитного поля. Определяли радиальную скорость роста и площадь колоний в первые трое суток культивирования, а также степень извитости гиф путем анализа фотоизображения краевых зон колоний с помощью программы ImageJ. Интен-

сивность спороношения оценивали на 10-е сутки культивирования с помощью камеры Горяева.

Переменное магнитное поле не вызывало изменений ростовых характеристик микромицетов – радиальная скорость роста и площадь колоний всех опытных групп не отличалась от контрольных показателей. В то же время были обнаружены изменения морфологии гиф краевых зон колоний – у двухсуточных колоний доля извитых гиф снижалась на 28,5% и 38% при воздействии магнитного поля с частотами 14,3 Гц и 20,8 Гц соответственно. Наиболее значимо переменное

магнитное поле повлияло на интенсивность спороношения. Так, количество спор возрастало на 29% и 23,5% при действии магнитных полей с частотами 7,8 Гц и 14,3 Гц соответственно.

Таким образом, полученные результаты могут свидетельствовать о незначительном влиянии слабого магнитного поля с частотами шумановских резонансов на ростовые характеристики грибов рода *Trichoderma* в первые несколько суток культивирования, но о значительной интенсификации процесса их спороношения.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗООБМЕНА КСИЛОТРОФНЫХ ГРИБОВ СУБАРКТИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ

Мухин В.А., Диярова Д.К., Жуйкова Е.В.
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Для понимания углеродного цикла лесов, являющихся древесно-грибными биоценозами (Заварзин, 2006), необходимо приоритетное изучение ксилотрофных грибов, в частности, их климатически зависимых эколого-физиологических характеристик, влияющих на уровень CO₂ эмиссионной активности. Это необходимо для того, чтобы оценить возможное влияние изменения климата на углеродный баланс лесных экосистем и способность ксилотрофных грибов адаптироваться к изменениям климата. Последнее, в частности, актуально по отношению к субарктическим сообществам ксилотрофных грибов, находящихся на северном пределе своего распространения и, в силу этого, особо чувствительных к изменениям климата. В Субарктике они представлены широко распространенными видами (Мухин, 1993), но их популяции могут быть адаптированы к температурным условиям высоких широт. Однако этот аспект экологии ксилотрофных грибов, связанный с их приспособлением к Субарктике, еще не был предметом специальных эколого-физиологических исследований.

В настоящей работе представлены данные, характеризующие температурные параметры CO₂ и O₂ газообмена ксилотрофных грибов субарктических популяций. Температурную зависимость физиологической активности грибов оценивали по интенсивности CO₂ и O₂ газообмена образцов разрушаемой ими древесины с помощью «CO₂/O₂ газоанализатора» (Микросенсорная техника, Москва) с точностью ± 0.2 об. %. Данная методика газометрического анализа подробно описана в ранее опубликованных наших работах (Mukhin, Diyarova, 2022; Диярова и др., 2023). В качестве объектов исследования взяты ксилотрофные грибы, популяции которых представлены как на полярной (Приобская лесотундра), так и на южной (Притобольская лесостепь) границе леса: *Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schröt., *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Fomitopsis betulina* (Bull.) B.K. Cui, M.L. Han & Y.C. Dai, *Trichaptum fuscoviolaceum* (Ehrenb.) Ryvardeen. Образцы древесины с базидиокарпами этих грибов были собраны в июне в Притобольской лесостепи (Курганская область) и в августе в Приобской лесотундре (Ямало-Ненецкий автономный округ) 2024 года. Особенности климата районов исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Климатические характеристики Приобской лесотундры и Притобольской лесостепи.

Климатические характеристики	Притобольская лесостепь	Приобская лесотундра
Среднегодовая температура, °C	+2.1	-6.3
Среднегодовое количество осадков, мм	445	430
Период с положительными температурами	апрель-октябрь	июнь-сентябрь
Период с температурами 10 °C и выше	май-сентябрь	июль-август
Средняя температура января, °C	-16.7	-23.8
Средняя температура июля, °C	+19.3	+14.0

Результаты анализа температурной зависимости CO₂ газообмена образцов древесины из лесотундры, разрушаемых *D. confragosa*, *F. fomentarius*, *F. betulina*, *T. fuscoviolaceum* представлены на рисунке. Они показывают, что у образцов из лесотундры газообмен регистрируется при температурах от +5 до +45 °C, а из лесостепи от +5 до +50 °C. Более того, у лесостепных образцов после их часовой экспозиции при +50 °C газообмен частично восстанавливается, тогда как у образцов из лесотундры этого не наблюдается. Скорее всего, это указывает на то, что для грибов из лесотундры данная температура летальная, а из лесостепи – сублетальная.

Различия по температурной зависимости газообмена регистрируются и по такому важному показателю как температурный оптимум. Так, максимальный уровень газообмена у образцов из лесотундры, разрушаемых *F. fomentarius*, регистрируется при 35 °C, а у образцов из лесостепи при 30 °C. У лесотундровых образцов, разрушаемых *F. betulina* температурный максимум газообмена обнаружен при 25 °C, а лесостепных при 30 °C. У образцов из лесостепи, разрушаемых *D. confragosa* и *T. fuscoviolaceum* температурные максимумы CO₂ газообмена широкие (30-40 °C у первого и 25-40 °C у второго), а у образцов из лесотундры, температурный максимум четко выражен при 35 °C, что на 5 °C ниже (рисунок).

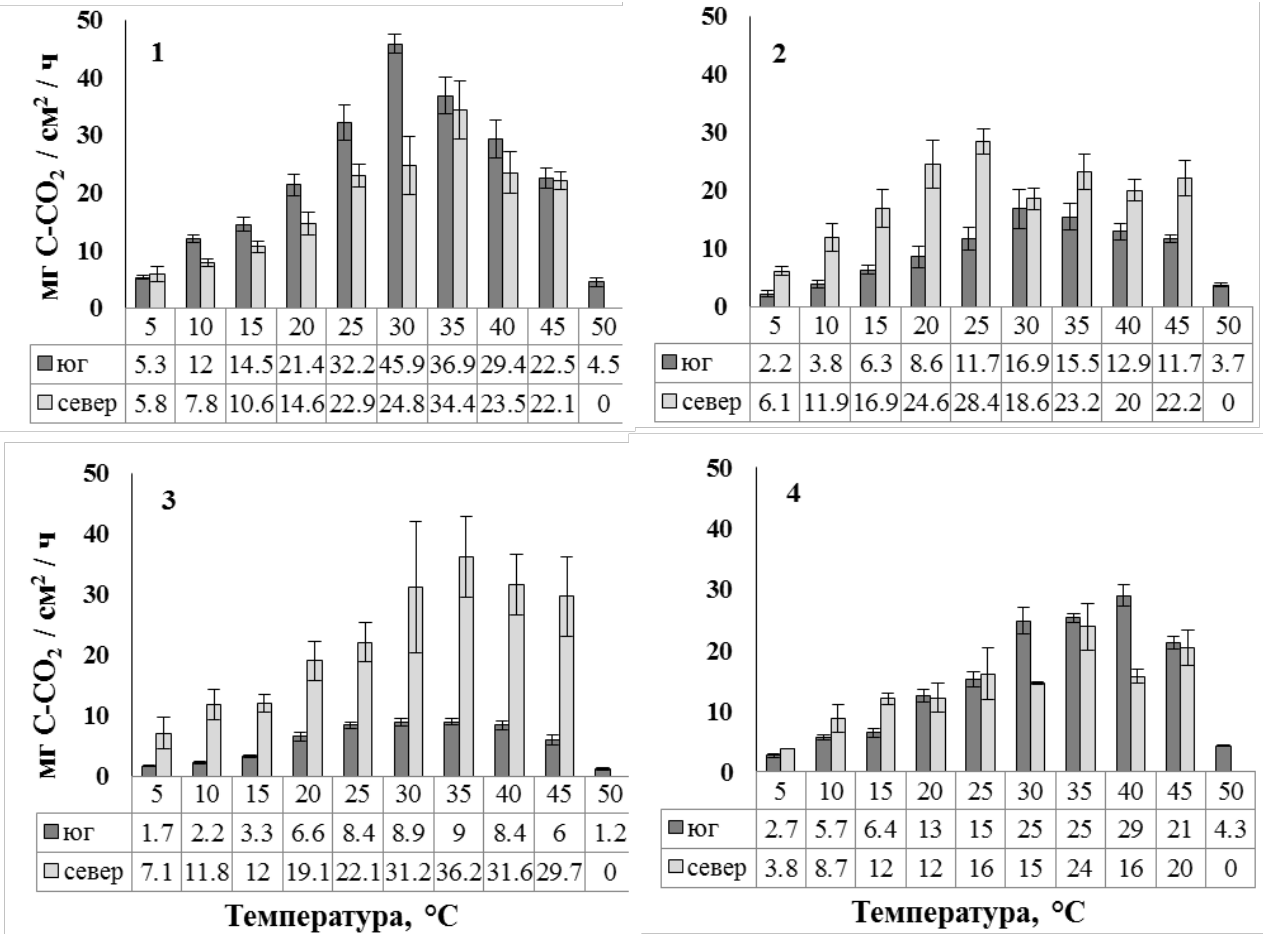


Рисунок 1. Температурная динамика CO₂ газообмена образцов древесины из Притобольской лесостепи (темные колонки) и Приобской лесотундры (светлые колонки), разрушаемых *Fomes fomentarius* (1), *Fomitopsis betulina* (2), *Trichaptum fuscoviolaceum* (3), *Daedaleopsis confragosa* (4).

Образцы древесины из лесотундры, разрушаемые *F. betulina* и *T. fuscoviolaceum*, демонстрируют значимо ($p < 0.05$) более высокую CO₂ эмиссионную активность. Так, в диапазоне 5-45 °C, газообмен лесотундровых образцов, разрушаемых *F. betulina*, в среднем в 1.7 раза выше (16.9 мг C-CO₂ / см² / ч), чем лесостепных (9.5 мг C-CO₂ / см² / ч), а в случае *T. fuscoviolaceum*, эти различия еще больше: 19.3 мг C-CO₂ / см² / ч против 5.9 мг C-CO₂ / см² / ч. Газообмен лесостепных образцов, разрушаемых *F. fomentarius*, в диапазоне 5-35 °C, наоборот, значимо ($p < 0.05$) более активный, чем газообмен лесотундровых образцов: 23.5 и 17.4 мг C-CO₂ / см² / ч соответственно. Интенсивность газообмена образцов из лесотундры и лесостепи, разрушаемых *D. confragosa*, в диапазоне 5-45 °C находится на одном уровне: 15.1 и 15.8 мг C-CO₂ / см² / ч соответственно. Аналогичные различия по интенсивности CO₂ газообмена лесотундровых и лесостепных образцов регистрируются и при температуре 5-10 °C. Газообмен лесотундровых и лесостепных образцов, разрушаемых *D. confragosa* при этой температуре, примерно одного уровня (в среднем 6.3 и 4.2 мг C-CO₂ / см² / ч соответственно), то же самое в случае газообмена образцов, разрушаемых *F. fomentarius* (в среднем 6.8 и 7.7 мг C-CO₂ / см² / ч соответственно). В то же время, интенсивность газообмена лесотундровых образцов, разрушаемых *F. betulina*, в 3 раза, а разрушаемых *T. fuscoviolaceum*, в 5 раз выше, чем лесостепных (рисунок). Скорее всего, это говорит об адаптированности субарктических популяций *F. betulina* и *T. fuscoviolaceum* к температурным условиям высоких широт и на отсутствие таковых у *D. confragosa* и *F. fomentarius*.

Как показывают данные, температурная чувствительность CO₂ газообмена (показателем ее является температурный коэффициент – Q₁₀) лесотундровых и лесостепных образцов не обнаруживает связи с наблюдаемыми между ними различиями по его интенсивности. Например, при повышении температуры с 10 до 20 °C газообмен образцов, разрушаемых *F. fomentarius*, как из лесотундры, так и из лесостепи усиливается в равной степени: в 1.8-1.9 раза. Одинаково реагирует на такое повышение температуры и газообмен лесотундровых и лесостепных образцов, разрушаемых *F. betulina*: Q₁₀ = 2.2-2.3. В то же время CO₂ газообмен лесостепных и лесотундровых образцов, разрушаемых *T. fuscoviolaceum*, по-разному реагирует на повышение температуры с 10 до 20 °C: у первых усиливается в 3 раза, а у вторых – в 1.7 раз. Аналогично реагирует на удвоение температуры и газообмен образцов, разрушаемых *D. confragosa*, – у образцов из лесотундры он возрастает 1.3 раза, а из лесостепи – в 2 раза. В среднем, Q₁₀ для CO₂ газообмена древесины, разрушаемой грибами в лесотундре, 1.8, в лесостепи 2.3.

Соотношение объемов эмитируемого диоксида углерода и потребляемого кислорода (дыхательный коэффициент – RQ) при разложении древесины грибами из лесотундры колеблется в диапазоне 5-45 °C от 0.9 (*F. fomentarius*) до 1.0 (*F. betulina*) – 1.1 (*D. confragosa*, *T. fuscoviolaceum*). Такой же уровень RQ регистрируется и в газообмене образцов из лесостепи: 0.9 (*T. fuscoviolaceum*) – 1.0 (*F. fomentarius*, *F. betulina*, *D. confragosa*). У образцов из лесотундры связь между RQ и температурой отсутствует: *F. fomentarius* R = -0.26, $p = 0.46$; *F. betulina* R = 0.46,

$p = 0.17$; $D. confragosa$ $R = -0.05$ $p = 0.88$; $T. fuscoviolaceum$ $R = 0.35$, $p = 0.31$. У лесостепных образцов, разрушаемых *F. betulina* и *T. fuscoviolaceum*, такая связь регистрируется и она отрицательная: $R = -0.81$ ($p = 0.003$) и -0.94 ($p = 0.01$) соответственно. В случае *D. confragosa* и *F. fomentarius* такой связи нет: $R = -0.19$ ($p = 0.61$) и -0.64 ($p = 0.05$) соответственно.

Таблица 2. Соотношение объемов эмиссии CO₂ и потребления O₂ (RQ) в газообмене разрушаемой ксилотрофными грибами древесины из Приобской лесотундры и Притобольской лесостепи в зависимости от температуры.

Гриб- деструктор	Температура, °C								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
<i>F. fomentarius</i>	1.2	1.1	0.9	1.0	0.7	1.0	0.9	0.9	0.8
	1.1	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	0.8	0.8	0.8
<i>F. betulina</i>	0.9	1.2	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	1.0	1.7
	2.0	1.5	1.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6
<i>D. confragosa</i>	1.9	1.6	1.0	0.8	1.1	0.9	0.7	0.5	1.7
	0.7	0.9	1.6	1.0	0.9	1.0	0.8	0.8	0.8
<i>T. fuscoviolaceum</i>	1.1	1.3	1.0	1.0	0.6	1.1	1.1	1.0	1.7
	1.3	1.0	2.7	0.9	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4

Заключение. CO₂ газообмен древесины, разрушаемой одноименными видами ксилотрофных грибов в лесотундре и в лесостепи, имеет ряд существенных различий. Грибы субарктических популяций физиологически активны в более узком диапазоне температур (5-45 °C), чем лесостепных популяций (5-50 °C) и если для первых 50 °C это летальная температура, то для вторых – сублетальная. У грибов субарктических популяций *F. betulina*, *D. confragosa*, *T. fuscoviolaceum* температурный максимум газообмена ниже на 5 °C, чем у этих же грибов из лесостепных популяций. В диапазоне 5-45 °C интенсивность CO₂ газообмена *F. betulina* и *T. fuscoviolaceum* из субар-

ктических популяций в 2-3 раза превышает таковую из лесостепных популяций, а при низких температурах (5-10 °C) эти различия возрастают до 3-5 раз. Это позволяет предполагать, что субарктические популяции этих видов адаптированы к температурным условиям данных широт. К этой же группе следует отнести и *D. confragosa*, у представителей субарктических и лесостепных популяций которого нет различий по уровню CO₂ газообмена. Отсутствие приспособленности к Субарктике можно предполагать лишь по отношению к *F. fomentarius*, грибы лесотундровых популяций которого, имеют менее активный, чем у лесостепных грибов газообмен. По таким параметрам углеродно-кислородного газообмена, как температурный и дыхательный коэффициент ксилотрофные грибы субарктических и лесостепных популяций не обнаруживают однозначных различий.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 24-24-0404).

Список литературы

1. Заварзин Г.А. Углеродный баланс России. Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола: материалы Совета-семинара при президенте РАН. под ред. Ю.А. Израэля. М., 2006. С. 134-151.

2. Мухин В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург, УИФ “Наука”, 1993. 231 с.

3. Mukhin V.A., Diyarova D.K. Eco-Physiological Adaptations of the Xylotrophic Basidiomycetes Fungi to CO2 and O2 Mode in the Woody Habitat. J. Fungi. 2022. 8. 1296.

4. Диярова Д.К., Владыкина В.Д., Мухин В.А. Температурный эффект на эмиссию CO2 ксилотрофными грибами и древесным дебрисом. Экология. 2023. № 3. С. 204-211.

СТАБИЛЬНОСТЬ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ASPERGILLUS FUMIGATUS В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Насибов Э.М.
ВНИИ лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), Москва

Микробные сообщества во многом определяют условия существования жизни на Земле, катализируя биогеохимические реакции и управляя глобальными циклами питательных веществ [1]. Создание и пополнение коллекций культур необходимо для сохранения микробного биоразнообразия и развития наук о жизни [2]. Кроме того, использование микроорганизмов в качестве биотехнологических агентов также требует их консервации для долгосрочного сохранения жизнеспособности и продуктивности. Методы консервации зависят от вида микроорганизма, имеющихся материалов и оборудования [3]. При этом необходимо выполнение следующих условий: поддержание жизнеспособности и стабильности морфологических и культуральных особенностей, обеспечение генетической устойчивости, чистоты культуры, экономической эффективности процесса [4]. В связи с этим разработка и изучение разнообразных методов консервации микроорганизмов является актуальным направлением современных научных исследований. Своеобразие коллекции микромиицетов ФГБНУ ВИЛАР состоит в наличии штаммов способных гидролизовать различные БАВ, явля-

ясь потенциальными продуцентами гидролаз, в том числе коллагеназ, кератиназ, целлюлаз и т.д. [5-7]. При этом наибольший интерес для изучения представляет микромиицет *Aspergillus fumigatus* F 22, для которого показана высокая коллагенолитическая активность, по сравнению с другими коллекционными штаммами [8], оптимизированы условия глубинного культивирования [9], разработаны методы выделения и очистки фермента, охарактеризованы его основные свойства [5].

Цель работы – изучение жизнеспособности и ферментативной активности коллекционного штамма *Aspergillus fumigatus* F 22 в процессе криоконсервации и лиофилизации. Исследования проводились на базе биобъектов Уникальной научной установки “Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР», (№ темы FGUU-2025-0001).

В качестве объекта исследования использовали микромиицет *Aspergillus fumigatus* F 22 – продуцент коллагенолитической протеазы [5]. При проведении криоконсервации к смывам спор 7-ми суточной культуры *A. fumigatus*, выращенной на скошенных поверхностях агаризованных сред Чапека-Докса, добавляли стерильный глицерин до концентрации 20% [10]. Полученные

суспензии по 1 мл разливали в стерильные пробирки для криохранения. Затем проводили поэтапное замораживание материала: в течение 24 ч при -4, -20 и -60°C. Полученные пробы помещали в жидкий азот и хранили в криохранилище «Хронос» («Messer», Германия). На различных этапах хранения пробы быстро размораживали в горячей воде для снижения шокового эффекта, определяя в них количество жизнеспособных клеток и коллагенолитическую активность.

Для лиофильного высушивания спор микромицета предварительно стерилизовали 20% обезжиренное молоко при 116°C в течение 20 мин [11]. Охлаждали раствор до комнатной температуры и добавляли по 5 мл к скошенной поверхности агаризованной среды Чапека-Докса с 7-ми суточной культурой гриба. Полученную суспензию спор разливали по 1 мл в предварительно простерилизованные пенициллиновые флаконы с ватно-марлевыми пробками. Флаконы замораживали при температуре -25°C в течение ночи, помещали на лиофильную сушку («Edwards», Великобритания), периодически взвешивая до достижения постоянного веса. Затем флаконы парафинировали и хранили при -25°C. На различных этапах хранения пробы вскрывали в стерильных условиях и добавляли к каждому образцу по 1 мл жидкой среды Чапека-Докса. Полученную суспензию использовали для определения количества жизнеспособных клеток и коллагенолитической активности.

Для определения жизнеспособности микромицета после хранения использовали метод посева на питательные среды (чашечный метод) [12]: посев 0,1 мл суспензии исследуемых микроорганизмов из серии их десятикратных разведений на агаризованную среду Чапека-Докса с последующей инкубацией и подсчетом образовавшихся колоний. Полученные данные выражали в КОЕ/мл.

При проведении глубинного культивирования посевным материалом служила суспензия спор дейтеромицетов (10⁸ **жизнеспособных** спор на 100 мл среды). Культивирование осуществляли в колбах объемом 500 мл с 100 мл питательной среды на качалке при скорости вращения 220 об/мин при 26°C с использованием жидкой модифицированной среды Чапека с частичной заменой сахарозы на коллаген (0,5% сахарозы и 1,5% коллагена). Через каждые сутки отбирали пробы, которые фильтровали через мембранный фильтр Minisart NLM (Sartorius) с диаметром пор 0,2 мкм. Для определения коллагенолитической активности (КЛА) к 1 мл фильтрата приливали 1 мл 1% суспензии коллагена (коллаген тип I, «Sigma-Aldrich», США) в 0,01M фосфатном буфере pH 7,4, содержащем 0,2 мкМ CaCl₂. Длительность проведения гидролиза составляла 2 часа при температуре 37°C. Контролем служила смесь 1 мл буфера указанного состава и 1 мл 1% суспензии коллагена (контроль субстрата), а также смесь 1 мл фильтрата культуральной жидкости с 1 мл буфера (контроль фермента). После инкубации реакцию останавливали кипячением в течение 20 мин. Осадок отделяли центрифугированием на центрифуге К 24 при 4°C при 6000 об/мин. КЛА в надосадочной жидкости определяли по накоплению α-аминогрупп нингидриновым методом и выражали в мкМ свободных аминокислот, образующихся в течение 1 минуты 1 мл культуральной жидкости (Е/мл).

Статистическую обработку результатов проводили на персональном компьютере с помощью пакета программ Microsoft Office Excel 2010. Каждое испытание выполняли 3-5 раз. Результаты представляли в виде X±σ, где X – среднее значение; σ – стандартное отклонение

выборочного среднего. Достоверность различия между выборками определяли по критерию Стьюдента. Различия между выборками считали значимыми при p≤0,05.

Обнаружено (табл. 1), что процесс криоконсервации при температуре жидкого азота и лиофилизация приводят к снижению количества жизнеспособных клеток на 40 и 25% соответственно. Однако дальнейшее хранение образцов не вызывало статистически значимого изменения КОЕ/мл по крайней мере в течение года (время наблюдения).

Таблица 1. Жизнеспособность *A. fumigatus* в процессе хранения при температуре жидкого азота и после лиофилизации.

Способ хранения	До хранения		1 месяц хранения		6 месяцев хранения		1 год хранения	
	КОЕ/мл	%	КОЕ/мл	%	КОЕ/мл	%	КОЕ/мл	%
Криоконсервация	2,5x107± 2,4x106	100	1,5x107± 1,6x106	60	1,4x107± 1,3x106	56	1,5x107± 1,4x106	60
Ллиофилизация	4,0x105± 3,8x104	100	3,0x105± 3,1x104	75	3,2x105± 3,0x104	80	3,3x105± 3,1x104	83

Для изучения влияния способа консервации микромицета на ферментативную активность проводилось его глубинное культивирование до и после 1 года хранения с последующим определением коллагенолитической активности в фильтратах культуральной жидкости. Показано, что *A. fumigatus* после криоконсервации и лиофилизации секретирует коллагенолитические протеазы. Не обнаружено статистически значимых различий в величине максимальной КЛА до и после хранения (табл. 2). Следует отметить, что при засеве использовалось равное количество жизнеспособных спор. Однако на 4-6 сутки культивирования наблюдалась статистически значимое снижение активности секретируемых протеаз в фильтратах культурой жидкости после хранения, более выраженное после криоконсервации. В связи с этим изменялось и время достижения максимальных значений КЛА с 6 на 7 сутки.

Таблица 2. Максимальные значения КЛА протеаз, секретируемых *A. fumigatus* до и после различных вариантов хранения в течение года.

Образец	КЛА, Е/мл	Время, сутки
До хранения	122,8±10,5	6
После лиофилизации	119,3±9,4	7
После криоконсервации	123,3±11,0	7

Таким образом, на примере мицелиального гриба *A. fumigatus*, секретирующего коллагенолитическую протеазу, разработано два альтернативных метода консервации, позволяющие сохранять жизнеспособность и ферментативную активность микромицета. Полученные результаты делают перспективным в дальнейшем

использование апробированных подходов для других продуцентов с целью увеличения эффективности разрабатываемых технологий получения БАВ и их практического применения.

Список литературы

1. Pereira W.E.S., da Silva R.R., de Amo G.S. et al. A Collagenolytic Aspartic Protease from *Thermomucor indicaseudaticae* Expressed in *Escherichia coli* and *Pichia pastoris*. *Appl Biochem Biotechnol.* 2020. 191(3). 1258–1270.
2. Luciana D.V., Boniotti M.B., Budroni M., Buzzini P. Preservation, Characterization and Exploitation of Microbial Biodiversity: The Perspective of the Italian Network of Culture Collections. *Microorganisms.* 2019. 7(12). 685–704.
3. Prasad S, Roy I. A Sensitive, Rapid, and Specific Technique for the Detection of Collagenase Using Zymography.. *Methods Mol Biol.* 2017. 1626(1). 115–121.
4. Sirbu T. Long term storage of micromycetes strains. *Studii și comunicări.* 2017. 26(1). 7–12.
5. Насибов Э.М., Никитина З.К. Получение и свойства коллагенолитической протеиназы *Aspergillus fumigatus*.. *Химико-фармацевтический журнал.* 2023. 57(7). 38–42.
6. Никитина З.К., Гордонова И.К. Некоторые свойства кератинолитического фермента, секретируемого *Cladosporium*

sphaerospermum. *Вопросы биол., мед. и фарм. химии.* 2011. № 5. 36–40.

7. Никитина З.К., Гордонова И.К. Оценка целлюлазной активности микромицетов.. *Вопросы биол., мед. и фарм. химии.* 2018. № 6. 20–26.

8. Никитина З.К., Гордонова И.К., Насибов Э.М. Изучение протеолитической и коллагенолитической активности мицелиальных грибов в процессе глубинного культивирования.. *Вопросы биол., мед. и фарм. химии.* 2022. 25(9). 53–59. doi.org/10.29296/25877313-2022-09-08.

9. Никитина З.К., Насибов Э.М., Гордонова И.К., Савин П.С. Влияние условий культивирования *Aspergillus fumigatus* на секрецию коллагенолитических протеаз. *Технологии живых систем* -2023, 20(2). 5–17.

10. Kushkevych I., Kovárová A., Dordevic D., Jonah Gaine Distribution of Sulfate-Reducing Bacteria in the Environment: Cryopreservation Techniques and Their Potential Storage Application. *Processes.* 2021. 9(10). 1843–1864.

11. Prakash O., Nimonkar Y., Yogesh S. Shouche Practice and prospects of microbial preservation. *FEMS Microbiol Lett.* 2013. 339(1). 1–9.

12. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII Федеральная электронная медицинская библиотека (2015). Дата обращения: 9 февраля 2016, Т. 1, Определение концентрации микробных клеток ОФС.1.7.2.0008.15

ОБРАЗОВАНИЕ ЭТИЛЕНА ДРОЖЖЕВЫМИ ГРИБАМИ РАЗНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП

Петренко М.В.¹, Поздняков Л.А.¹, Качалкин А.В.^{1,2}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

² ИБФМ им. Г.К. Скрыбина РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пуццино

Этилен выступает в роли фитогормона, который влияет на развитие и рост растения. В настоящее время известно, что выделять этилен в ходе своего метаболизма могут микроорганизмы разных групп, в том числе и дрожжевые грибы (Kazuhiro Nagahama et al., 1991). Имеются некоторые сведения, указывающие, что почвенные дрожжи являются более активными продуцентами этилена, чем мицелиальные грибы и бактерии (Lynch, 1972). Известно, что эпифитные и эндофитные дрожжи формируют тесные ассоциации с растениями, однако механизмы взаимодействия дрожжей и растений в настоящее время изучены недостаточно (Streletskiy et al., 2017). Изучение распространенности и интенсивности выделения этилена дрожжевыми грибами из разных таксономических и экологических групп является актуальным научным направлением с точки зрения экологии и физиологии микроорганизмов, а также имеет практическое значение для биологизации сельского хозяйства. Этилен имеет большое значение в процессе созревания плодов, что активно используется на плантациях и в сельскохозяйственной деятельности. А именно, с помощью контроля его содержания в растениях, можно ускорить созревания плодов, а также увеличить срок их хранения. Этилен также регулирует прорастание, рост и опад листьев и рост корней; процессы цветения, отпадение цветков и опад листьев также зависят от этилена (Басырова и др., 2019).

Дрожжи известны своей способностью синтезировать витамины и ферменты. Однако они также способны на синтез большого ряда фитогормонов. На сегодняшний день были проведены исследования по скринингу дрожжей на синтез ауксина, гиббереллиновой кислоты и зеатина (Streletskiy et al., 2017; Streletskii et al., 2019). Однако исследований, посвященных поиску этилен-синтезирующих штаммов дрожжей, в настоящее время крайне мало – есть данные только о

5-ти видах дрожжей: *Debaryomyces hansenii*, *Naganishia albidia*, *Papiliotrema flavescens*, *Saccharomyces cerevisiae* и *Schizosaccharomyces octosporus*.

В проведенном исследовании были использованы 60 штаммов дрожжей из коллекции кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ. Штаммы были выделены в разных регионах России и в других странах из растительных и почвенных субстратов. В работе были использованы дрожжи разных отделов и подотделов грибов из родов: *Aureobasidium*, *Apiotrichum*, *Barnettozyma*, *Candida*, *Cyberlindnera*, *Cystofilobasidium*, *Debaryomyces*, *Filobasidium*, *Goffeauzyma*, *Hanseniaspora*, *Metschnikowia*, *Meyerozyma*, *Moesziomyces*, *Naganishia*, *Ogataea*, *Papiliotrema*, *Rhodotorula*, *Saccharomyces*, *Saitozyma*, *Solicoccozyma*, *Sporisorium*, *Taphrina*, *Tausonia*, *Tremella*, *Ustilago*, *Vishniacozyma*, *Yarrowia*. Для исследования влияния прекурсора на выделение культурами этилена было использовано две жидкие питательные среды: с прекурсором (DL-метионин) и без него. Для постановки опыта были использованы пенициллиновые флаконы объемом 15 мл с 3 мл питательной среды (глюкоза – 10 г/л, YNB – 6.7 г/л). Измерение состава газовой фазы (содержание CO₂ и C₂H₄) во флаконе с инкубированными культурами проводили с помощью газового хроматографа на 1, 3 и 5 сутки. Определение выросшей биомассы дрожжей было проведено по оптической плотности суспензии с помощью денситометра DEN-1 (Biosan).

Полученные результаты показали, что синтез этилена – широко распространенное явление среди дрожжей. Добавка в среду метионина в качестве прекурсора для большинства исследованных штаммов дрожжей увеличивает продукцию этилена, в среднем, более чем на порядок, а иногда на два порядка. Также обнаружено, что у представителей родов *Papiliotrema*, *Meyerozyma* и *Taphrina* наблюдаются незначительные различия в про-

дукции этилена в среде без и с метионином за 5 дней, что, возможно, указывает на наличии не метионин-зависимого пути синтеза этилена. На среде без метионина наибольший синтез этилена был свойственен родам *Papiliotrema*, *Filobasidium* и *Yarrowia*. На 5-й день эксперимента на среде без метионина максимальная концентрация 12.619 ppm этилена в газовой фазе была отмечена для штаммов *Filobasidium magnum* и *Papiliotrema flavescens*. В среде с добавлением метионина наибольший синтез этилена был у родов *Yarrowia*, *Saccharomyces*, *Naganishia* и *Tausonia*. Более активными продуцентами этилена на среде без метионина являются базидиомицетовые дрожжи. При добавлении в среду метионина почвенные базидиомицеты проявили большую активность синтеза этилена, чем фитобионты, а продукция этилена фитобионтами-аскомицетами в среднем выше, чем у фитобионтов-базидиомицетов.

Таким образом, в данном исследовании впервые было изучено большое количество штаммов дрожжей на способность синтезировать этилен. Из полученных результатов следует, что функциональная роль дрожжей изучена недостаточно. Данная работа может послужить вкладом в дальнейшее исследование функциональной роли дрожжей в природных биосистемах и их возможной роли дрожжей в сфере сельского хозяйства. Этилен является необходимым компонентом при созревании плодов и иных физиологических процессах в растении. Регуляторную роль дрожжей, как и других микроорга-

низмов, необходимо учитывать для улучшения качества и количества выращенных сельскохозяйственных плодов. Обнаружение и внедрение в биотехнологию штаммов дрожжей, активно продуцирующих этилен, позволит с использованием природоподобных технологий интенсифицировать сельскохозяйственное производство.

Список литературы

1. Kazuhiro Nagahama, Takahira Ogawa, Takao Fujii, Hideo Fukuda. Classification of Ethylene-Producing Bacteria in Terms of Biosynthetic Pathways to Ethylene// Fermentation and bioengineering. 1992. Vol.73, Vol 1. P. 1-5.
2. Lynch J. M. Identification of substrates and isolation of microorganisms responsible for ethylene production in the soil. Nature. – 1972. – Т. 240. – №. 5375. – P. 45-46.
3. Streletskiy R.A., Kachalkin A.V., Demin V.V. Wide Spread Phyto Hormonal Activity among Natural Yeasts. Biotechnology & Microbiology. Adv Biotech & Micro.2017.P. 1-2.
4. Басырова Л.Х., Васинская А.Н., Коробова А.В., Зайнутдинова Э.М., Г.Р. Кудоярова. Экологическая роль этилена в регуляции роста и развития корней. Башкирский химический журнал. 2019. Т.26, N1. С. 91-95.
5. Streletskii RA, Kachalkin AV, Glushakova AM, Yurkov AM, Demin VV. Yeasts producing zeatin. PeerJ 2019; 7:e6474.

NEUROSPORA CRASSA КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Потапова Т.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ, Москва

В русле современных научных представлений возможно формирование локальных электрических полей в системах живых клеток, связанных электрически и диффузионно через проницаемые межклеточные контакты, на основе энергетических особенностей мембранного электрогенеза.

Начало исследований в этой области было положено в 60-х г.г. прошлого века объединением под руководством И.М. Гельфанда математиков, медиков и биологов для изучения принципов взаимодействий в биологических системах. В самом начале работы были сформулированы важные принципы: «Живая система отличается от искусственных неживых систем тем, что каждая структурная единица в ней имеет свои личные задачи...» «Живые системы способны к созданию коллективов, способны помочь соседям осуществлять их «личные» задачи...Способность к объединению с себе подобными – характерная черта живых систем» [1]. Для исследования реализации этих принципов в конкретных живых системах использовали методы микроэлектродной электрофизиологии и представления мембранной теории поддержания на плазматических мембранах живой клетки разности потенциалов (МП) между цитоплазмой и окружающей средой, а также кабельной теории, позволяющей представлять клетки и системы живых клеток в виде эквивалентных электрических кабелей и проводить соответствующие математические расчеты [2]. Развитию представлений в этой области способствовало открытие проницаемых межклеточных контактов (ПК) [3] и сопряжения мембранного электрогенеза с энергетикой клетки [4], а также формулирование концепции естественных технологий живых

систем и обоснование использования модельных организмов [5]. В коллективной монографии «Высокопроницаемые контактные мембраны» [6] суммирован опыт первых шагов этой работы.

Многолетний опыт работы показал, что наиболее полно и согласованно закономерности формирования локальных электрических полей в системах живых клеток, связанных электрически и диффузионно через ПК, проявляются при самоорганизации ансамбля верхушечных клеток вегетативных гиф растущего мицелия гриба-аскомицета *Neurospora crassa*.

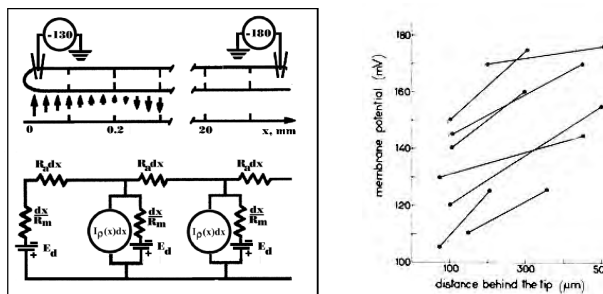


Рисунок 1. Слева – схема микроэлектродной оценки электрических параметров клеток *N.crassa* и представление гифы в виде эквивалентного электрического кабеля. Справа – градиенты МП на переднем конце растущей гифы.

В электрофизиологических экспериментах было показано [7], что верхушечные клетки *N.crassa* поддерживают высокие значения МП тогда и только тогда, когда на переднем конце гифы между соседними сегментами («клетками») течет электрический ток, сопоставимый

по величине с обычным насосным током. На расстоянии 100 мкм (L_1) от переднего конца гиф величина МП равна приблизительно -130 мВ (V_{m1}), а на расстоянии 400 мкм (L_2) – приблизительно -160 мВ (V_{m2}). Исходя из этих величин, можно оценить напряженность электрического поля (E) вдоль переднего конца гифы:

$$E = (V_{m2} - V_{m1}) / (L_2 - L_1) = 30 \text{ мВ} / 300 \text{ мкм} = 100 \text{ В/м}.$$

Представление и анализ этих данных с помощью математических моделей верхушки гифы как полубесконечного электрического кабеля [8, 9] однозначно свидетельствует об отсутствии генераторов МП на расстоянии 100–200 мкм от точки роста. Таким образом, верхушечные клетки гиф *N.crassa* приобретают высокие значения МП, обеспечивающие работу вторичных транспортеров своих мембран, за счет затрат энергии более взрослыми клетками гифы, что сопровождается электрическим током через ПК (септальные поры).

Эта гипотеза подтвердилась в начале XXI века, когда в опытах с прижизненными флуоресцентными маркерами было показано, что в плазматических мембранах апикальных клеток растущих вегетативных гиф *N.crassa* нет основных генераторов МП грибной клетки – H^+ -АТФаз. [10].

Из анализа этого явления следует возможность управления взаимодействиями между внутриклеточными структурами с помощью локального электрического поля, которое создается электрической гетерогенностью в системе верхушечных клеток, связанных ПК. Важная роль в реализации такой возможности отводится особенностям поведения микротрубочек на верхушке гифы.

6

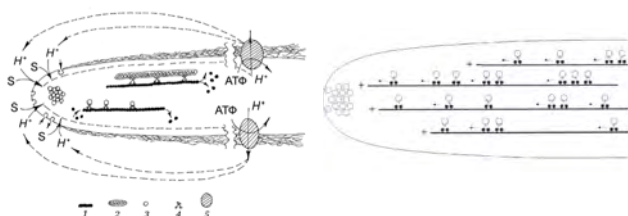


Рисунок 2. Слева – схема сопряжения мембранного транспорта на верхушке гифы. Справа – схема поступления везикул к точке роста с помощью ансамбля микротрубочек [11].

Вдоль всей гифы микротрубочки встречаются в виде коротких палочек (длиной 5–10 мкм), которые свободно переносятся током цитоплазмы, проникая через септальные поры. В апикальном сегменте на переднем участке длиной 100–150 мкм микротрубочки образуют длинные тяжи, которые ориентируются строго параллельно оси гифы и перемещаются не потоком цитоплазмы, а с помощью собственной векторной сборки-разборки, требующей значительного расхода энергии в виде АТФ. При этом, по рельсам из микротрубочек пошагово (опять-таки с затратами АТФ), преремещаются везикулы, доставляющие из взрослых участков гифы материалы, необходимые для роста. В рамках математической модели [11] упорядоченный ансамбль из ≈ 10 микротрубочек способен доставлять в зону роста достаточное количество везикул, чтобы обеспечить удлинение гифы со скоростью 25–30 мкм/мин. Возможно, что существенную роль в создании и поддержании ансамбля микротрубочек играет локальное электрическое

поле на переднем конце гифы, так как показано, что изолированные микротрубочки в экспериментах *in situ* ориентируются и меняют скорость движения под влиянием электрического поля напряженностью $2 \cdot 10^3$ В/м.

Итак. Исследования последних лет свидетельствуют об особой структурно-функциональной упорядоченности переднего конца гифы *N.crassa* [12]:

Непосредственно на расстоянии 1–2 мкм от точки роста располагается Spitzenkorper, или центр распределения везикул (который состоит из везикул, рибосом, актиновых волокон и аморфного материала неизвестной природы).

Передний участок длиной ~ 20 –30 мкм -- зона скопления нитевидных митохондрий и одновременно – зона, свободная от ядер.

На переднем участке длиной 100–150 мкм принципиально меняется характер движения микротрубочек.

Первая септальная перегородка образуется не ближе ~ 150 мкм от точки роста, так что длина апикального сегмента всегда больше, чем средняя длина следующих гифальных сегментов.

H^+ -АТФазы – основные генераторы МП у *N.crassa* – отсутствуют в апикальном сегменте гифы и встраиваются в плазматическую мембрану только за первой септальной перегородкой.

Величина МП на переднем участке длиной 150–200 мкм существенно ниже, чем в дистальной части гифы.

Таким образом, для эффективного верхушечного роста гифа реализует своеобразную «машину удлинения», которая формируется *de novo*: (а) при прорастании спор и (б) при образовании боковых ветвей, – и далее сохраняется как высокоорганизованный верхушечный сегмент, функционирующий в локальном электрическом поле, которое поддерживается энергетическим сопряжением мембранного электрогенеза в ансамбле верхушечных клеток.

Увеличенная длина 1-го сегмента по сравнению с остальными может поддерживаться наличием на этом участке гифы жесткой системы микротрубочек определенной длины. Эта система может чисто механически препятствовать приближению зачатка формирования септы к точке роста. Отсутствие же в апикальном сегменте генераторов МП – H^+ -АТФаз можно было бы объяснить их поставкой из взрослой части гифы на ее передний конец в особых везикулах, лишенных маркеров для взаимодействия с микротрубочками и таким образом, не способных «шагать» по системе ансамбля микротрубочек в апикальном сегменте.

Все эти предположения требуют дополнительного экспериментального и теоретического анализа. Удобной моделью для такой работы мог бы послужить рост изолированных верхушек гиф *N.crassa*. Во всяком случае, анализ поведения изолированных передних концов гифы разной длины в нормальной питательной среде и при дефиците азота позволяет дифференцировать такие важнейшие функции верхушечного роста, как удлинение, септирование и ветвление [13].

Список литературы

1. Васильев Ю.М., Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Шик М.Л. Взаимодействие в биологических системах. Природа. 1969. №6, С.13-21 и №7. С. 24-33.
2. Беркинблит М.Б. и Глаголева Е.Г. Электричество в живых организмах. М.: Наука 1988. 288с.

3. Loewenstein W.R. Membrane junctions in growth and differentiation. *Fed.Proc.* 1973. 32: 60 – 64.
4. Скулачев В.П., Богачев А.В., Каспаринский Ф.О. (2010). Мембранная биоэнергетика: Изд-во Московского университета – 368 с.
5. Уголев А.М. (1987). “Естественные технологии биологических систем”. Л-д. “Наука”.
6. Беркинблит М.Б., Божкова В.П., Бойцова Л.Ю. с соавт. (1981) “Высокопроницаемые контактные мембраны”. М.: Наука – 466с.
7. Potapova T.V., Aslanidi K.B., Belozerskaya T.A., Levina N.N. (1988) Transcellular ionic currents studied by intracellular potential recordings in *Neurospora crassa* hyphae. (Transfer of energy from proximal to apical cells). *FEBS Letters.* 241 (12): 173-176.
8. Асланиди К. Б., Асланиди О.В., Вачадзе Д.М. с соавт. (1997) Математическая модель электрических явлений при поляризованном росте гифы *N. crassa*. *Биофизика* 42: 941-951.
9. Смолянинов В.В., Потапова Т.В. (2003) Оценка критической длины фрагмента гифы *Neurospora crassa*. *Биол. Мембраны* 20 (4). С.304-312.
10. Fajardo-Somera R.A., Bowman B., Riquelme M. (2013) The plasma membrane proton pump PMA-1 is incorporated into distal parts of the hyphae independently of the Spitzenkorper in *Neurospora crassa*. *Eukaryotic Cell.* 12 : 1097—1105.
11. Sugden K.E.P., Evans M.R., Poon W.C.K., Read N.D. (2007) Model of hyphal tip growth involving microtubule-based transport. *Phys. Rev. E Stat. Nonlin Soft Matter Phys.* 75, 031909.
12. Потапова Т.В. (2021). Мембранная биоэнергетика и разделение труда в системах электрически связанных клеток. *Цитология* 63 (1): 1-12.
13. Потапова Т.В., Бойцова Л.Ю., Голышев С.А. с соавт. (2018). Рост и развитие изолированных верхушек гиф *Neurospora crassa* в среде с сорбитом. *Цитология* 60 (1), 42 – 48.

ЛАККАЗЫ ЛИГНИНОЛИТИЧЕСКИХ ГРИБОВ

Позднякова Н.Н.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ СНИЦ РАН, Саратов

Способность грибов к внеклеточной деградации природных полимеров, таких как целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, хитин и т.д., связана с их способностью продуцировать огромный пул ферментов, среди которых особое место занимают лакказы. Лакказы представляют собой наиболее распространенные ферменты лигнин-деградирующих грибов и обнаруживаются как у водных, так и у наземных видов. Они участвуют в деградации лигнина, образовании спор, формировании плодовых тел и ризоморф, а также в механизмах защиты от окислительного стресса и тяжелых металлов, деградации разного рода поллютантов и поэтому, несомненно, играют важную роль в биологии грибов. Несмотря на многолетнюю известность, лакказы привлекли внимание исследователей только после начала изучения ферментов, участвующих в грибной деградации древесины. До настоящего времени они остаются одними из самых изучаемых ферментов, что связано с возможностью их широкого биотехнологического использования, включая делигнификацию лигноцеллюлозы, органический синтез, пищевую и косметическую промышленность, производство синтетических моющих средств, деградацию поллютантов водной природы, в том числе обесцвечивание сточных вод текстильной промышленности [1-3].

Лакказы (бензолдиол:кислород оксидоредуктазы; ЕС 1.10.3.2) принадлежат к семейству мультимедных оксидаз, которые катализируют окисление широкого ряда ароматических соединений с одновременным восстановлением O_2 до H_2O [4]. Они обладают широкой субстратной специфичностью, в ряд окисляемых субстратов попадают не только природные соединения (продукты деградации и предшественники биосинтеза лигнина), но и ксенобиотики. Субстратная специфичность этих ферментов может быть значительно расширена до нефенольных соединений с помощью так называемых редокс-медиаторов. В присутствии синтетических или природных медиаторов лакказы могут окислять нефенольные соединения, включая вератриловый и бензиловый спирты, нефенольные димерные модели лигнина и многие поллютанты, та-

кие как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и синтетические красители [4].

Большинство известных лакказ являются «синими». Это результат сдвига заряда с атома серы цистеинового остатка на ион Cu^{2+} в каталитическом T1-сайте и приводит к максимуму поглощения около 600 нм [1-3]. Однако в настоящее время известно, что не все лакказы синего цвета, были идентифицированы желтые, белые, а также другие необычные лакказы, такие как гетеродимерные. Выявлено несколько лакказ, не обладающих характерным поглощением при 610 нм и способных катализировать окисление широкого спектра соединений, включающего как фенольные, так и нефенольные ароматические вещества без дополнительного медиатора [5-10].

Существует несколько теорий, объясняющих желтый цвет этих ферментов. В первых сообщениях на эту тему предполагалось, что желтые лакказы образуются в результате связывания ароматических продуктов разложения лигнина с первоначально синей лакказой. Предложено два механизма: прямое восстановление меди свободным ароматическим продуктом разложения лигнина или связывание фермента с таким продуктом, приводящее к модификации аминокислот, изменению конформации белка и исчезновению синего цвета. Молекула медиатора может расширять специфичность некоторых желтых лакказ до нефенольных соединений [5]. В более поздних работах показано, что вероятным объяснением желтого цвета являются изменения в координационном окружении каталитической меди [6,7]. В одном из исследований описано конструирование лакказы с высоким редокс-потенциалом, когда изначально синяя лакказа была преобразована в желтый вариант. В процессе конструирования были заменены семь аминокислот. Предполагается, что их синергетический эффект может привести к альтернативному сворачиванию белка и превращению лакказы из синей в желтую. Поскольку желтые лакказы обладают более широкой, чем синие, специфичностью, которая позволяет им окислять нефенольные субстраты [5], то поиск новых грибов-продуцентов этих ферментов и исследование их природы и каталитических свойств является актуальным.

В наших исследованиях для получения желтых лакказ была использована полупогруженная система культивирования грибов. Природные субстраты (сосновые, кленовые или дубовые опилки, ячменная солома или солома сорго) инокулировали *Pleurotus ostreatus* var. *Florida* или *Schizophyllum commune* и культивировали до полной колонизации субстрата. Затем в колбы добавляли богатую среду для базидиомицетов и культивировали при 24°C в течение 7-10 сут. Полученную культуральную жидкость использовали как источник желтых лакказ. Разработанная система могла быть использована для получения ферментов до 5 раз. Желтые лакказы из этих грибов были очищены и охарактеризованы по основным молекулярным и каталитическим свойствам.

Молекулярная масса лакказы *S. commune* составляла 72 кДа. Фермент был стабилен при pH 7.0, сохранял около 50% активности в течение недели. Определены оптимумы pH для основных субстратов: АБТС (pH 2.5), синингалдазин (pH 6), 2,7-диаминофлуорен (pH 5), 2,6-диметоксифенол (pH 5), пирокатехин (pH 6), гваякол (pH 5.5). Для этих же субстратов определены основные каталитические константы (K_M , V_{max} , and k_{cat}) и выявлены различия в величинах K_M : наименьшее значение для синингалдазина (0.03 мМ) и относительно высокие для АБТС (0.8 мМ) and 2,6-диметоксифенола (4 мМ) oxidation.

Молекулярная масса второго фермента – желтой лакказы *P. ostreatus* var. *Florida* составляла 64 кДа. Фермент был стабилен при pH 6.0 сохраняя до 80% в течение 10 сут. Показано, что оптимум pH окисления АБТС (pH 3.5) находился в кислой области, тогда как остальных субстратов – в нейтральной: синингалдазин (pH 6.5), 2,7-диаминофлуорен (pH 6.0), 2,6-диметоксифенол (pH 5.5), пирокатехин (pH 7), гваякол (pH 7). Заметные различия в величинах K_M наблюдались для синингалдазина (0.08 мМ), АБТС (1.4 мМ) и 2,6-диметоксифенола (6 мМ).

Исследовано окисление ряда нефенольных ароматических поллютантов (ПАУ, красители антрахинонового типа) и лигниноподобных соединений (вератриловый спирт, синингол, гваякол) полученными желтыми лакказами. Оба исследованных фермента катализировали прямое окисление ПАУ (флуорен, антрацен, фенантрен, пирен), красителей антрахинонового типа (Acid Blue 62, Reactive Blue 4) и естественного метаболита – вератрилового спирта.

До настоящего времени ни одна из гипотез, объясняющих уникальные свойства желтых лакказ

не нашла четкого подтверждения, опубликованных исследований на эту тему по-прежнему немного. Поскольку желтые лакказы обладают большим промышленным потенциалом, чем синие, то поиск новых грибов-продуцентов желтых лакказ, изучение их природы и каталитических свойств представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Список литературы

1. Janusz G., Pawlik A., Swiderska-Burek U., Polak J., Sulej U., Jarosz-Wilkolazka A., Paszczynski A. Laccase properties, physiological functions, and evolution. *Int. J. Mol. Sci.* 2020. 21: 966.
2. Gałazka A., Jankiewicz U., Szczepkowski A. Biochemical characteristics of caccases and their practical application in the removal of xenobiotics from water. *Appl. Sci.* 2023. V. 13. P. 4394. DOI: 10.3390/app13074394
3. Tiwari A., Chen C.-W., Haldar D., Patel A.K., Dong C.-D., Singhania R.R. Laccase in biorefinery of lignocellulosic biomass. *Appl. Sci.* 2023. V. 13. P. 4673. <https://doi.org/10.3390/app13084673>
4. Bertrand B., Martinez-Morales F., Trejo-Hernandez M.R. Upgrading laccase production and biochemical properties: Strategies and challenges. *Biotechnol. Prog.* 2017. DOI 10.1002/btpr.2482.
5. Pozdnyakova N.N., Rodakiewicz-Nowak J., Turkovskaya O.V., Haber J. Oxidative degradation of polyaromatic hydrocarbons and their derivatives catalyzed directly by the yellow laccase from *Pleurotus ostreatus* D1. *J. Molecular Catalysis B: Enzymatic.* 2006. V. 41. P. 8-15.
6. Huang W.T., Tai R., Hseu R.-S., Huang C.-T. Overexpression and characterization of a thermostable, pH-stable and organic solvent-tolerant *Ganoderma fornicatum* laccase in *Pichia pastoris*. *Process Biochemistry.* 2011. V. 46. P. 1469-1474.
7. Daroch M., Houghton C., Moore J., Wilkinson M., Carnell A., Bates A., Iwanejko L. Glycosylated yellow laccase of the basidiomycetes *Stropharia aeruginosa*. *Enzyme Microbial. Technol.* 2014. V. 58-59. P. 1-7.
8. Ike P.T.L., Birololi W.G., dos Santos D.M., Porto A.L.M., Souza D.H.F. Biodegradation of anthracene and different PAHs by a yellow laccase from *Leucoagaricus gongylophorus*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-04197-z
9. Cen Q., Wu X., Cao L., Lu Y., Lu X., Chen J., Fu G., Liu Y., Ruan R. Green production of a yellow laccase by *Corioliopsis gallica* for phenolic pollutants removal. *AMB Express.* 2022. V. 12. P. 96.
10. Radveikiene I., Vidziunaite R., Meskiene R., Meskys R., Casaite V. Characterization of a yellow laccase from *Botrytis cinerea* 241. *J. Fungi.* 2021. V. 7. P. 143.

ГАЛОТОЛЕРАНТНОСТЬ РЕДКИХ ДРОЖЖЕЙ КИШЕЧНИКА

Прокопьев В.В.^{1,2}, Тадыков Д.А.²

¹ КДЛ Здоровье

² АГМУ Минздрава России, Барнаул

На сегодняшний день на основе методик экологического секвенирования, кривых открытия видов, экстраполяции по градиентам разнообразия и др. предсказано от 2.2 до 3.8 миллионов видов грибов [1] из которых по данным <https://www.speciesfungorum.org>, на момент написания данной работы, описано 165574 видов. Несмотря на то, что открыто менее десяти процентов от предполагаемых видов, грибов зачастую остается неясной их роль не только во взаимоотношении с человеком, но и занимаемая ими экологическая ниша.

Распространенность в микробиологических и научных лабораториях такого инструментария как масс-спек-

трометрия привело к расширению спектра идентифицируемых микроорганизмов, в том числе и дрожжевых микромицетов. Перед исследователями стал вопрос о возможности найденных микроорганизмов вызывать заболевания, их роли в окружающей среде, а зачастую, и их биотехнологический потенциал.

Если для оценки патогенетического потенциала дрожжей необходимо всестороннее их исследование на наличие таких факторов патогенности как гидролитические ферменты, способность к адгезии к тканям человека, биофильмообразование, токсинообразование и т.д, то для оценки экологической роли и биотехнологического

потенциала микромицетов необходима оценка влияния различных абиотических факторов как уровень кислорода и других газов, рН среды, влажность, осмолярность среды и т.д. на их скорость роста и размножения.

Одним из важных абиотических факторов среды для жизнедеятельности микроорганизмов является концентрация в окружающей среде хлорида натрия. Высокие концентрации NaCl могут приводить к солевому стрессу клетки, что приводит к снижению доступности воды и напряжению осмотического гомеостаза, связанного с цитоплазматической мембраной клетки [2]. Галотолерантность может рассматриваться как фактор эволюционной стратегии микроорганизмов «сиди и жди» [3], при которой способность к выживанию в окружающей среде коррелирует с вирулентностью микроорганизмов. Более того показано влияние концентрации хлорида натрия на такие «классические» факторы патогенности как биопленкообразование, устойчивость к окислительному стрессу, подвижность [4].

В нашем исследовании мы оценили влияние концентрации хлорида натрия в питательной среде на рост ряда дрожжевых микромицетов при двух температурных режимах – 25 и 35°C.

Нами были исследованы *Trichosporon ovoides* (3 штамма), *Pichia fermentas* (2 штамма), *Pichia manshurica* (2 штамма), *Pichia kluyverii* (1 штамм), *Pichia cactophila* (1 штамм), *Wickerhamiella pararugosa* (1 штамм).

Все исследованные штаммы были получены при бактериологическом исследовании кала пациентов поликлинического отделения крупного медицинского центра. Идентификация микромицетов проводилась на основе их культуральных, микроскопических и биохимических свойств и подтверждалась при помощи масс-спектрометрии на приборе «Microflex» («Bruker Daltonik GmbH & Co. KG»).

Для оценки устойчивости к различным концентрациям хлорида натрия в лунки полистирольных 96-луночных планшетов вносили по 190 мкл бульона Сабуро с концентрациями NaCl 0.5 (стандартный бульон Сабуро), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10%. Далее вносили 10 мкл суточной культуры микромицетов (в случае *T. ovoides* – 48 часовой культуры) доведенной до оптической плотности 1 по МакФарланду в среды с различными концентрациями NaCl. В качестве отрицательного контроля использовали незасеянные лунки с бульоном Сабуро. Рост

культуры при различных концентрациях хлорида натрия оценивали по оптической плотности при 450 нм через 96 часов инкубации в аэробных условиях.

Полученные результаты показывают существенное влияние концентрации хлорида натрия в питательной среде и температуры культивирования на рост микромицетов (рис.№1).

Среди изученных видов наибольшей галотолерантностью обладал базидиомицет *T. ovoides*, который сохранял способность к росту при 25°C при 10% NaCl и при 35°C при 9%.

Рост *P. manshurica*, *P. fermentas* и *P.kluyverii* резко снижался при 5% NaCl в обоих температурных режимах выращивания.

P. cactophila показала высокую галотолерантность при температуре выращивания 25°C до 9% NaCl, при 37°C рост наблюдался до концентрации 6%.

W. pararugosa показала низкие значения устойчивости к хлориду натрия ($OD \leq 0,6$), что говорит о значимом влиянии соли на рост данных микроорганизмов.

Галотолерантность можно рассматривать как один из механизмов патогенности микроорганизмов, способствуя их выживанию в неблагоприятных условиях, колонизации тканей человека и возможности противостоять иммунным механизмам организма хозяина.

Данные полученные в нашей работе показывают, что этот аспект патогенности наиболее развит у *T. ovoides*. Данный микромицет в большей степени вызывает поражение кожи и ее придатков, хотя известен и как этиологический агент микозов у иммунокомпрометированных пациентов [5]. Способность размножаться в условиях осмотического стресса, обусловленного высокими концентрациями хлорида натрия, в некоторой степени, объясняет патогенез микозов, вызванных данным микроорганизмом.

Данные о устойчивости *P. manshurica*, *P. fermentas* и *P.kluyverii* к различным концентрациям NaCl, говорят о незначительном влиянии галотолерантности в патогенезе заболеваний, вызванных этими микроорганизмами.

Несмотря на то, что *W. pararugosa* известна в качестве этиологического агента заболеваний человека [6], по всей видимости, ее патогенность обусловлена факторами отличными от устойчивости к хлориду натрия.

Данные, полученные в нашем исследовании, позволяют предположить некоторые аспекты экологии дан-

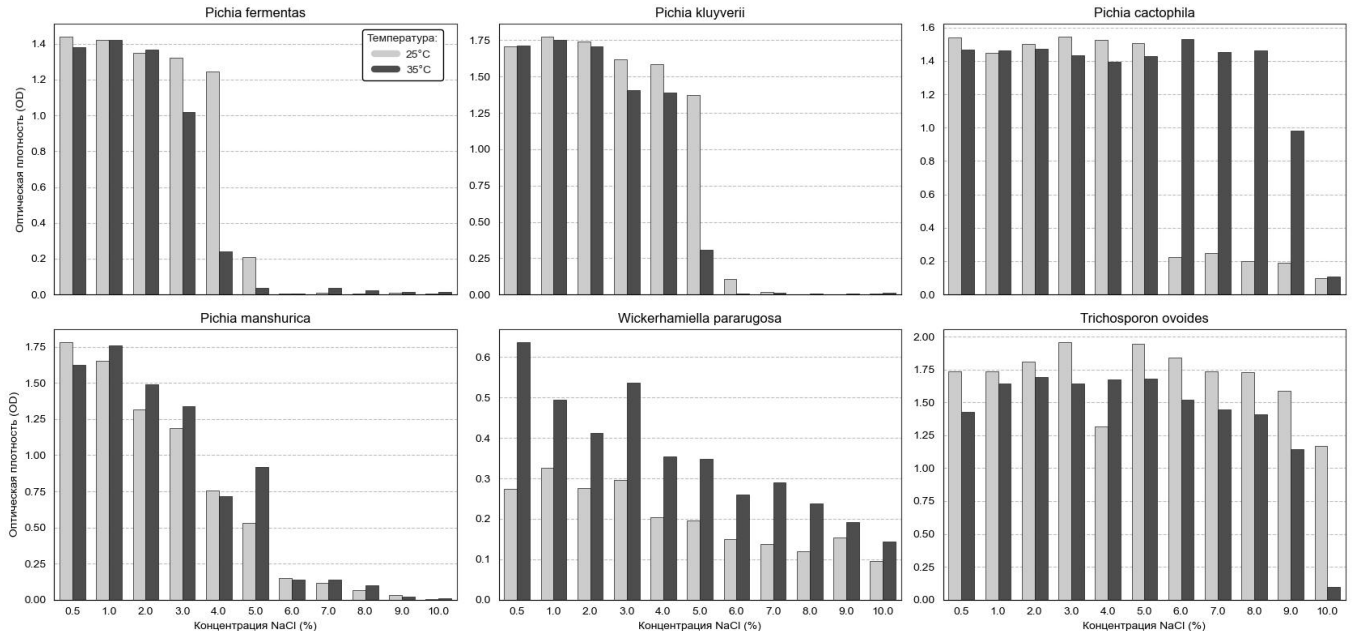


Рисунок 1. Влияние концентрации хлорида натрия и температуры культивирования на рост дрожжевых микромицетов кишечника.

ных микроорганизмов, не связанных с заболеваемостью человека. Так *P. cactophila* обладая способностью расти при 35°C и устойчивостью к высоким концентрациям NaCl (OD 1,53 при 7% NaCl, 35°C) способна на адаптацию к экстремальным условиям, например, к растениям-суккулентам или засоленным почвам. *P. kluveri* может занимать мезофильную экологическую нишу, возможно, связанную с фруктами или ферментированными продуктами. Слабая галотолерантность *W. pararugosa*, но стабильный рост при 25-35°C может говорить о комменсализме указанных микроорганизмов в малоосматических средах, например, в кишечнике насекомых.

Полученные данные также позволяют рассматривать *Pichia cactophila* и *Trichosporon ovoides* как перспективные объекты для промышленных биотехнологических процессов в условиях осмотического стресса.

Выявление новых и редко встречающихся таксонов требует от исследователей всесторонней оценки их медицинского значения, экологии и распространения, эволюционного значения и возможного биотехнологического потенциала. Одним из наиболее важных аспектов является оценка физиологии малоизученных таксонов, где роль абиотических факторов может существенно влиять на все сферы существования микроорганизмов.

ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ КУЛЬТУРАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ
ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ

Торопова Е.Ю., Селюк М.П.

Новосибирский государственный аграрный университет

По данным ФАО прямые потери от почвоутомления и вредоносности почвенных фитопатогенов составляют 25% мирового урожая. Среди почвенных фитопатогенов, грибы рода *Fusarium* и *Bipolaris sorokiniana* занимают особое место не только потому, что являются возбудителями болезней более 200 видов культурных и дикорастущих растений и заселяют почвы всего Мира, но и благодаря их способности вызывать у зерновых культур микотоксикоз зерна [1,2,3].

Патогенный комплекс корневых гнилей одновременно может составлять более 10 видов, однако микромицеты, первыми реализующие экологические ниши в системе подземных органов растений, имеют несомненные преимущества перед другими, часто более успешно конкурируя с ними за жизненное пространство и ресурсы [4].

В этой связи выяснение роли конкуренции между видами фитопатогенов, ослабляющей или усиливающей агрессивность отдельных видов микромицетов представляет большой научный и практический интерес. Межвидовые отношения почвенных фитопатогенов являются практически не изучают, хотя подчеркивают актуальность таких исследований [5].

Практически не изучается биохимический состав и роль, выделяемых микромицетами соединений, в межвидовой конкуренции между ними, индукции супрессивности ризосферной почвы, хотя известен существенный вклад культуральных жидкостей микроорганизмов и отдельных входящих в них ферментов в антагонизм видов [6,7].

В связи с этим **целью** наших исследований стала оценка оптической плотности монокультур и совместно выращенных пар почвенных микромицетов.

Исследования проводили в 2025 г. в лаборатории Экологии болезней растений Новосибирского ГАУ. Почвенные фитопатогены родов *Fusarium poae* (Peck) Wollenw., *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F.*

Список литературы

1. Hawksworth DL, Lücking R. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. Microbiol Spectr. 2017 Jul;5(4):10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016. doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016. PMID: 28752818; PMCID: PMC11687528.

2. Singh L, Rai J, Sharma SC. Effect of halo-tolerance gene Hal5 on ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. BBA Adv. 2024 Oct 11;6:100123. doi: 10.1016/j.bbadv.2024.100123. PMID: 39881738; PMCID: PMC11776079.

3. Walther BA, Ewald PW. Pathogen survival in the external environment and the evolution of virulence. Biol Rev Camb Philos Soc. 2004 Nov;79(4):849-69. doi: 10.1017/s1464793104006475. PMID: 15682873; PMCID: PMC7161823.

4. MacIntyre AM, Barth JX, Pellitteri Hahn MC, Scarlett CO, Genin S, Allen C. Trehalose Synthesis Contributes to Osmotic Stress Tolerance and Virulence of the Bacterial Wilt Pathogen *Ralstonia solanacearum*. Mol Plant Microbe Interact. 2020 Mar;33(3):462-473. doi: 10.1094/MPMI-08-19-0218-R. Epub 2020 Jan 9. PMID: 31765286.

5. Mohd Tap R, Sabaratnam P, Ramli NY, Hashim R, Mohd Fuat AR, Ng PP, Khairam H, Ahmad N. Subcutaneous Infection Associated with *Trichosporon ovoides*: A Case Report and Review of Literature. Mycopathologia. 2016 Apr;181(3-4):285-90. doi: 10.1007/s11046-015-9958-2. Epub 2015 Oct 22. PMID: 26493614.

6. Murata S, Mimura K, Kawamura T, Saito H, Ohno H, Tsujii E, Shinohara T, Miyazaki Y, Ohki T. Bloodstream infection caused by *Wickerhamiella pararugosa* in a patient with intestinal obstruction: A case report. J Infect Chemother. 2024 Sep;30(9):942-945. doi: 10.1016/j.jiac.2024.02.014. Epub 2024 Feb 16. PMID: 38369124.

sporotrichioides Sherb. и *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., выделенные из подземных органов растений яровой пшеницы выращивали попарно и отдельно (контроль) на жидкой питательной среде агаре Чапека в течение 10 дней. Культуральная жидкость была отделена от мицелия с помощью вакуумного насоса НВМ-0.3П фильтрованием через мембранные фильтры. Чтобы исключить заспорение культуральной жидкости проводили ее микробиологический анализ на питательной среде. Определение оптической плотности культуральной жидкости микромицетов проводили на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ в кювете с длиной оптического пути 50 мм при длине волны света 330нм.

Измерение оптической плотности культуральных жидкостей монокультур микромицетов и конкурирующих пар представлено в таблице 1.

Таблица 1. Оптическая плотность монокультур почвенных микромицетов, отн.ед.

Культуральная жидкость	Оптическая плотность
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	0,147
<i>Fusarium poae</i>	0,247
<i>Fusarium solani</i>	0,357
<i>Fusarium equiseti</i>	0,474
<i>B. sorokiniana</i> + <i>F. poae</i>	0,245
<i>B. sorokiniana</i> + <i>F. solani</i>	0,390
<i>B. sorokiniana</i> + <i>F. equiseti</i>	0,490
<i>F. poae</i> + <i>F. solani</i>	0,532
<i>F. poae</i> + <i>F. equiseti</i>	0,534
<i>F. solani</i> + <i>F. equiseti</i>	0,532
HCP05	0,001

Так выявлено, что культуральная жидкость темно-окрашенного гриба *Bipolaris sorokiniana* имеет самую

низкую оптическую плотность из всех исследуемых микромицетов, а максимальную плотность отмечена у культуральной жидкости *Fusarium equiseti*. Мицелий этого фитопатогена характеризуется светлосочным, золотистым цветом.

При совместном выращивании микромицетов с *Fusarium equiseti*, оптическая плотность попарных культуральных жидкостей увеличивалась и была максимальной во всех вариантах.

При выращивании *Bipolaris sorokiniana* со всеми грибами рода *Fusarium* отмечалось увеличение оптической плотности в среднем в 2,6 раза по сравнению с его монокультурой. Возможно, увеличение связано с тем, что взаимоотношения между *Bipolaris sorokiniana* и грибами рода *Fusarium* определяются, как конкурентные, и микромицеты активно формируют внеклеточные вещества для подавления друг друга [8].

Тенденция увеличения оптической плотности наблюдалась при совместном выращивании грибов рода *Fusarium*, но была выражена слабее. Увеличение изучаемого показателя между грибами *Fusarium solani* и *Fusarium equiseti* было в 1,5 раза по сравнению с монокультурой *Fusarium solani*, между *Fusarium poae* и *Fusarium equiseti* в 2 раза по сравнению с монокультурой *Fusarium poae*.

Таким образом, нами проведено поисковое исследование влияния межвидовой конкуренции почвенных микромицетов на оптическую плотность культуральных жидкостей. Выявлено увеличение оптической плотности культуральной жидкости при совместном выращивании микромицетов, особенно с *Bipolaris sorokiniana*, что обусловлено характером взаимоотношений грибов и требует дальнейшего изучения.

ГЕТЕРОТАЛЛИЗМ И ГОМОТАЛЛИЗМ У ГРИБОВ: ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДЕТЕМИНАЦИЯ И ПРОГРАММЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Шнырева А.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Половое размножение свойственно всем эукариотам. Это сложный процесс, который включает слияние клеток (плазмогамию), слияние ядер (кариогамию) и редукционное деление (мейоз). Хотя набор инструментов для прохождения мейоза высоко консервативен в основных эволюционных линиях эукариот, механизмы детерминации пола, которые диктуют плазмогамию и кариогамию, высоко пластичны и разнообразны. У грибов системы определения пола классифицируются как гетероталлизм и гомоталлизм. Гомоталлические грибы самофертильны: они могут размножаться половым путем в культуре, полученной из одной споры. Гетероталлические грибы самостерильны: им требуется партнер противоположного пола для полового размножения. Переходы между гетероталлизмом и гомоталлизмом наблюдаются даже среди близкородственных видов и являются выбором между свободными скрещиваниями и инбридингом в природных популяциях, и эти переходы находятся под давлением естественного отбора, которое благоприятствует той или иной стратегии размножения. Детерминация пола у грибов находится под генетическим контролем МАТ-локусов: у зигомицетов и аскомицетов МАТ локус один с двумя аллельными состояниями, у базидиальных грибов – два МАТ-локуса со множественными аллелями. У аскомицетов гомоталлические виды содержат оба типа спаривания в одном геноме или способны переключать тип спарива-

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 25-26-00137.

Список литературы

1. Торопова Е.Ю., Казакова О.А., Селюк М.П., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Факторы индукции супрессивности почвы. Агрохимия. 2017. № 4. С. 58–71.
2. Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Ганнибал Ф.Б. Микромицеты *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* и микотоксины в зерне, выращенном в Уральском федеральном округе. Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. № 5. С. 365–377.
3. Монастырский О.А. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов. Агрохимия. 2016. № 6. С. 67–71.
4. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Казакова О.А., Трунов Р.И. Биологическое разнообразие фитопатогенных почвенных микромицетов на сортах яровой пшеницы в Западной Сибири. Агрохимия 2022. № 10. С. 56–64.
5. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Стецов Г.Я., Казакова О.А., Кириченко А.А. Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 6. С. 25–32.
6. Шамрайчук И.Л., Белякова Г.А., Еремина И.М., Кураков А.В., Белозерский М.А., Дунаевский Я.Е. Протеолитические ферменты грибов и их ингибиторы как перспективные биоцидные средства антифунгального действия. Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2020. №3. С. 123–130.
7. Sklyar T.V., Drehval O.A., Cherevach N.V. et al. Antagonistic activity of microorganisms isolated from chernozem against plant pathogens. Ukrainian Journal of Ecology. 2020. №1. P. 292–299.
8. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Казакова О.А. Новый подход к оценке межвидовых отношений микромицетов из рода *Fusarium* Link. с *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. Сибирский экологический журнал. 2023. Т. 30. № 3. С. 310–320.

ния. Переключение типа спаривания приводит к появлению совместимых по полу клеток в пределах одной и той же колонии, происходящей от одной клетки, что фактически делает вид гомоталлическим. Почкующиеся дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* и делящиеся дрожжи *Schizosaccharomyces pombe* независимо развили системы переключения типа спаривания, которые включают три кассеты – собственно локус МАТ и две молчащие кассеты HML и HMR. Активный локус МАТ определяет тип клеток, в то время как локусы HML и HMR поддерживаются в транскрипционно молчащем состоянии под действием комплекса белков гистондеацетилазы Sir. Наличие только одного экспрессируемого типа спаривания необходимо гаплоидным штаммам для проявления определенного типа спаривания (а или α). Двухцепочечный разрыв ДНК в активном МАТ-локусе с помощью НО эндонуклеазы инициирует генную конверсию, которая приводит к однонаправленному переносу кассеты HML или HMR на МАТ-локус и переключению пола. МАТ-локусы аскомицетов кодируют универсальные факторы регуляции транскрипции генов.

Более простая версия переключения типа спаривания, а именно система flip/flop, была выявлена у двух видов дрожжей *Pichia pastoris* и *Hansenula polymorpha*, а также фитопатогенного гриба *Sclerotinia sclerotiorum*, в геномах которых происходит обратимая инверсия части хромосомы. В этом случае в геноме присутству-

ют две сцепленные кассеты типа спаривания, при этом одна кассета подавлена в силу своего расположения в гетерохроматиновой области хромосомы. У метилотрофных дрожжей *P. pastoris* МАТ-кассеты расположены на концах хромосом близко к субтеломерной области, и в зависимости от ориентации, одна из них – молчащая. У *H. polymorpha* молчащая кассета лежит рядом с центромерой. У возбудителя белой гнили *S. sclerotiorum* обратимая инверсия происходит в пределах МАТ-локуса, содержащего обе МАТ-кассеты, при этом нарушая один из генов локуса или отделяя МАТ-ген от его промотора. В обоих случаях инвертированные МАТ-области фланкированы повторами, и переключение типа спаривания происходит путем инверсии участка хромосомы, включающей две кассеты МАТ, по повторяющимся последовательностям, которые фланкируют кассеты МАТ. Инверсия меняет физическое положение МАТ кассет, тем самым активируя альтернативную кассету МАТ. Подобная динамичная природа организации локуса МАТ показывает, что переход от гетероталлизма к гомоталлизму имеет эволюционное преимущество для некоторых групп грибов. Интересно, что даже для гетероталлических видов грибов гомоталлизм может иметь некоторые преимущества. Например, виды рода *Cryptococcus* имеют биполярную систему спаривания. Каждая клетка наследует стабильный тип спаривания, определяемый одним локусом МАТ, и переключение типа спаривания не происходит. Тем не менее, несколько видов из этого рода способны к однополному размножению без необходимости в совместимом партнере для спаривания.

Еще один из вариантов переключения пола – однонаправленное переключение, которое всегда происходит в одном направлении и необратимо; обнаружено у фитопатогенов *Hypocrea fuckeliana* и *Ceratocystis fimbriata*. В результате такого события самофертильный штамм имеет обе МАТ-кассеты в геноме, но только одна из них активна. Для дрожжей *Candida albicans* не описан механизм кассетного переключения типа спаривания; однако, для спаривания клеткам необходимо переключить морфотип: белые (white) – на непрозрачные (opaque). Более того, у *C. albicans* вообще не обнаружены гаплоидные штаммы, и скрещиваться способны только диплоиды-гомозиготы по полу (a/a и α/α), в то время как гетерозиготные диплоиды a/α не способны пройти половой цикл. Половой цикл возбудителя кандидоза, по сути, сводится к смене ядерных фаз: диплоид – тетраплоид – диплоид. Возбудитель кандидоза может пройти как гомоталлический, так и гетероталлический половой цикл; при этом вирулентность гриба, как показано, зависит от

статуса клетки по полу: гетероталлические штаммы более вирулентны (происходят от гетерозиготного тетраплоида), чем гомоталлические штаммы происхождения от гомоталлического тетраплоида.

Переход от гетероталлизма к гомоталлизму, наблюдаемый у многих видов дрожжей и патогенных аскомицетов, могут быть обусловлены общим предпочтением инбридинговой формы полового размножения, которая увеличивает возможности и шансы для успешного спаривания и прохождения полового цикла, что особенно важно в условиях, когда плотность популяции низкая, и встречи с половым партнером редки или затруднены.

У патогенных базидиальных грибов наблюдается немного иная тенденция – переход от тетраполярного гетероталлизма к биполярному. При тетраполярном гетероталлизме половая совместимость партнеров определяется двумя несцепленными МАТ-локусами (расположенными на разных хромосомах), при биполярном – оба МАТ-локуса находятся в одной группе сцепления (на одной хромосоме), или происходит утрата одного из МАТ-локусов, как у возбудителя себореи *Malassezia globosa*. МАТ-локусы базидиальных грибов кодируют универсальные факторы регуляции транскрипции (как и у аскомицетов), а также гены феромонов и рецепторов феромонов. Биполярный гетероталлизм (по сути, однофакторный) встречается у некоторых ржавчинных (*Puccinia graminis*, *Microbotryum violaceum*) и головневых грибов (*Ustilago hordei*, *U. tritici*, *Tilletia caries*). При этом биполярный гетероталлизм базидиальных грибов всегда мультиаллельный, в то время как у аскомицетов – диаллельный. Более того, у головневых грибов *U. tritici* и *T. caries* дикариотизация гаплоидных ядер (продуктов мейоза) происходит сразу между соседними клетками 4-клеточной фрагмобазидии без формирования базидиоспор: по сути, это внутри-тетрадное спаривание, не требующее поиска полового партнера. Внутри-тетрадное скрещивание в пределах базидии и биполярный гетероталлизм фитопатогенных базидиомицетов можно рассматривать как эффективные способы повышения вероятности прохождения полового процесса и формирования патогенного дикариона в условиях малой численности популяции.

Таким образом, у грибов имеются широкие возможности для развития как гетероталлического, так и гомоталлического сценария полового размножения, а также сочетания обоих, в зависимости от образа жизни (сапротрофы или паразиты) и условий окружающей среды. Однако, программы реализации гетероталлизма и гомоталлизма у грибов различны.

РОЛЬ МЕМБРАННЫХ ЛИПИДОВ И ОСМОЛИТОВ В АДАПТАЦИИ ЭКСТРЕМОФИЛЬНЫХ МИКРОМИЦЕТОВ К АБИОТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

Терешина В.М.¹, Януцевич Е.А.¹, Данилова О.А.¹, Кочкина Г.А.², Бондаренко С.А.³, Биланенко Е.Н.³,

Георгиева М.Л.^{3,4}, Антропова А.Б.⁵, Гроза Н.В.⁶, Грум-Гржимайло О.А.^{7,8}

¹ Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ ФОБТ РАН, Москва

² Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Пуццино

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

⁴ НИИ по изысканию новых антибиотиков им. Г.Ф. Гаузе, Москва

⁵ НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва

⁶ МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

⁷ Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова БФ МГУ

⁸ Университет Вагенингена, Нидерланды.

Среди экстремофилов выделяют различные группы по оптимальным условиям роста, включая температуру (психрофилы, термофилы), pH (ацидофилы и алкало-

филы), давление (барофилы), ионную силу (галофилы), активность воды (ксерофилы). Экстремофильные микромикеты в процессе эволюции приобрели способ-

ность осуществлять свой жизненный цикл в экстремальных для большинства грибов условиях. Адаптация к любому стрессорному фактору является комплексом защитных процессов, включающих антиоксидантную защиту, синтез белков теплового шока, изменение состава мембран, повышение уровня осмолитов. Наше внимание будет сфокусировано на ключевом звене – защите мембран и макромолекул клеток у мицелиальных грибов-экстремофилов, которая осуществляется как за счет изменения состава мембранных липидов, так и при помощи синтеза протекторных соединений углеводной природы – осмолитов.

По современным представлениям органические осмолиты, являются не только «совместимыми соединениями» (compatible solutes), как считалось ранее, но и метаболическими цитопротекторами [Yancey, 2005]. У грибов осмолиты представлены, в основном трегалозой и полиолами. Трегалоза, как и полиолы, может замещать воду в гидратных оболочках макромолекул, но, в отличие от полиолов, обладает способностью встраиваться в мембраны и стабилизировать их в условиях стрессорных воздействий.

Поддержание функционального состояния мембран при стрессе является ключевым звеном защитной системы и обеспечивается не только путем изменения их состава и структуры, но и стабилизирующим действием осмолита трегалозы [Vigh et.al., 2005; Glatz et.al., 2016; Yancey, 2005]. Так, обнаружено, что в условиях теплового шока у трегалозо дефицитных штаммов дрожжей происходят более масштабные перестройки состава мембранных липидов, чем у дикого штамма [Péter et.al., 2021]. Поэтому мы считаем важным исследование состава мембранных липидов и осмолитов во взаимосвязи.

Цель работы – изучить роль осмолитной и мембранной систем клеток в адаптации экстремофильных грибов к экстремальному фактору, а также под воздействием других стрессоров.

В качестве объектов исследования были выбраны алкалофилы *Sodiomyces tronii*, *S. alkalinus*, *S. magadii*; термофилы *Rhizomucor miehei*, *R. tauricus*, *Myceliophthora thermophila*; галоалкалотолерант *Emericellopsis alkalina*, ксерогалофил *Aspergillus penicillioides*, ацидофилы *Mollisia* sp., *Phlebiopsis gigantea*, *Sistotrema brinkmanii*; психротолерант *Mucor flavus*, психрофил *Mucor psychrophilus*.

Липиды экстрагировали методом Николса и анализировали методом двумерной ТСХ и денситометрии (программное обеспечение Dens). Состав жирных кислот определяли методом ГЖХ. Углеводы экстрагировали кипящей водой, после удаления белков и заряженных соединений получали триметилсилильные производные, анализировали методом ГЖХ.

На примере термофильных, алкалофильных, ацидофильных и психрофильных грибов впервые установлено ключевое значение трегалозы в оптимальных условиях роста. У всех этих экстремофилов трегалоза доминирует в составе углеводов и полиолов (УиП) цитозоля, и ее количество увеличивается в процессе роста. Напротив, у ксерофилов, растущих на средах с пониженной активностью воды, основным осмолитом цитозоля становится глицерин.

У термофилов в ответ на тепловой шок снижается количество трегалозы в клетке, и не возникает приобретенной термоустойчивости, как у мезофилов. У алкалофилов, ацидофилов и психрофилов тепловой шок вызывает двукратное увеличение количества трегалозы, т.е. проявляется аддитивный эффект. У ксерофила,

количество трегалозы также возрастает в ответ на тепловой шок, но не превышает 1% от сухой массы, тогда как количество глицерина снижается. В ответ на осмотический шок у алкалофилов, ацидофилов и термофилов значительно повышается уровень полиолов, но при этом количество трегалозы не снижается, что указывает на важность как полиолов, так и трегалозы в адаптации. Холодовой шок не вызывает изменений в составе осмолитов у всех изученных экстремофилов, что, возможно, связано с высоким исходным уровнем трегалозы.

Изучение состава мембранных липидов у всех изученных экстремофилов выявило общую закономерность – в качестве основного или доминирующего фосфолипида выявлены фосфатидные кислоты, которые относятся к небислойным липидам. В ответ на тепловой, осмотический и холоддовой шоки в мембранных липидах экстремофилов значительные изменения происходят только в случае существенного снижения трегалозы в клетке. В случае поддержания или увеличения уровня трегалозы в клетке состав мембранных липидов остается стабильным.

Важным адаптационным фактором является текучесть мембран, на которую, по современным представлениям, влияют степень ненасыщенности жирных кислот фосфолипидов, соотношение стерины/фосфолипиды. Наши исследования показали, что степень ненасыщенности мембранных липидов у экстремофилов разная. Колебания степени ненасыщенности в процессе роста, в ответ на тепловой и осмотический шоки незначительны. Обнаружено, что степень ненасыщенности возрастает у всех исследованных экстремофилов только в ответ на холоддовой шок. Для холодоустойчивых грибов характерна самая высокая степень ненасыщенности (1,6–1,8) и самое низкое относительное содержание стеринов.

Таким образом, впервые показана ключевая роль осмолитов в адаптации экстремофилов. Полученные результаты подтверждают гипотезу о взаимосвязи изменений в осмолитной и мембранной системах клетки при адаптации экстремофилов. Обнаруженные нами общие закономерности состава мембранных липидов, где преобладают небислойные фосфолипиды, указывают на особую структуру мембран экстремофильных грибов.

Список литературы

1. Glatz A, Pilbat A, Németh GL et al. K Involvement of small heat shock proteins, trehalose , and lipids in the thermal stress management in *Schizosaccharomyces pombe*. *Cell Stress Chaperones*. 2016. 21. P. 327–338.
2. Péter M., Gudmann P, Kóta Z. et al. Lipids and Trehalose Actively Cooperate in Heat Stress Management of *Schizosaccharomyces pombe*. *Int. J. Mol. Sci*. 2021. 22. 13272.
3. Vigh L, Escríbá P V., Sonnleitner A. et al. The significance of lipid composition for membrane activity: new concepts and ways of assessing function. *Progress Lipid Research*. 2005. V. 44. P. 303–344.
4. Yancey P.H. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses.. *Journal of Experimental Biology*. 2005. V. 208, № 15. P. 2819–2830.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСКРИПТОМОВ ВЕГЕТАТИВНОГО МИЦЕЛИЯ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЛЕКАРСТВЕННОГО БАЗИДИОМИЦЕТА *LENTINULA EDODES* С ОЦЕНКОЙ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТАБОЛИЗМА В ПРОЦЕССЕ ОНТОГЕНЕЗА

Ветчинкина Е.П.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ СНИЦ РАН, Саратов

Онтогенез базидиальных макромицетов, смена форм и стадий развития – это многоуровневый динамичный процесс, происходящий на внутриклеточном и межклеточном уровне в процессе жизненного цикла или под воздействием различных внешних факторов, предполагающий молекулярно-генетические, физиологические, ультраструктурные изменения и клеточную дифференцировку. В какой момент происходит инициация образования морфогенных структур, чем она обусловлена, как меняется транскрипционный профиль и какие метаболические процессы активируются/репрессируются на разных стадиях онтогенеза, в вопросах, касающихся молекулярно-физиологических аспектов развития базидиальных грибов, остается много неясного. Для понимания регуляции механизмов онтогенеза и факторах, определяющих формирование морфоструктур макромицетов, необходимы исследования транскрипционной активности генов, связанных с процессами роста и морфообразования, сравнительный анализ метаболических путей и функциональных категорий в процессе жизненного цикла, выявление специфичных генов и белков-маркеров морфогенетических процессов. Развитие методов высокопроизводительного секвенирования перевело исследования транскриптомов организмов на новый уровень, позволяя получать большой массив информации о профиле экспрессии всех генов, что формирует базу данных для масштабной характеристики метаболизма.

Цель исследования – сравнительный анализ транскриптомов вегетативного мицелия, мицелиальной пленки, примордия и плодового тела *L. edodes*, для получения новых данных об особенностях метаболизма лекарственного макромицета в процессе онтогенеза.

Материалы и методы исследования. В работе использовали культуру *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, для прохождения всех стадий онтогенеза, базидиомицет выращивали интенсивным способом на древесном субстрате, наиболее приближенным к естественным условиям [1]. На базе лаборатории экстремальной биологии КФУ и лаборатории молекулярной биологии КИББ КазНЦ РАН, г. Казань было проведено секвенирование транскриптомов базидиомицета на разных стадиях онтогенеза. Выделение РНК проводили с помощью реагента ExtractRNA (Евроген, Москва) согласно протоколу производителя. После обработки тотальной РНК ДНКазой Turbo (ThermoFisher Scientific, США) использовали для синтеза кДНК-библиотек с помощью набора TruSeq RNA v2 (Illumina, США). Определение нуклеотидных последовательностей библиотек кДНК проводили на платформе Illumina HiSeq 2500. Контроль качества ридов, полученных в ходе секвенирования, проводили с помощью программ FastQC, Trimmomatic, SortMeRNA и Trim Galore [2]. Был разработан алгоритм для транскриптомного профилирования немодельных организмов, который подразумевает использование программ и скриптов, для проведения полного цикла анализа: от селекции исходных нуклеотидных последовательностей кДНК до функциональной классификации дифференциально экспрессирующихся генов (ДЭГ) и визуализации активируемых/репрессируемых

метаболических путей. Авторский скрипт, написанный на языке программирования R и содержащий подробное описание, находится в свободном доступе (https://github.com/RimGubaev/path_annotation). Для классификации по метаболическим путям ДЭГ *L. edodes* и визуализации активируемых/репрессируемых категорий использовали базу данных Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG).

Результаты и обсуждение. Объект нашего исследования, ксилотрофный макромицет *L. edodes*, ценится как высококачественный съедобный и лекарственный гриб. Из мицелия и плодовых тел данной культуры было выделено большое количество биологически активных и лекарственных веществ, на основе которых произведен и запатентован ряд высокоэффективных медицинских препаратов, с высоким терапевтическим эффектом и не оказывающих токсического действия на организм человека [3–5]. В процессе онтогенеза *L. edodes* последовательно образует несколько характерных стадий: вегетативный непигментированный мицелий (НМ), характеризующийся активным ростом, пролиферацией, ветвлением, растяжением гиф, освоением субстрата. На следующем этапе развития гифы мицелия расположенные на поверхности субстрата приобретают пигментацию, плотно скрепляются между собой, уплотняются, их клеточная стенка сильно утолщается, таким образом, формируется коричневая мицелиальная пленка (КМП), структура, характерная для многих макромицетов, обязательное образование которой у *L. edodes*, предшествует плодоношению. В дальнейшем, под поверхностью мицелиальной пленки, закладываются примордии (ПР), которые формируются в плодовые тела (ПТ) [1].

В настоящем исследовании проведен сравнительный анализ транскриптомов вегетативного мицелия и генеративных образований *L. edodes* с оценкой особенностей метаболизма грибных клеток данных мицелиальных структур. По результатам которого, на транскрипционном уровне были выявлены различия стадий онтогенеза в целом ряде физиологических процессов (рис.1).

Было установлено, что метаболические пути, ответственные за хранение, передачу и реализацию генетической информации, на стадиях КМП и ПР, по сравнению с вегетативным НМ, насыщены в основном репрессируемыми генами. В репрессии находились общие факторы транскрипции, системы распознавания и устранения ошибок, возникающих в процессе репликации и рекомбинации ДНК, метаболизм пуринов и пиримидинов, процесс транспорта РНК, РНК-полимеразы, функционирование рибосом и сплайсосом. Надо отметить, что хотя и наблюдается замедление данных процессов, однако подавляющее число генов дифференциально не экспрессируются (нДЭГ) относительно НМ, поскольку эти процессы происходят в клетках постоянно и необходимы на протяжении всего жизненного цикла организмов. Функциональные категории насыщенные активными генами на данных стадиях онтогенеза были мейоз, транслоказы, транспортная РНК, путь наблюдения за мРНК, одноуглеродный метаболизм фолатов. В клетках ПТ практически все категории, ответственные за хранение, передачу и реализацию генетической ин-

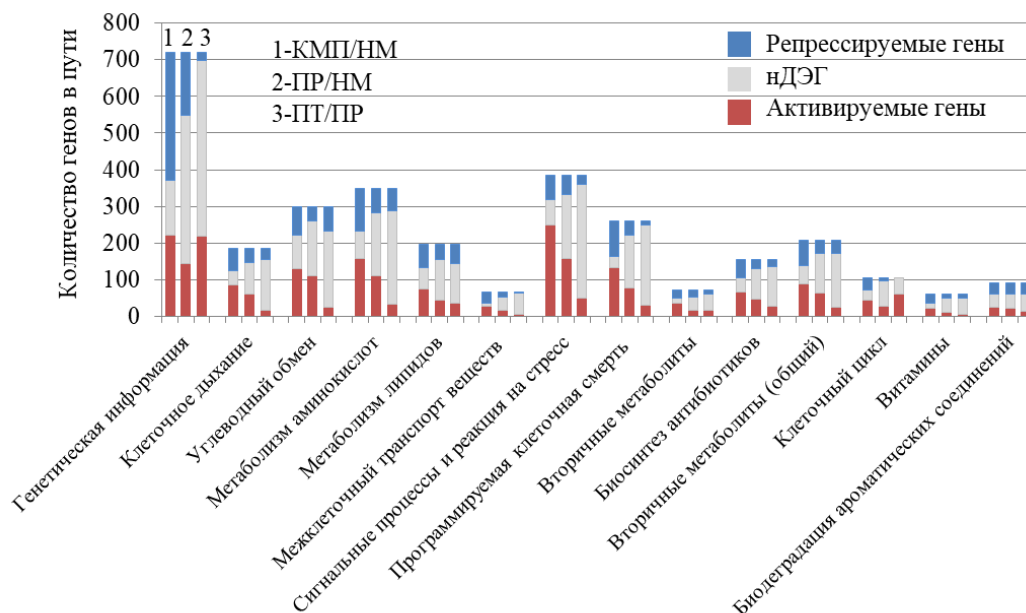


Рисунок 1. Общий анализ активации/репрессии функциональных групп генов в процессе онтогенеза базидиомицета *L. edodes* с использованием базы данных KEGG.

формации, представлены активированными генами, поскольку в базидиях ПТ происходит половой процесс, рекомбинация генетического материала. Также, большое количество генов ПТ нДЭГ относительно ПР, что указывает на схожесть метаболизма данных морфоструктур.

Функциональные категории, попадающие под определение «клеточное дыхание» напротив представлены в основном активированными генами на стадиях КМП и ПР относительно НМ. Активирован гликолиз/глюконеогенез, метаболический путь 2-оксокарбоновых кислот, метаболизм пирувата, ЦТК, глиоксилатный цикл; окислительное фосфорилирование находилось в репрессии. В клетках ПТ гены данных метаболических путей в основном нДЭГ, либо находились в репрессии.

Совокупность биохимических процессов происходящих в клетках живых организмов, отвечающих за метаболическое образование, расщепление и взаимопревращение углеводов, попадает под определение «углеводный обмен». Практически все категории, связанные с метаболизмом углеводов в клетках КМП и ПР относительно НМ, насыщены транскриптами активированных генов. Активирован метаболизм углерода, аминокислот и нуклеотидов, крахмала и сахарозы, фруктозы, галактозы и маннозы, гликолиз/глюконеогенез, распад гликозаминогликанов, биосинтез N- и O-гликанов, пентозофосфатный путь. В ПТ практически все категории находились в репрессии, либо нДЭГ. Исключение представлено активированной категорией метаболизма нуклеотидных и аминокислот.

На стадии КМП и в ПР по сравнению с НМ, функциональные категории, связанные с биосинтезом и метаболизмом аминокислот, представлены в основном активированными генами. За небольшим исключением, метаболизм серосодержащих кислот цистеина и метионина, а также гистидина, лизина и триптофана находились в репрессии. В клетках ПТ в сравнении с ПР биосинтез и метаболизм аминокислот в основном находится в репрессии.

Базидиомицеты содержат различный набор липидов, включая жирные кислоты, оксипирины, сфинголипиды, фосфолипиды, гликолипиды и стерин. В функциональных категориях «биосинтез и метаболизм

липидов», прослеживаются изменения в биосинтезе, деградации и элонгации жирных кислот, важных источников метаболической энергии и строительных блоков мембранных липидов. В категориях метаболизм глицеролипидов и глицерофосфолипидов на всех стадиях онтогенеза *L. edodes* большее количество генов находятся в активированном состоянии, что говорит о важности данных биомолекул и в широком спектре процессов, в которых они участвуют. Одна из отличительных групп липидов, сфинголипиды, которые играют множество важных сигнальных ролей в грибах, а также пероксисомы – мембраносвязанные окислительные органеллы, которым принадлежит ключевая роль в липидном обмене, в ПР и ПТ находились в репрессии, в КМП напротив данные категории были насыщены активированными генами.

Функциональная категория «клеточный цикл» на всех стадиях онтогенеза насыщена активированными генами, большое количество генов нДЭГ относительно НМ, что указывает на сходство в данных процессах на всех стадиях развития базидиомицета.

Было установлено, что по сравнению с НМ в КМП, ПР и ПТ активируются пути, ответственные за сигнальные процессы и реакцию на стрессовые раздражители. Активирована категория АМФК, регулирующая энергетический гомеостаз, являющаяся ключевым элементом в различных путях передачи сигналов, регулировании роста и перепрограммировании метаболизма, аутофагии, клеточной поляриности и ориентации в пространстве, в клеточном старении. Происходит значительная активация путей, связанных с МАРК, которые регулируют такие функции клеток как дифференцировка, выживаемость, участвуют в управлении клеточного ответа и адаптации на стрессовые раздражители, ответственные за инициацию процесса полового размножения. Метаболические пути, связанные с передачей сигналов, сопряженных с G-белками, с ионами кальция Ca^{2+} , с вторичными мессенджерами, такими как циклический гуанозинмонофосфат, сфинголипидами, находились в активации.

На генеративных стадиях онтогенеза, в ПР и ПТ, а также в КМП, относительно НМ наблюдается активация категорий, отвечающих за программируемую кле-

точную смерть. Метаболические пути, связанные с механизмом аутофагии, процессами клеточного старения, ферроптоза, ответственные за работу лизосом, также селективного разрушения митохондрий (митофагия), находились на генеративных стадиях развития базидиомицета в активации.

Практически все функциональные категории, отвечающие за биосинтез витаминов, на всех стадиях онтогенеза относительно НМ находятся в репрессии. Также как и метаболические пути, относящиеся к биодegradации ароматических соединений и ксенобиотиков, особенно характерно это для ПТ. Категории, относящиеся к биосинтезу вторичных метаболитов, включающие биосинтез алкалоидов, антибиотиков, стероидов, терпеноидов, а также метаболический путь «меланогенз» были насыщены транскриптами активированных генов в КМП. В клетках ПР, относительно НМ, активированными были категории общего биосинтеза вторичных метаболитов, антибиотиков и пигментов. В ПТ большинство генов нДЭГ или находились в репрессии, относительно ПР; биосинтез антибиотиков, стероидов и терпеноидов находился в активации в ПТ.

Таким образом, сравнительный анализ транскриптомов вегетативного мицелия и генеративных структур позволил установить различия в профиле экспрессии групп генов, входящих в целый ряд функциональных категорий и охарактеризовать особенности физиологических процессов, связанных с перестройкой метаболических путей в грибных клетках в процессе онтогенеза базидиомицета *L. edodes*.

Список литературы

1. Vetchinkina E.P., Gorshkov V.Yu., Ageeva M.V. Gogolev Yu.V., Nikitina V.E. Activity and expression of the laccase, tyrosinase, glucanase and chitinase genes in the morphogenesis of *Lentinus edodes*. *Microbiology*. 2015. V. 84. P. 78–89.
 2. Gubaev R.F., Gorshkov V.Yu., Gapa L.M., Gogoleva N.E., Vetchinkina E.P., Gogolev Yu.V. Algorithm for physiological interpretation of transcriptome profiling data for non-model organisms. *Mol. Biol.* 2018. V. 52. P. 497–509.
 3. Wasser S.P. Medicinal Mushroom Science: Current Perspectives, Advances, Evidences, and Challenges. *Biomed. J.* 2014. V. 37. P. 345–356.
 4. Vetchinkina E.P., Shirokov A.A., Bucharskaya A.B., Navolokin N.A., Prilepskii A.Yu., Burov A.M., Maslyakova G.N., Nikitina V.E. Anti-tumor activity of extracts from medicinal Basidiomycetes. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2016. V. 18. P. 955–964.
 5. Vetchinkina E., Fomin A., Navolokin N., Shirokov A. Proteins and polysaccharides of medicinal basidiomycete *Lentinus edodes* vegetative mycelium and fruiting bodies display cytotoxicity towards human and animal cancer cell lines. *Int. J. Biol. Macromol.* 2022. V. 195. P. 398–411.
-

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Current Mycology in Russia

Том 11

Volume 11

Выпуск 2.

Грибы в антропоценозах

Issue 2.

Fungi in human habitats

Глава 4.

**Грибы в антропоценозах.
Вопросы экологии**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.04

Chapter 4.

**Fungal ecology and problems
of fungi in human habitat**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.04

Глава 5.

Грибы-биодеструкторы

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.05

Chapter 5.

Fungi as destructors

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.05

Содержание выпуска 2

Глава 4. Грибы в антропоценозах. Вопросы экологии

СОХРАНЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ В НЕСТЕРИЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВАХ Борисова Н.А., Гунар О.В., Рощина М.В., Алексеева А.С.	60
НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ <i>XYLOTROPHS</i> В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ» Брыков Г.М., Луговской А.М.	61
ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ, РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ДРЕНАЖА НА БИОМАССУ ГРИБОВ И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОМИЦЕТОВОКУЛЬТУРНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ Данилова-Данильян Е.М., Никитин Д.А., Семенов М.В., Иванова Е.А., Ксенофонтова Н.А., Тхакахова А.К., Кутовая О.В.	62
ОЦЕНКА МИКОБИОТЫ ВОЗДУХА НЕКОТОРЫХ ПОМЕЩЕНИЙ КАДЖАРАНСКОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА (РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ) Элоян И.М., Матевосян Р.Э., Погосян А.В., Нанаголян С.Г.	64
УДАЛЕНИЕ АМИДНЫХ ГЕРБИЦИДОВ И СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИТНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ БИОУГЛЯ И МИЦЕЛИЯ ГРИБА БЕЛОЙ ГНИЛИ <i>TRAMETES HIRSUTA</i> Лукин А.С., Савинова О.С., Федорова Т.В.	65
ПЫЛЬ И МИКРОМИЦЕТЫ В КНИГОХРАНИЛИЩАХ БИБЛИОТЕК Мамаева Н.Ю., Великова Т.Д.	66
ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРИБОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ Мурадов П.З., Бахшалиева К.Ф., Кулибеков Ф.М., Юсифова М.Р., Омар П.М., Мамедова М.Я., Нагиева Р.З., Абдуллаева С.А.	70
АНТРОПОГЕННО ПРИВНЕСЕННАЯ ДРЕВЕСИНА ОСТРОВА ВИЗЕ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ Панькова И.Г., Кирцидели И.Ю., Ильюшин В.А., Власов Д.Ю.	70
САНИТАРНО-ЗНАЧИМЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ В ПОЧВАХ ГОРОДОВ РАЗНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН. К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ МИКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ. Панова Т.А., Иванова А.Е., Широан М.М.	71
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА МИКРОМИЦЕТЫ И ИХ ЖИЗНЕСПОСОБНЫЕ НЕКУЛЬТИВИРУЕМЫЕ ФОРМЫ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ Шакурова Л.В., Белякова Ю.С., Колбецкая Е.А., Валитова Р.К., Блинкова Л.П., Абдуллаева А.М.	73
ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ РЕМЕДИАНТОВ НА МИКОБИОТУ ПОЧВ Терехова В.А., Сергеева Ю.Д., Федосеева Е.В., Волкова В.Д., Панова М.И., Якименко О.С.	74
ОТЛИЧИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВА МИКОБИОТЫ ПЫЛЕВЫХ СЕДИМЕНТОВ, ОТБИРАЕМЫХ МЕТОДАМИ КОМПРЕССОРА И СМЕТОВ, В РЯДЕ ГОРОДОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ИЗ РАЗНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН Валяев Д.А., Иванова А.Е., Садыков А.Н.	76
МИКРОМИЦЕТНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ (РЕСПУБЛИКА КОМИ) Виноградова Ю.А., Перминова Е.М., Ковалева В.А., Лаптева Е.М.	78
МИКРОМИЦЕТЫ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ Жуковская Л.А., Семашко Т.В., Васильев А.Л., Зубарь В.А.	79

Глава 5. Грибы–биодеструкторы

ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ В ГЕРМОЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ОТ БИОКОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Алехова Т.А., Загустина Н.А., Башаров А.А., Александрова А.В.	80
ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ К БИОДЕСТРУКЦИИ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ ГРИБОМ <i>IODORHANUS</i> SP, ИЗОЛИРОВАННЫМ С ИКОНЫ «ДЕИСУСНЫЙ ЧИН ИЗ 13 ФИГУР» В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТРЕТЬЯКОВСКОЙ ГАЛЕРЕЕ Авданина Д.А., Ермолюк А.А., Башкирова К.Я., Воробьева О.Б., Троян Е.Б., Шитов М.В., Жгун А.А.	81
ИЗУЧЕНИЕ АНТИБИОТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ, ИЗОЛИРОВАННЫХ С ПРОИЗВЕДЕНИЙ ЖИВОПИСИ В ХРАМЕ XIX В. СВЕТОЛОГО ХРИСТОВА ВОСКРЕСЕНИЯ Жгун А.А., Башкирова К.Я., Жгун Е.С., Ермолюк А.А., Васильева Б.Ф., Демьянкова М.В., Ефременкова О.В., Авданина Д.А.	83
РАЗРАБОТКА НОВЫХ АНТИСЕПТИКОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ЖИВОПИСИ ОТ ГРИБОВ-ДЕСТРУКТОРОВ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТРЕТЬЯКОВСКОЙ ГАЛЕРЕЕ Бенько Е.Е., Авданина Д.А., Ермолюк А.А., Лопатин С.А., Ежова А.М., Варламов В.П., Жгун А.А.	85
ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ БИООБРАСТАНИЯ Дешева Е.А., Печеркин В.Я., Василяк Л.М.	87
ДЕГРАДАЦИЯ БИОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДАС АНТИМИКРОБНЫМИ ДОБАВКАМИ Иванушкина Н.Е., Кочкина Г.А., Алексанян К.В.	88
ВИДОВАЯ СТРУКТУРА И РЕЗИСТЕНТНОСТЬ СООБЩЕСТВ ГРИБОВ-МИКРОМИЦЕТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОЧАГОВ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ Халдеева Е.В.	89
ОКИСЛЕНИЕ ДО ФОСФАТА КРАСНОГО ФОСФОРА КУЛЬТУРОЙ <i>ASPERGILLUS NIGER</i> F-4815D Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Ахбарова Л.И., Гоголашвили Э.Л., Галимова А.Р.	92

ГРИБЫ – ДЕСТРУКТОРЫ БИОПОЛИМЕРОВ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН	
Прудникова С.В., Евграфова С.Ю.	93
ПРИМЕНИМОСТЬ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ РАЗВИТИЯ МИКРОМИЦЕТОВ НА ДОКУМЕНТАХ ПО СВЕЧЕНИЮ КОЛОНИЙ В БЛИЖНЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ	
Ребрикова Н.Л.	95
МЕХАНИЗМЫ ДЕСТРУКЦИИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ ГРИБАМИ БЕЛОЙ ГНИЛИ	
Шаббаев А.В., Федорова Т.В.	97
ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОМИЦЕТОВ К БИОЦИДНЫМ ПРЕПАРАТАМ НА МОДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ СТАНКОВОЙ ЖИВОПИСИ	
Шегурова А.Ф., Курбатова И.В., Кравченко Е.С., Автономова А.В.	97
БИОПОРАЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ПОЧВЕННЫМИ МИКРОМИЦЕТАМИ	
Тертышная Ю.В., Позднякова Н.Н.	100
ГРИБЫ НА МАТЕРИАЛАХ И КОНСТРУКЦИЯХ ВОЛОГОДСКОГО КРЕМЛЯ	
Власов А.Д., Зеленская М.С., Власов Д.Ю.	102
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ГРИБОВ-ДЕСТРУКТОРОВ ТЕМПЕРНОЙ ЖИВОПИСИ, ИЗОЛИРОВАННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТРЕТЬЯКОВСКОЙ ГАЛЕРЕЕ	
Жгун А.А., Ермолюк А.А., Коблов Ф.С., Авданина Д.А., Васильева Б.Ф., Демьянкова М.В., Ефременкова О.В.	103

Глава 4

Грибы в антропоценозах. Вопросы экологии

10.14427/cmr.2025.xi.04

СОХРАНЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ
В НЕСТЕРИЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВАХБорисова Н.А., Гунар О.В., Рощина М.В., Алексеева А.С.
НЦ экспертизы средств медицинского применения МЗ РФ, Москва

Качество нестерильных лекарственных средств (НЛС) гарантируют производители и проверяют препараты на соответствие требованиям, установленным нормативной документацией в соответствии с Государственной фармакопеей Российской Федерации (ГФ РФ) и фармакопеей Евразийского экономического союза (ФЕАЭС) [1, 2]. Выявленные несоответствия требованиям нормативной документации на стадии регистрации позволили ограничить выход некачественных лекарственных препаратов (ЛП) на рынок стран ЕАЭС и РФ.

За период 2017-2024 гг. Испытательным центром экспертизы качества лекарственных средств установлено, что 16% ЛП, признанных несоответствующими требованиям нормативной документации по показателю «Микробиологическая чистота», были загрязнены плесневыми грибами (рис. 1).

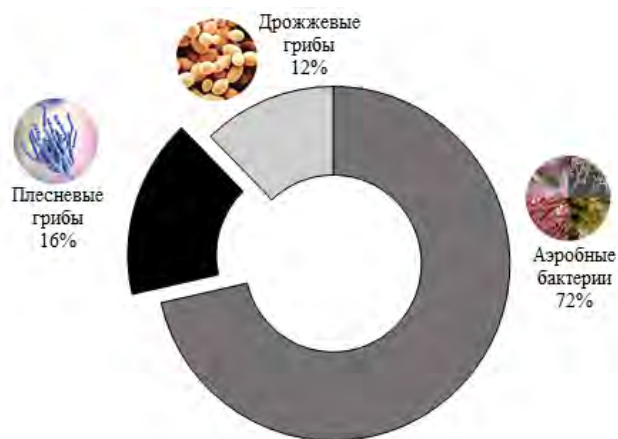


Рисунок 1. Микроорганизмы-контаминанты НЛС за период 2017-2024 гг.

За последние два десятилетия значительно возросла частота системных микозов, связанных с применением иммунотерапии при онкологических и гематологических заболеваниях, распространением ВИЧ-инфекций, лечением пациентов глюкокортикоидами, а также продолжительным и неконтролируемым использованием ЛП, содержащих антибиотики. У людей с иммунодефицитом контакт со спорами плесневых грибов может привести к развитию глубоких (системных) микозов, таких как аспергиллез, пенициллез, зигомикоз, грибковый менингит [3].

По европейским данным частота инвазивного аспергиллеза среди онкогематологических больных и реципиентов костного мозга составляет 4,7 - 13,1 %, летальность – 27 - 72,4 %. Согласно международным ис-

следованиям частота инвазивных микозов у больных с лимфопролиферативными заболеваниями составляет от 3,0 до 21,6 % [4]. С началом пандемии COVID-19 в мире увеличилось количество коинфекций и смертность, вызванные возбудителями инвазивных плесневых микозов (*Aspergillus spp.*, *Mucorales*). Микромицеты могут быть источником аллергенов, вызывая аллергический ринит, астму и атопический дерматит [5 - 7].

Цель работы – изучить выживаемость грибов рода *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, обнаруженных в лекарственных препаратах, в течение 6 месяцев хранения.

Материалы и методы. В работе использовано 2 серии лекарственных препаратов с контаминацией плесневыми грибами. Лекарственная форма – капсулы, относящиеся к категории 3А [1, 2].

Международное непатентованное название ЛП-1 – Эзетимиб, ЛП-2 – Сунитиниб. Указанные лекарственные препараты являются рецептурными и могут быть применены пациентами с иммунодефицитом.

Количественное определение плесневых грибов проводили модифицированным глубинным чашечным агаровым методом. В асептических условиях ламинарного шкафа вносили по 1 мл лекарственного препарата, растворенного в нейтрализующей жидкости в разведении 1:10 (Эзетимиб) или 1:50 (Сунитиниб), в 2 стерильные чашки Петри диаметром 90 мм. Чашки заливали 10 мл расплавленного и охлажденного до $42,5 \pm 2,5$ °C агаром Сабуро с глюкозой и хлорамфениколом и перемешивали вращательными движениями. После полного застывания питательной среды чашки помещали в термостат и инкубировали при температуре $22,5 \pm 2,5$ °C. Наблюдение проводили ежедневно, просматривая чашки Петри в проходящем свете, и фиксировали рост микроорганизмов. Окончательный учет результатов проводили через 5 суток.

Обсуждение результатов. В результате исследования было выявлено, что изучаемые образцы не соответствуют требованиям, предъявляемым к ЛП, по содержанию плесневых грибов. Согласно ГФ РФ и ФЕАЭС для препаратов, относящихся к категории 3А, общее количество дрожжевых и плесневых грибов – не более 10^2 КОЕ/г (мл), коэффициент приемлемости 2. Обнаружено превышение нормы в 1,6 – 2,8 раз (рис. 2), по результатам микроскопического исследования установлено, что препараты контаминированы грибами *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*

Как видно на рис. 2, количество плесневых грибов, содержащихся в лекарственных препаратах, увеличилось на 10 % после 6 месяцев хранения, что может быть связано с вариабельностью микробиологических исследований. Микробиологическому анализу присуще

большое количество неконтролируемых переменных, возникающих из-за многообразия, присущего живым системам, что приводит к увеличению экспериментальной сложности и снижению их точности [8]. Согласно ОФС.1.1.0021.18 ГФ РФ процент восстановления микроорганизмов должен быть не менее 70 %, то есть допустимая погрешность до 30 % [9].

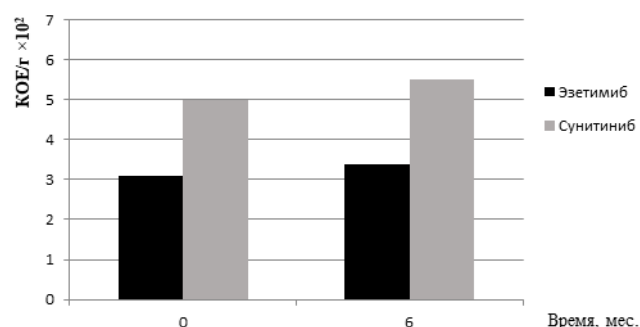


Рисунок 2. Содержание грибов в лекарственном препарате исходно и через 6 месяцев хранения.

В ЛП Сунитиниб выявлен рост одноклеточных плесневых грибов, относящихся к *Penicillium spp.*, в препарате Эзетимиб – 2 рода плесневых грибов (рис. 3).



Сунитиниб

Эзетимиб

Рисунок 3. Выявленные плесневые грибы-контаминанты ЛП.

Заключение. В ходе исследования было установлено, что в течение 6 месяцев хранения контаминированных лекарственных препаратов, количественное содержание плесневых грибов, относящихся к *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, сохраняется.

Список литературы

1. Государственная фармакопея Российской Федерации XV изд., Научный центр экспертизы средств медицинского применения, Москва. 2023.
2. Фармакопея Евразийского экономического союза. 2021.
3. Mei-Sheng Riley M. Invasive Fungal Infections Among Immunocompromised Patients in Critical Care Settings: Infection Prevention Risk Mitigation. Critical Care Nursing Clinics of North America Journal. 2021. Vol. 33 (4). P. 395-405.
4. Чудиновских Ю.А. Особенности диагностики и лечения В-клеточных лимфом, осложненных инвазивным аспергиллезом. Диссертации на соискание степени кандидата наук ВАК РФ 14.01.12. 2021. 156 с.
5. Koehler P, Cornely O.A., Böttiger B.W. et al. COVID-19 associated pulmonary aspergillosis. Mycoses. 2020. Vol.63. P.528–34.
6. Alanio A., Dellièrè S., Fodil S. Prevalence of putative invasive pulmonary aspergillosis in critically ill patients with COVID-19. Lancet Respir Med. 2020. Vol.8. P.48–9.
7. Falces-Romero I., Ruiz-Bastián M., Díaz-Pollán B. et al. SARS-CoV-2 Working Group. Isolation of Aspergillus spp. in respiratory samples of patients with COVID-19 in a Spanish Tertiary Care Hospital. Mycoses. 2020. Vol.63. P.1144–8.
8. [Электронный ресурс] <https://microchemlab.com/information/variability-antimicrobial-testing/>.
9. ОФС.1.1.0021.18 «Валидация микробиологических методов». ГФ РФ XIV изд., Научный центр экспертизы средств медицинского применения, Москва (2018), сс. 423-443.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ХУЛОТРОФОВ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ»

Брыков Г.М., Луговской А.М.

Российский государственный социальный университет, Москва

Одними из самых распространенных грибов, встречающихся в лесопарках города Москвы, являются деструктивные грибы трутовики.

Их участие в биологическом круговороте веществ в качестве разрушителей древесины, очистителей леса, источников для получения лекарств и биопрепаратов, биосорбентов делает необходимым оценку содержания в их плодовых телах токсичных соединений, роли грибов в миграции поллютантов, в том числе тяжелых металлов для предупреждения патологических изменений в живых организмах [2,5].

Целью наших исследований явилась оценка видоспецифической особенности содержания тяжелых металлов в плодовых телах ксилотрофов, развивающихся в сходных экологических условиях

Эколого-геохимические исследования проводили в лесной экосистеме НП «Лосиный остров», расположенной вблизи района «Метрогородок» города Москвы, на торфянисто-подзолистой глеевой почве на 3^{-х} площад-

ках размером 25 x 25 м, в биотопах представленных березовой рощей, смешанным лесом с преобладанием березы повислой и сосны обыкновенной, лиственничным лесом с преобладанием березы повислой и дуба черешчатого (рисунок 1) [1, 2, 3].

Видовую идентификацию образцов проводили по стандартным определителям [4]. Актуальные названия видов в работе приведены в соответствии с базой Index Fungorum на октябрь 2024 года [7].

В плодовых телах грибов, определяли содержание наиболее типичных для города Москвы загрязнителей – тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd). Определение тяжелых металлов выполнено атомно-абсорбционным методом на спектрометре Agilent 240 AA/КВАНТ.З.

Всего было собрано 36 образцов грибов, относящихся к 4 видам – *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma applanatum*, *Phellinus robustus*



Рисунок 1. Участки исследования и источники загрязнения.

В результате исследований выявлено, что главным фактором, определяющим величину и избирательный характер накопления тяжелых металлов в первую очередь является комплекс биологических особенностей представителей разных видов. Содержание тяжелых металлов варьировало по Zn – в пределах 7,6-113,2 мг/кг сухой массы; Pb – 0,15-1,75; Cu 1,76-31,63; Cd – 0,06-1,60; Ni – 0,08-2,38.

Максимальное суммарное накопление токсикантов характерно для *Ganoderma applanatum*, а суммарное превышение минимальных значений – для *Phellinus robustus*.

Повышенное доленое участие Cu, Ni, Pb, Cd в общем содержании элементов выявлено в плодовых телах *Phellinus robustus*. Остальные изучаемые виды трутовиков характеризовались значительной долей Zn (74,6 – 93,7%).

Для большинства видов изучаемых грибов установлено синергическое воздействие меди на поступление Pb, Cd, Zn, Ni. Антагонизм характерен для таких пар элементов как Pb и Cd и Ni и Pb.

Гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов в плодовых телах грибов (из рассматриваемых нами элементов в грибах в РФ официально нормируется содержание Cd, Pb, Zn и Cu) показывает, что наибольшим суммарным превышением ПДК по изучаемым элементам характеризуются *Ganoderma applanatum* и *Phellinus robustus* (таблица 1) [6].

Таблица 1. Превышения ПДК нормируемых элементов в плодовых телах грибов трутовиков.

Элемент/ Вид гриба	Cd	Pb	Zn	Cu	Zc
<i>Fomes fomentarius</i> (Трутовик настоящий)	2,37	1,07	2,75	1,07	7,25
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Трутовик окаймленный)	2,13	1,11	3,62	0,29	7,15
<i>Ganoderma applanatum</i> (Трутовик плоский)	11,83	1,42	3,03	1,82	18,10
(Трутовик дубовый)	7,40	2,67	0,59	2,86	13,52
ПДК	0,1	0,5	20	10	

При этом максимальные уровни превышения ПДК обнаружены по кадмию в *Ganoderma applanatum*, по свинцу и меди – в *Phellinus robustus*, по цинку – в *Fomitopsis pinicola*.

В качестве биоиндикаторов загрязнения среды тяжелыми металлами могут быть рекомендованы следующие виды: *Ganoderma applanatum* – Cd, *Phellinus robustus* – Pb и Cu, *Fomitopsis pinicola* – Zn.

Список литературы

1. Дунаев Е. А., 1999. Деревянистые растения Подмосковья в осенне-зимний период: методы экологических исследований. – М.: МГСЮН, 232 с.

2. Иванов А.И., Костычев А.А., Скобанев А.В. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомамимакромиицетов различных экологотрофических и таксономических групп. Поволжский экологический журнал. – 2008. №3. – С. 190 – 199.

3. Мучник Е.Э., Каплина Н.Ф., Кулакова Н.Ю., Селочник Н.Н., Ермолова Л.С. Методология оценки и прогноза состояния дубрав в условиях антропогенных воздействий (на примере московского региона). Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2014. №6 (106).

4. Переведенцева Л.Г. Микология: Грибы и грибоподобные организмы / Л.Г. Переведенцева – Перм. гос. ун-т – Пермь, 2009. – 41 с.

5. Сафонов Максим Анатольевич, Шамраев Александр Владимирович, Дволучанская Юлия Вячеславовна, Башкатова Елена Владимировна Накопление тяжелых металлов в системе «Почва-дерево-гриб» в Южном Приуралье. Вестник ОГУ. 2013. №6 (155).

6. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 23 июня 2023 года): дата введения 2011-12-09 / Технический регламент Таможенного союза [Электронный адрес]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?marker=7D20K3> (дата обращения: 05.03.2025)/

7. Index Fungorum [Электронный ресурс]. URL: <http://www.index fungorum.org>.

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ, РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ДРЕНАЖА НА БИОМАССУ ГРИБОВ И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОМИЦЕТОВ ОКУЛЬТУРЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Данилова-Данильян Е.М., Никитин Д.А., Семенов М.В., Иванова Е.А., Ксенофонтова Н.А., Тхакахова А.К., Кутовая О.В.
Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва

Микроорганизмы играют существенную роль в плодородии почвы, определяя направленность и интенсивность биогеохимических циклов, а также участвуя в питании растений и трансформации ПОВ (Семенов, Когут, 2015; Семенов и др., 2023). Показатели структуры микробной биомассы быстро и чутко реагируют на смену землепользования, внесение удобрений, тип севооборота и увлажнение, а также лю-

бые изменения ПОВ (Семенов и др., 2023; Никитин и др., 2023). Численность и таксономическая структура почвенных микроорганизмов также могут служить индикатором применения тех или иных агроприемов на сельскохозяйственных полях. Микроскопические грибы составляют большую часть $S_{мик}$ (Полянская и др., 2020) и во многом определяют здоровье растений и почвы, а деятельность сапротрофных микроскопических

грибов может приводить к увеличению плодородия. На сегодняшний день существуют противоречивые данные о влиянии различных типов удобрений, севооборотов и дренажа на численность микромицетов в почве, поэтому данная информация требует уточнения в условиях конкретных типов и способов сельскохозяйственного использования почв.

Цель работы – оценка структуры микробной биомассы, численности и таксономического разнообразия микроскопических грибов в окультуренных дерново-подзолистых почвах Тверской области для вариантов с различными сельскохозяйственными культурами при наличии/отсутствии минеральных удобрений и дренажа.

Исследования проводили на опытных полях Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ, Тверская область, Калининский район (56°46'29" N, 36°05'22" E) на дерново-подзолистой легкосуглинистой глееватой, хорошо окультуренной почве. Исследованы варианты с выращиванием озимой пшеницы с подсевом клевера, клевера 1-го года использования, и картофеля. Схема опыта предусматривала варианты без удобрений и с внесением высоких доз минеральных удобрений (под озимую пшеницу – N90P90K90, под картофель – КМН 10 т/га + N70K180 под клевер – KCl-60), а также варианты с дренажом и без дренажа.

Структуру биомассы грибов характеризовали методом люминесцентной микроскопии с флуоресцентным красителем калькофлуор белый на микроскопе «Биомед 5 ПР ЛЮМ». Микробиологический посев осуществляли на среду Чапека.

Биомасса грибов минимальна (197 и 199 мкг/г почвы) в вариантах удобренных полей картофеля с дренажом и в неудобренных полях озимой пшеницы с клевером и с дренажом, а максимальна (789 мкг/г почвы) – в неудобренных полях озимой пшеницы с клевером без дренажа. Длина грибного мицелия также значительно варьировала: максимальные значения (499,1 м/г почвы) были характерны для неудобренных полей озимой пшеницы с клевером без дренажа, а минимальные (68,5 м/г почвы) – для аналогичных полей с дренажом. Это подтверждает отрицательное влияние дренажа на накопление грибного мицелия. Доля мицелия в биомассе грибов варьировала в широких пределах – от 55% в неудобренных полях клевера без дренажа до 95% в неудобренных полях картофеля с дренажом.

Наименьшие значения численности колоний микромицетов обнаружили под клевером на полях без дренажа (4.38–4.45 lgКОЕ/г почвы). Максимальные – под картофелем с удобрениями без дренажа (5.28 lgКОЕ/г почвы). Численность микромицетов в почвах залежи приближается к максимальным показателям – 4.9 lgКОЕ/г почвы. Таким образом, численность микромицетов зависит не только от наличия/отсутствия удобрений, но и от типа сельскохозяйственной культуры.

Из исследованных почв выделено 24 видов микромицетов, относящихся к 18 родам из 2 отделов. Поля картофеля без удобрений и без дренажа характеризовались минимальным числом видов – 2, в то время на полях картофеля с удобрениями без дренажа обнаружено 13 видов. Из большинства образцов выявлено по 7–9 видов. Отдел *Mucoromycota* представлен родами *Mortierella*, *Mucor* и *Zygorhynchus*. Отдел *Ascomycota* – 15 анаморфными родами (*Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cadophora*, *Cladosporium*,

Clonostachys, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Monilia*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Phoma*, *Trichoderma*, *Verticillium*).

Ученные микромицеты относились к различным эколого-трофическим группам. Так, сапротрофные микромицеты обнаружены во всех образцах и представлены типичными почвенными родами (Domsch, 2007; Seifert, Gams, 2011) – *Acremonium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Mortierella*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Phoma*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Zygorhynchus*. Значительная часть сапротрофных видов (*Acremonium strictum*, *Mucor hiemalis*, *Paecilomyces lilacinus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. commune* и *Trichoderma harzianum*) входит в базу данных BSL патогенных для человека и животных видов (de Hoog et al., 2000). Среди выделенных микромицетов большинство (9 видов) являлись целлюлолитами – *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporium*, *Cladosporium herbarum*, *Clonostachys rosea*, *Trichoderma harzianum*, *Zygorhynchus moelleri*; 6 видов – фитопатогенами – *Acremonium strictum*, *Acremonium kiliense*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporium*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium poae*, *Fusarium solani*, *Phoma eupyrena*, *Verticillium albo-atrum*; только 3 вида – *Aureobasidium pullulans*, *Geotrichum candidum* и *Monilia polystroma* – являлись эпифитами и эккрисотрофами.

По численности и обилию доминировали фитопатогенные (*Cladosporium cladosporium*, *Clonostachys rosea*, *Fusarium solani*) и сапротрофные (*Mucor hiemalis*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. commune*, *P. chrysogenum*) роды. Доминанты отмечены преимущественно для вариантов полей с дренажом и без удобрений. В то же время были отмечены и редкие виды, чья встречаемость не превышала 5–7% – *Acremonium kiliense*, *Aspergillus flavus*, *Aureobasidium pullulans*, *Monilia polystroma*.

Таким образом показано, что все проанализированные факторы (вид сельскохозяйственной культуры, удобрения и дренаж) влияют на структуру биомассы грибов и таксономическое разнообразие микромицетов. Использование высоких доз минеральных удобрений в сочетании с дренажом приводило к снижению биомассы грибов и увеличению доли фитопатогенных микромицетов, что может оказать негативное влияние на углеродсеквестрирующую функцию почв и почвенное плодородие.

Работа выполнена в рамках госзадания FGUR-2025-0011 «Механизмы микробного преобразования секвестрированного углерода в почвах агроэкосистем».

Список литературы

1. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС. 2015. 233 с.
2. Семенов М.В., Ксенофонтова Н.А., Никитин Д.А., Тхакахова А.К., Лукин С.М. Микробиологические показатели дерново-подзолистой почвы и ее ризосферы в полувековом полевом опыте с применением разных систем удобрения. Почвоведение. 2023. № 6. С. 715–729. DOI: 10.31857/S0032180X22601220
3. Никитин Д.А., Семенов М.В., Ксенофонтова Н.А., Тхакахова А.К., Русакова И.В., Лукин С.М. Влияние внесения соломы на состояние микробиома дерново-подзолистой почвы. Почвоведение. 2023. № 5. С. 640–653. DOI: 10.31857/S0032180X22601189
4. Полянская Л.М., Юмаков Д.Д., Тюгай З.Н., Степанов А.Л. Соотношение грибов и бактерий в темногумусовой лесной почве. Почвоведение. 2020. № 9. С. 1094–1099. DOI: 10.31857/S0032180X20090129

ОЦЕНКА МИКОБИОТЫ ВОЗДУХА НЕКОТОРЫХ ПОМЕЩЕНИЙ
КАДЖАРАНСКОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА (РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ)

Элоян И.М.¹, Матевосян Р.Э.^{1,2}, Погосян А.В.^{1,2}, Нанагюлян С.Г.^{1,2}
¹ Ереванский государственный университет
² Институт биологии ЕрГУ, Ереван

Влияние различных типов антропогенных воздействий, таких как промышленные, строительные, транспортные загрязнения, приводят к увеличению числа потенциально опасных микроскопических грибов в окружающей среде [1; 2].

Изучение микобиоты воздуха помещений различного назначения в последние десятилетия приобретает все большую актуальность и является важнейшей составляющей комплексных исследований, направленных на решение проблемы по предотвращению воздействия неблагоприятных факторов на жизнедеятельность человека.

Каджаранский медно-молибденовый комбинат, является одним из ведущих горнодобывающих компаний по добыче молибдена и меди в Армении и входит в десятку крупнейших производителей молибдена в мире.

Выбросы комбината оказывают негативное воздействие на окружающую среду и, в связи с частотой экстремальных ситуаций, изучение микобиоты воздуха помещений комбината является, одной из насущных проблем. Выбросы производства, в которых присутствуют тяжелые металлы, считаются наиболее опасными загрязнителями экосистемы, в результате чего увеличивается рост и распространение микроскопических грибов в окружающей среде обитания. Занос грибковых спор из внешней среды является одним из важнейших факторов формирования «микологической среды обитания человека» в помещениях [3].

Целью настоящего исследования является проведение микологической оценки воздуха некоторых помещений комбината и выявление оппортунистических видов грибов, вызывающих различные заболевания, в том числе наиболее распространенные аллергические.

Отбор проб воздуха осуществлялся автоматическим переносным пробоотборником ПУ-1Б, с осаждением микромицетов в чашки Петри на агаризованную питательную среду. Воздух помещений прокачивался в объеме 250 л на 1 м³. По данным Всемирной организации здравоохранения [4], число спор грибов в воздухе помещений не должно превышать допустимый уровень в 500 КОЕ/м³.

Для оценки заспоренности воздуха были отобраны цеха различного назначения: цех мелкого и среднего дробления, цех сушки молибдена, цех выделения медной руды из молибдена, цех просеивания камней, цех крупного дробления и горный цех (табл.1).

Численность микромицетов в воздушной среде различных помещений ограничена и представлена 13 видами и 8 родами. Среди них, доминирующими оказались роды *Aspergillus*, *Penicillium* и *Cladosporium*, являющиеся постоянными обитателями воздушной среды обитания [3].

В результате проведенного микологического исследования во всех цехах комбината заспоренность воздуха превышала допустимые нормы. Так, в цехе «крупного дробления» (табл.1) заспоренность воздуха превышала допустимую норму в три раза (1610 КОЕ/м³). Второе место по заспоренности занимает цех «сушки молибдена» (1000 и 980 КОЕ/м³), I и II отсеки. Очевидно, повышенная заспоренность воздуха исследуемых помещений

связана с недостаточной вентиляцией и повышенным уровнем пыли, где воздух более статичен, меньше высушивается и практически не заменяется другими воздушными массами. Важно отметить, что большинство выявленных микромицетов, таких как *Aspergillus niger*, *Penicillium cyclopium*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria alternata* относятся к потенциально патогенным видам и сенсбилизаторами аллергических реакций организма, в частности у людей, страдающих аллергической астмой [5].

Таблица 1. Качественный состав и численность микромицетов в воздухе различных помещений комбината.

Тип помещений комбината	Виды микромицетов в воздухе	Общее количество КОЕ/м3 в воздухе помещений
Цех мелкого и среднего дробления	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	800
	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	
Цех сушки молибдена	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	1000
	<i>Sclerotium complanatum</i> Tode	
	<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	
	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	
	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	980
	<i>Cladosporium linicola</i> Pidopl. & Deniak	
	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	
	<i>Penicillium cyclopium</i> Westling	
	<i>Penicillium lanosum</i> Westling	
	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	
Цех выделения медной руды из молибдена	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	960
	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	
	<i>Penicillium cyclopium</i> Westling	
	<i>Penicillium lanosum</i> Westling	
	<i>Sclerotium complanatum</i> Tode	
Цех просеивания камней	<i>Penicillium lanosum</i> Westling	870
	<i>Rhizopus stolonifera</i> (Ehrenb.) Vuill.	
Цех крупного дробления	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	1610
	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	
	<i>Penicillium cyclopium</i> Westling	
	<i>Stemphylium botryosum</i> Wallr.	
	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	
	<i>Sclerotium complanatum</i> Tode	
Горный цех	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	760
	<i>Cladosporium elegantulum</i> Pidopl. & Deniak	
	<i>Cladosporium griseoolivaceum</i> Pidopl. & Deniak	
	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	
	<i>Sclerotium complanatum</i> Tode	

Особый интерес для медиков-микологов представляют потенциально патогенные грибы возбудители глубоких микозов, относящиеся к группам BSL 1 и BSL

2. По данным С. Де Хога [6], содержание органических веществ, влажность среды обитания, температура, радиация и др., являются важнейшими экологическими факторами для развития и распространения патогенов, следовательно, грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Fusarium* относятся к этим двум группам. Вышеуказанные виды данных родов являются аллергенными, могут стать источниками различного рода заболеваний, таких как бронхиальная астма, отиты, онихомикозы, дерматомикозы, офтальмомикозы и т.д. [7].

Полученные данные свидетельствуют о необходимости постоянного контроля, разработки и внедрения в практику стандартов по проверке заспороенности воздуха в помещениях различного назначения с учетом численности потенциально патогенных и аллергенных видов грибов, встречающихся в помещениях предприятия.

Список литературы

1. Sazonova O.I., Ivanova A.A., Vetrova A.A., Zvonarev A.N., Streletskii R.A., Vasenev V.I., Myazin V.A., Makhinya K.I., Kozlova E.V., Korneykova M.V. Impact of Anthropogenic Factors on the Diversity of Microbial Communities of PM 10 Air and PM 100 of Tilia L. Phylloplaneinan Urban Ecosystem. Biology 2024, 13(12), 969 p.

2. Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Зеленская М.С., Ильющин В.А., Новожилов Ю.К., Чуркина И.В., Баранцевич Е.П. Оценка антропогенной инвазии микроскопических грибов в арктические экосистемы (архипелаг Шпицберген) ФГБУН Ботанический институт имени В.Л. Комарова Российской академии наук, 197376, Санкт-Петербург; Гигиена и санитария. Том 99, № 2, 2020, с.145-151.

3. Марфенина О.Е. Фомичева Г.М. Потенциально патогенные мицелиальные грибы в среде обитания человека.. Микология сегодня. Т.1. Нац. акад. микологии. Москва, 2007, с. 235-266.

4. WHO. Indoor air quality: biological contaminants. Report on a WHO meeting. Copenhagen: WHO Regional publications, 1990. N. 31. P. 1-67.

5. Халдеева Е.В., Васильева Е.Г. Оценка сезонной динамики содержания аллергенных грибов в воздухе городской среды. Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2024, №4, с. 84-90.

6. Hoog de G. C., Guarro J., Gene J., and Figueras M. J. (2011). Atlas of clinical fungi. Electronic Version 3.1.

7. Fukutomi Y, Taniguchi M. Sensitization of fungal allergens: Resolved and unresolved issues. Allergol Int. 2015, 64(4), p. 321-31.

УДАЛЕНИЕ АМИДНЫХ ГЕРБИЦИДОВ И СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИТНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ БИОУГЛЯ И МИЦЕЛИЯ ГРИБА БЕЛОЙ ГНИЛИ *TRAMETES HIRSUTA*

Лукин А.С., Савинова О.С., Федорова Т.В.
ФИЦ Фундаментальные основы биотехнологии РАН, Москва

Необходимость интенсификации сельского хозяйства неизбежно связана с применением удобрений и пестицидов, чрезмерное накопление которых в воде и почве представляет серьезную угрозу, как экологии и продуктивности сельскохозяйственных угодий, так и здоровью человека. В связи с этим ремедиация стоков и грунтов является вопросом первостепенной важности.

Деградация ксенобиотиков мицелиальными грибами может быть экологически чистым, эффективным и недорогим способом биоремедиации загрязненных стоков и почв. При выращивании в жидких средах мицелиальные грибы способны образовывать пеллеты – плотные сферические структуры, которые можно рассматривать как готовые к использованию гранулированные биосорбенты. Кроме того, грибы белой гнили продуцируют лигнинолитические окислительные ферменты, такие как лакказы и пероксидазы класса II, которые могут разрушать многие типы ксенобиотиков.

В работе были получены мицелиально-угольные композитные гранулы (МУКГ) с улучшенными сорбционными и биодеградационными свойствами на основе биоугля и грибного мицелия базидиомицета *Trametes hirsuta* LE-BIN 072. Образцы мицелиальных пеллет (МП) гриба и МУКГ охарактеризованы с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и инфракрасной спектроскопии с Фурье преобразованием (FTIR-ATR).

В модельных системах показано, что удаление ксенобиотиков (амидных гербицидов и стероидных гормонов) с помощью МП и МУКГ происходит за счет ферментативной деградации и адсорбции на мицелии, причем вклад биосорбции в случае применения МУКГ более значимый, чем с МП без угля. Остаточное содержание

гербицидов – ацетохлора и бутахлора на 10 сутки инкубации с МУКГ составляло менее 5%. В течение первых 24 ч. инкубации из водной среды с помощью МУКГ удалялось более 98% эстрогенов – эстрогена и эстрадиола.

Оценка ферментативных активностей в процессе удаления ксенобиотиков с помощью МУКГ также показала заметное увеличение ООА и марганец пероксидазной активности. Анализ секретомов *T. hirsuta* в присутствии гербицидов и эстрогенов подтвердил увеличение содержания лигнинолитических пероксидаз (ЛП). Спектр изоферментов и количество изоформ варьировала в зависимости от используемого соединения. Так в секретоме *T. hirsuta* в присутствии эстрогенов и гербицидов основную долю общего пула белков составляли марганец пероксидазы MnP5 (FUN_002850) и MnP7 (FUN_007983), а также универсальная пероксидаза VP2 (FUN_007604). В секретоме гриба в присутствии гербицидов дополнительно были идентифицированы марганец пероксидаза MnP6 (FUN_007952) и лигнин пероксидаза LiP9 (FUN_007002). Помимо ЛП, секретомы с ксенобиотиками содержали повышенные уровни глюкоз-метанол-холиновых оксидоредуктаз (GMC), включая алкоголь оксидазы и арилалкоголь оксидазы, а также изоферменты семейства карбоксилэстераз PnbA – важных компонентов ферментного комплекса, метаболизирующего ксенобиотики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант 23-46-00018.

ПЫЛЬ И МИКРОМИЦЕТЫ В КНИГОХРАНИЛИЩАХ БИБЛИОТЕК

Мамаева Н.Ю., Великова Т. Д.

Российская национальная библиотека, Санкт-Петербург

Запыленность воздуха в городах и в общественных зданиях является одной из основных проблем современной экологии. Выхлопные газы, частицы, образующиеся при истирании шин, продукты производственной деятельности промышленных предприятий загрязняют не только окружающий воздух, но и проникают внутрь зданий. Пыль присутствует всюду, постоянно возникает и распространяется в окружающей среде, всегда остается некоторая фоновая нагрузка, и поэтому действия должны быть направлены на максимальное снижение пылевых частиц в воздухе.

В библиотечной пыли всегда присутствуют микроорганизмы, которые, с одной стороны, способны формировать аллергенные и инфекционные нагрузки на организм работающего в помещении человека, с другой стороны – быть источником биоповреждения различных материалов, находящихся в книгохранилищах.

Вредное воздействие пыли на организм человека зависит от ее концентрации в воздухе, химического состава, размеров частиц. Она оказывает на организм аллергическое, раздражающее, токсическое, фиброгенное действие. Особую опасность для человека представляет мелкодисперсная пыль с размером частиц 0,5–10 мкм, поскольку она легко проникает в органы дыхания. Концентрация пыли в воздухе хранилищ регламентирована ГОСТ 7.50-2002 и не должна превышать нормативных значений: максимально разовая – 0,5 мг/м³, среднесуточная – 0,15 мг/м³. Состав воздуха в хранилищах зависит от поступления наружного воздуха (автомобильные магистрали или зеленая зона) и от размеров и количества частиц, образующихся при старении, истирании различных материалов, в том числе документов (кожа переплетов, бумага, клей).

Пыль, находящуюся в книгохранилищах, характеризовали, определяя ее массу, содержащуюся в единице объема воздуха и на единице поверхности, дисперсный, химический и микробиологический составы. Для оценки запыленности хранилищ определяли количество пыли в воздухе и на различных поверхностях (документах, контейнерах, стеллажах), в том числе после гигиенической обработки. Запыленность воздуха определяли по количеству пыли приборами ГАНК-4 и KANOMAX 3521. Запыленность и зараженность поверхностей оценивали соответственно с помощью весового метода [1] и метода отпечатков [2]. Образцы пыли для химического анализа собирали пылесосом или вручную, состав пыли определяли стандартным химическим методом с окончанием на ICP/Эшелеспектрометре модели PS 1000. Методом разведений определяли количество и видовой состав микромицетов в пыли, представляющих наибольшую опасность для библиотечных материалов и персонала.

В составе библиотечной пыли можно обнаружить волокна бумаги, частицы кожи, металлов, минералов, пыльцу, остатки насекомых, споры микроорганизмов, обрывки мицелия.

Для оценки химического состава пыли отбирали пробы в книгохранилищах 45 библиотек. В результате химического анализа выявлены основные элементы, входящих в состав библиотечной пыли. Количественные показатели варьировали в довольно широких пределах, так как библиотеки расположены в различных климатических зонах, в городах с разной экологической ситуацией, и сами библиотеки имеют свои характерные особенности. В процентном отношении из органиче-

ской составляющей пыли 13–16 % приходится на азот и 2 % на фосфор (все элементы определяли в виде оксидов, количество углерода и водорода не определяли). Наибольшая доля неорганической составляющей представлена элементами: Si (0,1–39,9 %), Ca (0,1–9,3 %) и Fe (0,02–10,0 %). Далее в процентном отношении следуют Mg (0,01–4,6), Na (0,02–2,9), Al (0,01–1,5).

По разным источникам [3, 4] Pb, Sn, Mn, Cu и Cr представляют опасность для человека, однако однозначно опасными считаются Zn, As, Se и Sb. В библиотечной пыли концентрация Zn была от 0,03 до 1,5 %, Mn – 0,36 %, Pb – 0,065 %, Cu – 0,057 %, Sn – 0,048 %, Cr – 0,024 %.

Все эти металлы способны к биоаккумуляции в организме человека, могут вызывать токсикоз или аллергию, а также приводить к отдаленным последствиям.

Некоторые металлы, присутствующие в пыли, могут стимулировать пигментобразование микроскопических грибов и окрашивание ими документов.

В течение года в 11 хранилищах 5 отделов Российской национальной библиотеки (РНБ) определена концентрация пыли в 220 пробах воздуха. Концентрация пыли в воздухе в среднем составляла от 0,02 до 0,04 мг/м³.

Дисперсный состав пыли, находящейся в воздушной среде книгохранилищ, оценивали по массовой концентрации частиц диаметром менее 10 мкм (PM10) и частиц диаметром менее 2,5 мкм (PM2,5). Концентрация частиц в воздухе книгохранилищ была в среднем для PM2,5 от 1 до 4 мкг/м³ и для PM10 – от 2 до 10 мкг/м³.

Физико-химические характеристики пыли определяют скорость осаждения частиц из воздуха. Чем крупнее частицы, тем быстрее они осаждаются на различных поверхностях.

Пыль в библиотеках относится к IV группе слипаемости – сильнослипающаяся, что обуславливает ее слеживаемость на поверхности документов и, соответственно, трудность удаления. Сыпучесть пыли приводит к ее проникновению в обрезы книг вплоть до 1–2 мм, в неровности кожаных переплетов. Еще одно свойство пыли – ее гигроскопичность – приводит к локальному увлажнению материалов документов, возникновению в скоплениях пыли симбиотических ассоциаций микромицетов.

В течение одного года на поверхности документов в хранилищах скапливается от 10 до 100 мкг пыли/см². При однократном влажном обеспыливании удаляется только 50 % пыли, при повторном – еще около 60–80 %. На основании многочисленных результатов по запыленности документов, полученных в Федеральном центре консервации библиотечных фондов РНБ, условно принято, что запыленность после гигиенической обработки должна быть менее 40 мкг/см², при запыленности более 60 мкг/см² требуется обеспыливание документов, запыленность более 80 мкг/см² – недопустима.

Результаты обследования 108 фондов редких книг, краеведческой литературы, основного хранения из 45 библиотек показали, что только в 33 % фондов запыленность документов была менее 60 мкг/см², а в 11 % фондов превышала 200 мкг/см².

В хранилищах 8 библиотек оценивали зараженность пыльных поверхностей (табл. 1). Наибольшая зараженность поверхностей отмечена около окон, вентиляционных выходов, кондиционеров, что свидетельствует

о плохой герметичности окон, недостаточной очистке воздуха или загрязненности фильтров систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Некоторые из выделенных грибов являются активными разрушителями бумаги, кожаных переплетов и других материалов книг. При повышенной влажности, например, в результате аварийной ситуации, микроорганизмы способны быстро развиваться, выделяя различные кислоты и ферменты, что приводит к разрушению материалов документа.

С точки зрения возможности биоповреждения большему риску подвергаются пыльные документы.

В 62 образцах пыли, отобранных из хранилищ РНБ, выявлены ассоциации, состоящие из двух-трех видов микромицетов, часто встречающихся в пыли: *Aspergillus candidus*, *A. niger*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. chrysogenum*, *P. commune*, *Trichoderma koningii*, которые, кроме того, что обладают высокой целлюлазной активностью, являются условно патогенными. Всего выделено 23 микромицета из 11 родов: 7 видов *Penicillium*, 5– *Aspergillus*, по два вида *Acremonium* и *Trichoderma*, по одному виду– *Fusarium*, *Geotrichum*, *Microascus*, *Paecilomyces*, *Rhizopus*, *Talaromyces*, *Torula*, в присутствии пыли их рост на бумаге и потребление целлюлозы было более интенсивным.

Таблица 1. Зараженность пыльных поверхностей в книгохранилищах.

Регион	Зараженность пыльных полок, КОЕ/дм²	Зараженность пыльных документов, КОЕ/дм²	Микроорганизмы, изолированные с пыльных документов и полок
Южный	63–838	24–611	<i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Chrysonilia</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Torula</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Ulocladium</i>
Северо-Западный	50–224	14–163	<i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Botritis</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Geotrichum</i> , <i>Microascus</i> , <i>Mucor</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Talaromyces</i> , <i>Torula</i> , <i>Ulocladium</i>
Сибирский	60–195	42–600	<i>Acremonium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Aureobasidium</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Torula</i> , <i>Ulocladium</i>
Северо-Кавказский	180–600	50–311	<i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Torula</i>

Все грибы, обнаруженные в пыли, в основном относятся к IV группе патогенности– вызывающие гиалоги-фомикоз, частным видом которого является пеницил-лез, вызываемый грибами рода *Penicillium*, аспергиллез, причиной которого являются грибы рода *Aspergillus* и *Rhizopus*– возбудитель мукороза.

Для предотвращения образования и распространения пыли наиболее эффективны технологические ме-роприятия. Удаление пыли из воздуха может быть осу-ществлено путем его фильтрации. Также для снижения уровня пыли в книгохранилищах проводят гигиениче-скую обработку (обеспыливание) документов и мест их хранения.

Обеспыливание документов в РНБ проводится не-сколькими способами. При использовании музейного пылесоса MUNTZ 555 количество пыли снижается на 76–92 %, микроорганизмов– на 97 %; после обеспыли-вания полуавтоматической машиной Pulvisina– соот-ветственно на 46–54 % и 93 %. Применение обеспы-ливателя фондов VIAR, снабженного специальными щетками MicroFlat, позволяет достичь эффективности обеспыливания 75 %.

В течение трех лет в хранилищах 8 фондов РНБ, где велось обеспыливание, оценивали эффективность очистки документов и мест их хранения (табл. 2). С по-верхности книг и полок стеллажей отобрано более 350 проб.

Количество пыли, содержащееся на документах после обеспыливания вручную влажным способом, снижается в среднем на 82 %, а содержание микроор-ганизмов на поверхностях уменьшается в 5–85 раз, в некоторых случаях– до 0 КОЕ/дм².

Таблица 2. Запыленность поверхностей и эффективность их обеспыливания.

Запыленность	Документы	Полки стеллажей
До обеспыливания, мкг/см²	42 – 215	46 – 497
После обеспыливания, мкг/см²	3 – 39	2 – 36
Эффективность обеспыливания, %	58 – 95	73 – 98

Пыль, скапливающаяся на поверхности, и микро-организмы, содержащиеся в ней, удаляются, а споры грибов, скорость оседания которых 0,001–0,055 см/сек, могут находиться в воздухе в течение нескольких дней. Для очистки воздуха в РНБ применяется фотокатали-тический очиститель MC704VM Daikin, при его работе в течение 3–5 дней концентрация пыли в воздухе сни-жается в 5–10 раз, иногда количество пыли не улавли-вается.

Пыль, присутствующая в воздухе библиотек, содер-жит многие вредные химические элементы и микроор-ганизмы, которые могут быть причиной заболеваний сотрудников и читателей, источником химического и биологического повреждения библиотечных фондов. Грамотное и своевременное обеспыливание докумен-тов и очистка воздуха позволяют достигнуть норма-тивных показателей, предусмотренных российскими и международными стандартами, и специальными тре-бованиями для библиотек.

Список литературы

1. Мамаева Н. Ю. Инструкция по оценке запыленности документов и качества их обеспыливания. Лабораторные методи-ки и технологические инструкции по практической консервации документов. СПб.: РНБ, 2019. С. 50–56.
2. Великова Т.Д., Попихина Е.А. Инструкция по отбору микробиологических проб с поверхности документов. Лабо-раторные методики и технологические инструкции по практиче-ской консервации документов. СПб.: РНБ, 2019. С.80–86.
3. Махниченко А.С. Влияние тяжелых металлов на орга-низм человека. Science time. 2016. С. 395–401.
4. Мудрый И.В., Короленко Т.К. Тяжелые металлы в окру-жающей среде и их влияние на организм. Врачебное дело. 2002. № 5/6. С. 6–9.

ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРИБОВ,
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Мурадов П.З.¹, Бахшалиева К.Ф.¹, Кулибеков Ф.М.¹, Юсифова М.Р.²,
Омар П.М.³, Мамедова М.Я.³, Нагиева Р.З.¹, Абдуллаева С.А.¹
¹Институт Микробиологии МНО Азербайджанской Республики, Баку
²Азербайджанский Государственный Экономический Университет (UNEC), г. Баку
³Сумгаитский Государственный Университет

Грибы являются активными участниками происходящих в природе различного рода процессов, главным фактором их участия в которых является наличие в основной среде органического вещества. Грибы, которые в экологическом смысле характеризуются как редуценты, являются единственными организмами, участвующими в процессах синтеза, биodeградации, регуляции биоразнообразия и функциях индикации (индикаторы), встречающихся в природе [1-3]. Кроме того, существуют виды грибов, которые как универсальные возбудители способны вызывать заболевания растений, животных, а также человека [4]. Грибы, характеризующиеся большим разнообразием в различных аспектах, всегда были в центре внимания разного рода исследований [5] и сохраняют этот статус до настоящего времени.

Хотя наличие признаков, характеризующихся столь большим разнообразием, является связанным с геномом грибов вопросом, на формирование количественных показателей, характеризующих появление этих признаков, определенным образом влияют природные почвенно-климатические факторы, флора и фауна сред их распространения, то есть абиотические и биотические факторы [6-7]. По этой причине обнаружение по меньшей мере количественно различных признаков у грибов, распространенных по экологическим показателям на различных территориях, не вызывает сомнений. Это, в свою очередь, еще раз указывает на тот факт, что грибы являются интересным и открытым для исследования объектом.

Экологические условия в Азербайджанской Республике, расположенной на небольшой территории (86,6 тыс. км²) [8], характеризуются более широким разнообразием. Подтверждением этого является разнообразие климата, почвы, флоры и фауны страны, чего нельзя сказать о присущей для страны микобиоте. Так, в проведенных исследованиях грибы также стали предметом исследований различного аспекта [9-10], но ввиду экологического разнообразия систематических исследований по сравнительному изучению микобиоты не проводилось.

Учитывая вышесказанное, представленная работа посвящена сравнительному изучению некоторых показателей грибов, распространенных в экологически различных, а также экстремальных биотопах Азербайджана.

Образцы для исследования были взяты со всех крупных геоморфологических единиц Азербайджанской Республики, характеризующихся различными в экологическом отношении показателями (с территорий Большого и Малого Кавказа, включая районы, освобожденные от оккупации), с Кура-Аразской низменности и Лянкяран-Астаринского региона (точнее, с Талышских горах и Лянкяранской равнины). При отборе образцов из почв (естественных и подверженных антропогенному воздействию, а также засолению и в различной степени нефтяному загрязнению), растений (трав, кустарников и древесных растений, в том числе, распространенных во влажных субтропических

лесах), вод (в том числе термальных вод) и животных (крупного рогатого скота и домашних птиц) использовались известные методы и подходы, принятые в общей микробиологии и микологии, а также в ветеринарной микробиологии и широко используемые в настоящее время в аналогичных работах. При получении чистых культур грибов, их идентификации и оценке токсической (фитотоксической и зоотоксической) активности использовались известные методы и определители [11-15].

В результате анализа проб, взятых из почвы, растений и животных (крупного рогатого скота) на территориях Азербайджана, выбранных в качестве объекта исследования, за 2016-2024 годы в общей сложности было выделено 280 чистых культур макромицетов и микромицетов, причем отмечается разница в их распределении по отобраным источникам и территориям (таблицы 1 и 2).

Таблица 1. Распределение выделенных в исследовании грибных культур по источникам взятия образцов.

Источники взятия образцов	Число выделенных штаммов, ед.		
	Общее кол-во	Микромицеты	Макромицеты
Почва	109	95	14
Растения	100	54	46
Животные	44	44	0
Вода	27	27	0
Общее количество	280	220	60

Таблица 2. Распределение выделенных в исследовании грибных культур по территориям взятия образцов.

Источники взятия образцов	Число выделенных штаммов, ед.		
	Общее кол-во	Микромицеты	Макромицеты
Большой Кавказ	76	61	15
Малый Кавказ	52	41	11
Кура-Аразская низменность	66	53	13
Лянкяран-Астаринский регион	86	65	21
Общее количество	280	220	60

Как видно, большая часть культур была выделена из почвы и небольшая часть из водных образцов, что еще раз позволяет отметить, что основным местом обитания грибов является почва, в том числе и растения. Что касается распределения выделенных штаммов по территории, то, как видно, большая часть выделенных штаммов была изолирована из Лянкяран-Астаринской территории, а меньшая – с Малого Кавказа. Одной из причин этого является то, что экологические условия упомянутых регионов различны, и к тому же ввиду отсутствия безопасности в отдельных районах Малого

Кавказа взятие образцов было возможно с ограниченной части данной территории.

В результате идентификации выделенных культур выявлено, что 14 видов (22 штамма) из них относятся к зигомицетам (*Mucormycota*), 41 вид (60 штаммов) к базидиомицетам (*Basidiomycota*), а 107 видов относятся к анаморфам (184 штамма) и телеоморфам (14 штаммов) сумчатых грибов (*Ascomycota*).

Как известно, грибы обычно привлекают внимание с практической точки зрения своими полезными или вредными свойствами. Учитывая это, было сочтено целесообразным оценить зарегистрированные в исследованиях культуры в первую очередь на предмет их фитотоксической (влияние на прорастание семян растений) и зоотоксической (влияние на жизнеспособность *Tetrahymena pyriformis*) активности.

При характеристике фитотоксической активности в соответствии с таксономической принадлежностью зарегистрированных грибов обнаружено, что 17,3% грибов отдела *Ascomycota* имеют сильную (снижающую всхожесть семян более чем на 40%), 31,6% – умеренную (от 20 до 40%), 34,7% – слабую (менее 20%) активность, а 12,4% грибов не обладают фитотоксичной активностью (табл. 3).

Таблица 3. Общая характеристика токсической активности зарегистрированных в исследовании видов грибов.

Степень токсической активности культур	Фитотоксическая активность (число видов, ед.)			Зоотоксическая активность (число видов, ед.)		
	<i>Mucormycota</i> 14	<i>Ascomycota</i> 107	<i>Basidiomycota</i> 41	<i>Mucormycota</i>	<i>Ascomycota</i>	<i>Basidiomycota</i>
Сильная	0	12	0	0	17	0
Средняя	0	28	4	0	25	0
Слабая	10	39	10	11	38	7
Нет активности	4	21	15	3	25	18
Активность, вызывающая стимуляцию активность	0	7	12	0	2	16

Как видно, некоторые культуры, относящиеся к отряду *Ascomycota* (4,1%), а также большинство грибов, относящихся к отряду *Basidiomycota*, не обладают ни сильной, ни умеренной фитотоксической активностью (42,9%), но иногда под их влиянием фиксируется явление стимуляции (21,4%). Большинство грибов, относящихся к отряду *Mucormycota* (85,7%), обладают преимущественно слабой фитотоксической активностью, а некоторые (14,3%) и вовсе не обладают такой активностью. В ходе изучения зоотоксической активности грибов выявлено, что в этом аспекте грибы характеризуются разнообразием. Как видно, в зоотоксической активности грибов в целом сохраняется ситуация как и с фитотоксической активностью, однако в это время наблюдается ряд количественных различий (таб. 3). Так, среди грибов есть виды, оказывающие сильное (снижает численность более чем в 1,5 раза), среднее (снижает в 1,1-1,5 раза), слабое (снижает в 1,05-1,1 раза) негативное

влияние на рост инфузории, а также не оказывающие никакого влияния и даже увеличивающие численность (в 1,07-1,23 раза).

При сравнении фитотоксической и зоотоксической активности культур грибов, выделенных из разных источников, но принадлежащих по культурально-морфологическим признакам к одному и тому же виду, обнаружено, что токсическая активность одних и тех же культур, выделенных из почвы и растений, относительно выше по сравнению с той же культурой, выделенной из животных и воды. На наш взгляд, эту тенденцию можно отметить как особенность, которая сформировалась или формируется в связи с адаптацией грибов к разным источникам, и в будущем выяснение вопроса на молекулярном уровне может внести полную ясность в его суть.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что грибы, выделенные из разных источников и мест, различаются как по токсигенности, что является проявлением эколого-трофической специализации, так и по экофизиологическим показателям, что очевидно связано с их способностью приобретать разные свойства в результате адаптации к экологическим условиям.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке фонда Науки Азербайджана:

Грант № AEF-MCG-2023-1(43)-13/10/3-M-10
Грант № AEF-MGC-2024-2(50)-16/07/3-M-07
Грант № AEF-MGC-2024-2(50)-16/06/3-M-06

Список литературы

1. Andlar M, Rezić T, Mardetko N, Kracher D, et al. Lignocellulose degradation: An overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation. Eng Life Sci. 2018 Jun 27;18(11):768-778. doi: 10.1002/elsc.201800039.

2. Jain A., Sarsaiya S., Wu Q., Lu Ys, Shi J. A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation. Bioengineered., -2019, v.10(1), -p.409-424.

3. Naranjo-Ortiz M.A. and Gabaldón, T. Fungal evolution: major ecological adaptations and evolutionary transitions.. Biol Rev Camb Philos Soc., -2019. v.94(4). -p.1443-1476.

4. Kuzikova I. L., Medvedeva N. G. Opportunistic fungi – contaminants of the human environment and their potential pathogenicity . Human Ecology, -2021. No. 3. -pp. 4-14.

5. Hyde K.D., Xu J., Rapior S. et al. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. Fungal Diversity, 2019, 97, 1–136 <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00430-9>

6. Lepère C, Domaizon I, Humbert J-F, Hugoni M, Debroas D.. Diversity, spatial distribution and activity of fungi in freshwater ecosystems. PeerJ, 2019, 7:e6247 <http://doi.org/10.7717/peerj.6247>

7. Muradova S. M, Jabrailzade S. M. Toxic Effect Metabolites of Micromycetes Spread in Azerbaijan.. Biosci Biotech Res Asia, 2023, 20(2). p.729-734

8. <https://eco.gov.az/index.php?ln=az&pg=693>

9. Bakhshaliyeva K., Namazov N., Hasanova A. et al. Assessment of the prospects of studying and using mushrooms of Azerbaijan as effective producers of biologically active substances. Periódico Tchê Química (Brazília), 2020, v.17, № 34, p.403-411.

10. Muradov P.Z., Bakhshaliyeva K.F., Mamedaliyeva M.Kh. et al. General characteristics of the means obtained from species belonging to the genus Trichoderma Karst distributed in Azerbaijan. Edelweiss Applied Science and Technology, 2025, Vol. 9, No. 2, p.1556-1562

11. Kirk, P. M. et al. Dictionary of the fungi, 10th edn. CABI publishing – Wallingford(UK), -2008, -600 p.

12. Maheshwari, R. Fungi:Experimental Methods In Biology, 2th Edition. CRC Pres,2016, 358p

13. Savina I.V., Sycheva M.V., Kartashova O.L. et al. Practical training in veterinary microbiology and mycology:textbook: Orenburg: Publishing center of OGAU, 2019. – 316 p.

14. Seifert K.A. The genera of Hyphomycetes. -Utrecht:CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, -2011, 997.

15. Watanabe T. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. 2nd Edition, 2002, 504

АНТРОПОГЕННО ПРИВНЕСЕННАЯ ДРЕВЕСИНА ОСТРОВА ВИЗЕ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ

Панькова И.Г.¹, Кирцидели И.Ю.¹, Ильюшин В.А.¹, Власов Д.Ю.^{1,2}

¹ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет

В настоящее время все больше внимания уделяется изучению дереворазрушающих микроскопических грибов в арктическом регионе. Это связано, в первую очередь, с их высокой адаптационной способностью к экстремальным условиям обитания, во вторых – некоторые виды микроскопических грибов могут быть продуцентами различных биологически активных веществ, которые могут активно применяться в биотехнологии. Кроме того, некоторые виды дереворазрушающих микроскопических грибов являются условно-патогенными, вызывающими различные виды микозов как у животных, так и у человека. Изучение видового состава микромицетов – биодеструкторов древесины в Арктике, с одной стороны позволит лучше понять стратегии адаптации к различным экстремальным условиям, с другой – выявить условно-патогенные виды.

Благодаря высоким адаптационным способностям микроскопические грибы могут осваивать различные субстраты, в том числе живые организмы в различных климатических условиях, таких, например, как Арктика.

Нами были исследованы образцы древесины, отобранные на острове Визе в заброшенном поселении полярников в летний период 2021 – 2022 годов.

Выделение грибов с образцов древесины проводилось модифицированным методом прямого посева на селективные питательные среды в чашки Петри, которые инкубировались при 4 °C в течение трех месяцев. Затем выделялись «чистые» культуры микроскопических грибов на дифференциально-диагностические среды Сабуро, Чапека, Картофельно-морковный агар. Исследование фосфолипазной активности микроскопических грибов проводили «чашечным методом» на питательной среде специального состава с яичным желтком. Определение гемолитической активности изолятов микроскопических грибов проводили по зонам гемолиза вокруг колоний на питательной среде содержащей 5 %-ю дефибринированную кровь. Методом сканирующей микроскопии было подтверждено развитие мицелия и спороношения микромицетов как на поверхности, так и в глубине образцов древесины.

С антропогенно привнесенной древесины, отобранной с острова Визе, были выделены условно-патогенные виды микроскопических грибов: *Malassezia globosa* (ID-605) *Sarocladium kiliense*, (ID-556), *Aspergillus versicolor* (ID-563, ID-563c)

В ряде работ (1, 2, 3, 4) отмечено, что микроскопический гриб вида *Malassezia globosa* может вызывать повреждения и болезни кожи человека. Род *Malassezia* включает в том числе 14 липофильных видов грибов, которые, как правило, выделялись из организма человека и животных, виды этого рода широко известны как возбудители кожных заболеваний человека. Также виды этого рода вызывают заболевание теплокровных животных (5). Для абсолютного большинства видов этого рода за исключением *M. pachydermatis* характерна зависимость роста от липидов и способность утилизировать липиды, каталазная и бета-глюкозидаз-

ная реакции, а также устойчивость к высоким температурам.

Также нами был выделен вид *Sarocladium kiliense*. Род *Sarocladium* в настоящее время насчитывает около 30 видов, которые морфологически и генетически тесно связаны с родом *Acremonium*. Большинство видов рода *Sarocladium* являются, в основном, сапрофитными грибами, которые часто встречаются в окружающей среде, однако среди них отмечено несколько условно-патогенных видов, вызывающих заболевания человека. К ним относятся виды *S. kiliense* и *S. strictum*, которые способны расти при температуре 35-37°C и вызывать различные заболевания кожи и дыхательных путей у людей с ослабленным иммунитетом (6).

Кроме того нами были выделены изоляты рода *Aspergillus*, известные как возбудители аспиргеллеза человека. Нами было выделено несколько изолятов *Aspergillus versicolor* который известен как возбудитель различных заболеваний дыхательных путей и кожи.

Таким образом нами в условиях высокой арктики были выделены виды известные как патогены человека. Однако у микроскопических грибов, как и у других микроорганизмов большое значение имеют штаммовые различия (различия свойств изолятов).

Патогенность микромицетов определяется комплексом свойств адаптивного характера, к факторам патогенности традиционно относятся такие свойства, как способность выдерживать температуру до 37°C, способность к экстраклеточной секреции аспаргиновых протеиназ и фосфолипаз и ряд других свойств. От выраженности этих признаков зависит степень патогенности микромицета. Важность фосфолипаз и протеиназ связана с тем, что они участвуют в процессе инвазии патогена в ткани хозяина, а также в разрушении клеток и молекул иммунной системы (7, 8). Большинство исследований протеазной активности проводится параллельно с изучением фосфолипазной активности (9) и показали прямую корреляцию между выделением этих ферментов и зависимостью от степени вирулентности штаммов (10, 11).

Поэтому нами были проведены лабораторные исследования фосфолипазной и гемолитической активностей, а также протестирована способность к росту при температуре 37 °C для данных штаммов выделенных в условиях высокой Арктики и адаптированных к низким температурам.

Нами показано, что изолят *Malassezia globosa* (ID-605), *Sarocladium kiliense* (ID-556) и *Aspergillus versicolor* (ID-563) обладают высоким уровнем как фосфолипазной, так и гемолитической активностью, в то время как у изолята *Aspergillus versicolor* (ID-563c) фосфолипазная и гемолитическая активность не отмечались. Инкубирование при 37 °C выделенных изолятов, показало наличие роста на этой температуре для изолятов видов *Malassezia globosa* и *Aspergillus versicolor* и отсутствие роста для *Sarocladium kiliense* Изучение некоторых факторов вирулентности выделенных

нами изолятов показало, что необходимо дальнейшее изучение возможных путей адаптации у этих грибов, в том числе стоит отметить, что различные изоляты *Aspergillus versicolor*, выделенные в одном местообитании обладают различными факторами вирулентности. Это может, с одной стороны, свидетельствовать о различном происхождении данных изолятов, а с другой о разных путях адаптации к условиям Арктики.

Таким образом нами показано, что антропогенная инвазия условно-патогенных видов микроскопических грибов даже в условиях в высокой Арктики может приводить с одной стороны к адаптации данных видов к жизнедеятельности при низких температурах, а с другой к сохранению ими потенциальной вирулентности, что можно рассматривать как источник сохранения патогенов в природной среде.

Список литературы:

1. Dawson TL Jr. *Malassezia globosa* and *restricta*: breakthrough understanding of the etiology and treatment of dandruff and seborrheic dermatitis through whole-genome analysis. *J Invest Dermatol Symp Proc*. 2007. Dec;12(2):15-9. doi: 10.1038/sj.jidsymp.5650049.
2. Piérard-Franchimont C, Hermanns JF, Degreef H, Piérard GE. From axioms to new insights into dandruff. *Dermatology*. 2000. 200(2):93-8. doi: 10.1159/000018337. PMID: 10773693.

3. Gupta AK, Batra R, Bluhm R, Boekhout T, Dawson TL Jr. Skin diseases associated with *Malassezia* species. *J Am Acad Dermatol*. 2004. Nov; 51(5):785-98. doi: 10.1016/j.jaad.2003.12.034.
4. Gupta AK, Bluhm R, Cooper EA, Summerbell RC, Batra R. Seborrheic dermatitis. *Dermatol Clin*. 2003. Jul; 21(3):401-12. doi: 10.1016/s0733-8635(03)00028-7.
5. Gaitanis G, Magiatis P, Hantschke M, Bassukas ID, Velegraki A. The *Malassezia* genus in skin and systemic diseases. *Clin Microbiol Rev*. 2012. Jan; 25(1):106-41. doi: 10.1128/CMR.00021-11.
6. Wong YN, Hau PT, Chau EC, Ng LC, Murillo M, Fung J, et al. Enhanced Specificity in Colorimetric LAMP Assay for *Sarocladium kiliense* Detection Using a Combination of Two Additives. *J Fungi (Basel)*. 2024 Dec 11;10(12):857. doi: 10.3390/jof10120857
7. Schaller M, Borelli C, Korting HC, Hube B. Hydrolytic enzymes as virulence factors of *Candida albicans*. *Mycoses*. 2005. Nov; 48(6):365-77. doi: 10.1111/j.1439-0507.2005.01165.x.
8. Fotadar R, Al-Hedaithy SS. Comparison of phospholipase and proteinase activity in *Candida albicans* and *C. dubliniensis*. *Mycoses*. Jan; 48(1):62-7. doi: 10.1111/j.1439-0507.2004.01057.x.
9. Dagdeviren M, Cerikcioglu N, Karavus M. Acid proteinase, phospholipase and adherence properties of *Candida parapsilosis* strains isolated from clinical specimens of hospitalised patients. *Mycoses*. 2005. Sep; 48(5):321-6. doi: 10.1111/j.1439-0507.2005.01145.x. PMID: 16115102.
10. Богомолова Е.В., Миненко Е.А., Кирцидели И.Ю. Потенциальная вирулентность микромицетов, изолированных из музейных помещений. *Микология и фитопатология*. 2007. Т. 41. С. 113-119.
11. Богомолова Е.В., Кирцидели И.Ю., Миненко Е.А. 2009. Потенциально опасные микромицеты жилых помещений. *Микология и фитопатология*. 2009. 43. С. 506-513.

САНИТАРНО-ЗНАЧИМЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ В ПОЧВАХ ГОРОДОВ РАЗНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН. К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ МИКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ.

Панова Т.А., Иванова А.Е., Широаян М.М.

Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова

Городские почвы служат резервуаром для санитарно-значимых микромицетов, способных вызывать микозы, аллергические реакции у человека и животных (Grishkan, 2024). Микробиологические характеристики почв служат важным индикатором почвенного здоровья (Schloter et al., 2003; Марфенина, 2002).

Состав и обилие санитарно-значимых микромицетов в городских почвах определяются природно-климатическими условиями и антропогенной нагрузкой. Температура, влажность, тип почвы, уровень загрязнения являются факторами, селективно влияющими на формирование грибных сообществ. Анализ этих различий необходим для разработки эффективных стратегий микологического мониторинга и контроля. Несмотря на растущее внимание к проблемам городской экологии, в России отсутствуют систематические исследования санитарно-значимых микромицетов городских почв, а также отсутствует нормативно-правовая база, регламентирующая микологическую безопасность городских почв.

В связи с вышеизложенным, актуальным является проведение комплексных исследований по изучению видового состава, распространения и экологических особенностей санитарно-значимых микромицетов в почвах городов разных природно-климатических зон. Целью исследования являлась оценка видового разнообразия и численности санитарно-значимых микромицетов в городских и естественных почвах ряда регионов России.

Анализ количественных и качественных характеристик почвенной культивируемой микобиоты проводили в двух функциональных зонах шести городов, расположенных в разных почвенно-

климатических условиях Европейской территории России – Сыктывкар, Москва, Краснодар, Майкоп, Симферополь, Сочи. Сравнивали культивируемую микобиоту верхних горизонтов городских почв (урбаноземов), расположенных в центральной части города вблизи автомагистралей и тротуаров, с почвами городских парков, подверженных меньшей антропогенной нагрузке в черте городской среды, и фоновыми зональными почвами. Был изучен функциональный состав и численность микромицетов. Данные получены с использованием метода посева на селективные питательные среды.

Основные результаты, обсуждаемые в работе, затрагивают вопросы региональной специфики численности и видового разнообразия грибов, уровней присутствия и обилия видов, относимых по существующим спискам к условно-патогенным ПБА (патогенным биологическим агентам) – в группы BSL-1 и BSL-2 (De Hoog, 2000) или относящиеся к группам патогенности IV и III (СанПиН 2021).

Численность грибов (КОЕ) в естественных почвах южных регионов (Краснодар, Сочи, Майкоп; 10-15 тыс. КОЕ/г) значительно выше, чем в северных (Сыктывкар, Москва; 4-6 тыс. КОЕ/г). Разнообразие грибов также выше в регионах с более влажным климатом – индекс Шеннона превышал 2 ед. в г. *Сыктывкаре, Майкопе и Сочи*. Наибольшее разнообразие микромицетов отмечено в почвах г. Сочи. Средние уровни разнообразия наблюдаются в северных регионах, почвах г. Москвы и Сыктывкара. В г. Краснодаре, несмотря на высокую численность, наблюдается низкое разнообразие грибов в естественных почвах и почвах парков. Высокая устойчивость природных экосистем

в районе г. Майкопа подтверждается разнообразием и стабильностью грибного сообщества, его высокой численностью. В городских парках показатели численности и разнообразия сопоставимы с фоновыми почвами.

В урбаноземах, подверженных высокой антропогенной нагрузке, количество грибных пропагул может находиться на уровне зональных и парковых почв, но может и существенно отличаться. Так, в г. Симферополе, численность КОЕ в урбаноземах (в среднем, 17 тыс. КОЕ/г) значительно превышала фоновые значения (11 тыс. КОЕ/г). В г. Москве численность грибов в урбаноземах была также выше, чем в зональной почве (на 5 тыс. КОЕ/г), что может быть обусловлено высокой степенью урбанизации, разнообразием условий среды и органическим загрязнением. В г. Краснодаре, наоборот, численность КОЕ в урбаноземах была значительно ниже (6 тыс. КОЕ/г.), чем в зональной почве (15 тыс. КОЕ/г). В г. Майкопе тоже более высокие значения КОЕ отмечены в парковых почвах (14 тыс. КОЕ/г в сравнении с 9 тыс. КОЕ/г в урбаноземе). В г. Сыктывкаре и Сочи уровни КОЕ в зональных почвах и урбаноземах были сопоставимы. Полученные данные подтверждают мозаичность грибного сообщества в городской среде, обусловленную неоднородностью антропогенного воздействия.

Во всех исследуемых почвах обнаружены условно-патогенные микромицеты, относящиеся к группам BSL-1 и BSL-2, а также к III и IV группе патогенности по СанПиН. Основная часть грибного сообщества представлена грибами группы BSL-1 (слабые патогены), однако, обнаружены и представители группы BSL-2 (умеренно патогенные грибы), такие как *Acremonium kiliense* Grütz 1925, *Fusarium oxysporum* Schltdl. 1824, *Aspergillus fumigatus* Fresen. 1863, *Aspergillus terreus* Thom 1918 и *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. 1881. Доля грибов группы BSL-2 в общем грибном сообществе зональных почв невелика, однако, выше в почвах городских территорий. Даже при условии, что перечисленные виды не являются доминирующими, они представляют более значительный риск для здоровья по сравнению с грибами группы BSL-1. В верхних горизонтах почв северных регионов всех функциональных зон наиболее часто встречаются грибы рода *Penicillium* из группы BSL-1, что естественно для типичного сапротрофного почвенного сообщества (Марфенина, 2005).

Для каждого региона характерен свой набор представителей условно-патогенных микромицетов. Наличие микромицетов рода *Fusarium* характерно для сообществ зональных почв как северных, так и южных регионов. В урбаноземах в г. Сыктывкар и Симферополь виды *Fusarium oxysporum* Species Complex выделяются в ядре доминантов. Присутствие грибов, относящихся к группе BSL-2, в почвах значительно зависит от региона. Наибольшая доля условно-патогенных грибов отмечена в зональной почве региона г. Сыктывкар. Возможно, это связано с набором субстратов в почвенном профиле и сохранением растительных остатков. В естественной почве региона г. Майкоп представители группы BSL-2 не обнаружены, встречается только один агент из списка BSL-1, с низкой патогенностью (*Aureobasidium* spp.), что может свидетельствовать о слабой антропогенной нагрузке.

Анализ доли темноокрашенных грибов используется для оценки степени нарушенности местообитания (Марфенина, 2005). Высокая численность таких грибов часто отмечается при использовании

рекультивационных смесей (Николаева, Иванова, 2015). Практически во всех городах, на территориях с высокой транспортной и пешеходной нагрузкой, доля темноокрашенных грибов превышает долю в городских парках и зональных почвах, где они преимущественно сосредоточены в лесном опаде и подстилке выше почвенных горизонтов. Наибольшая доля меланизированных грибов выявлена в урбаноземе г. Майкоп – 25% по относительному обилию (против 2% для зональной почвы). В Сочи и Симферополе наблюдается менее выраженное увеличение доли меланизированных грибов в городских почвах (2% и 7%, соответственно) по сравнению с фоновыми (1%). В Москве и Краснодаре доля меланизированных грибов в урбаноземах была сходна с зональными и составляла менее 1%. В Сыктывкаре выявлена аккумуляция темноокрашенных грибов в почвах парков (16%), по сравнению с городскими (5%) и фоновыми почвами (3%), что является следствием высокой рекреационной нагрузки в парке.

Таким образом, значительное возрастание численности грибных пропагул, в том числе ПБА, в южных регионах по сравнению с северными, демонстрирует более высокую биологическую активность почвенной микобиоты. Установлено увеличение присутствия условно-патогенных и темноокрашенных грибов в почвах городских территорий по сравнению с зональными. Это говорит о значительной преобразованности микобиоты урбаноземов по сравнению с почвами парков и зональными профилями. Среди исследованных городов выделяются почвы региона г. Майкоп, в которых отсутствуют потенциальные патогены из списка BSL-2. Результаты исследования демонстрируют необходимость микологического мониторинга городских почв для понимания особенностей накопления условно-патогенных грибов в почвах городских территорий, и создания комфортной среды обитания для растений, животных и человека. Региональные особенности микобиоты требуют дифференцированного подхода к разработке мер по микологическому контролю.

Анализ результатов посевов и обработка данных проведены в рамках темы госзадания «Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал» (Номер ЦИТИС: 121040800174-6).

Список литературы:

1. Grishkan I. Soil as a Source of Fungi Pathogenic for Public Health. // Encyclopedia. 2024. № 4. P. 1163-1172.
2. Schlöter M., Dilly O., Munch J.C. Indicators for evaluation soil quality // Agricult. Ecosyst. Environ. 2003. V. 98. P. 255-262.
3. Марфенина О.Е. Опасные плесени в окружающей среде // Природа. 2002. № 11. С. 33-38.
4. De Hoog G.S., Guarro J., Gené J., Figueras M.J. Atlas of clinical fungi / Utrecht, the Netherlands, 2000. 1126 p.
5. Об утверждении санитарных правил и норм: СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» от 28.01.2021.
6. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Национальная академия микологии, 2005. 196 с.
7. Николаева В. В., Иванова А.Е. Почвенные целлюлолитические грибные сообщества при точечной застройке городских территорий (на примере Москвы) // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. №2. С. 45-50.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА МИКРОМИЦЕТЫ И ИХ ЖИЗНЕСПОСОБНЫЕ НЕКУЛЬТИВИРУЕМЫЕ ФОРМЫ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

Шакурова Л.В.^{1,2}, Белякова Ю.С.^{1,2}, Колбецкая Е.А.^{1,2}, Валитова Р.К.^{1,2}, Блинкова Л.П.², Абдуллаева А.М.¹

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва

² НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова», Москва.

Введение. По данным метеорологического мониторинга за период 1780–2022 гг. выявлено, что температура воздуха в Москве возрасла на 0,012°С в год и к 2022 г. увеличилась в среднем на 2,8 °С [1]. Повышение среднемесячной температуры воздуха в г. Москва могло способствовать более интенсивному развитию грибов на разных биологических объектах окружающей среды. Изменения температуры и влажности, обусловленные климатическими колебаниями, способны существенно влиять на процессы роста микроорганизмов, а также на формирование и реверсию жизнеспособных некультивируемых клеток (ЖНК), о которых сообщалось не только для бактерий, но и для грибов [2,3,4]. Изменения климатических факторов могут индуцировать массовый выход микромицетов из жизнеспособного некультивируемого состояния к пролиферации, создавая опасность для здоровья человека. Известно, что люди вдыхают значительно большее количество разнообразных воздушных грибных спор, чем предполагалось ранее. Согласно последним исследованиям Института Макса Планка и Университета Майнца при каждом вдохе в организм поступает от одной до десяти аэроспор. Крупные споры (более 5,0 мкм) при вдыхании проникают в носоглотку лишь поверхностно и чаще вызывают аллергические реакции. В то же время, более мелкие споры (1,5–5,0 мкм) могут достигать легочных альвеол, что приводит к развитию бронхиальной астмы у человека [5].

Цель исследования. Проанализировать влияние изменения климата при повышении среднемесячной температуры с колебаниями влажности окружающей среды на микробиоту городских прудов и атмосферного воздуха.

Материалы и методы. Образцы воды и атмосферного воздуха отбирали в январе в нескольких открытых для посещения парках г. Москвы. Воду анализировали путем исследования микробиологических показателей при посеве образцов и культивировании в чашках Петри на следующих бактериологических средах: питательный агар, висмут-сульфитный агар, среды Эндо, Сабуро, Левина и тест-системы Petrifilm™. Отбор проб воздуха осуществляли седиментационным

методом на открытые чашки Петри с питательным агаром и дифференциально-диагностическими средами (экспозиция 10 и 60 мин).

Результаты и обсуждение. При анализе метеорологических данных за 2014–2025 гг. (рис.1) было установлено, что среднее увеличение температуры окружающей среды в январе, с учетом значительных колебаний, за последние одиннадцать лет составила +11°С. В исследуемых образцах воздуха нами были выявлены аэробные плесневые грибы, относящиеся к роду *Aspergillus*, в частности *Aspergillus flavus* – 26% (2,16·10² КОЕ/м³) и *Aspergillus niger* – 70% (4,45·10² КОЕ/м³). В водоемах г. Москвы мы обнаружили представителей грибов классов *Coelomycetes* – 21,6% (4,37×10² КОЕ/мл) и *Hyphomycetes*– 15,2% (1,54×10² КОЕ/мл). Вода, отобранная из открытых водоемов, также может быть источником микромицетов в жизнеспособном некультивируемом состоянии. В такой физиологической форме клетки теряют способность к росту на обычных питательных средах, но существует вероятность их реверсии к культивируемому состоянию. Известно, что *Aspergillus flavus* и *Aspergillus niger* служат индикатором качества окружающей среды вследствие чувствительности к изменениям в экосистеме, меняя при этом способность к синтезу продуктов метаболизма [5]. Они позволяют оценить степень загрязнения и состояние экосистем, реагируя на изменения в условиях окружающей среды, таких как уровень температуры, влажности и наличие поллютантов. Повышенное содержание в исследуемых образцах *Aspergillus flavus* и *Aspergillus niger* не опасно для здорового человека, но они могут вызывать осложнения для людей с астмой, аллергией и т.д.

Некоторые грибы класса *Coelomycetes*, способные вызывать заболевания культурных и дикорастущих растений, тем самым снижая жизнеспособность семенного материала, также выполняют важную функцию в экосистемах водоемов – разлагают органические вещества и поддерживают биоразнообразие. Класс грибов *Hyphomycetes* играет важную роль в очистке водоемов. Данный класс вызывает поражение растений и, в основном, не опасен для человека, но может вызывать аллергию.

В ходе проведенного исследования установлено, что изменение климата с потеплением привело к увеличению количества микроскопических грибов в экосистемах Московского мегаполиса. Резкие перепады температур в зимнее время могут привести к изменениям видового состава грибов, сокращению биоразнообразия и ограничению их экосистемных функций. В частности, некоторые виды могут начать адаптацию к новым условиям, в то время как другие, более чувствительные к климатическим изменениям, оказываются под угрозой вымирания. Важно снова отметить, что микромицеты играют ключевую роль в разложении веществ и поддержании здоровья экосистемы. Сокращение их разнообразия может

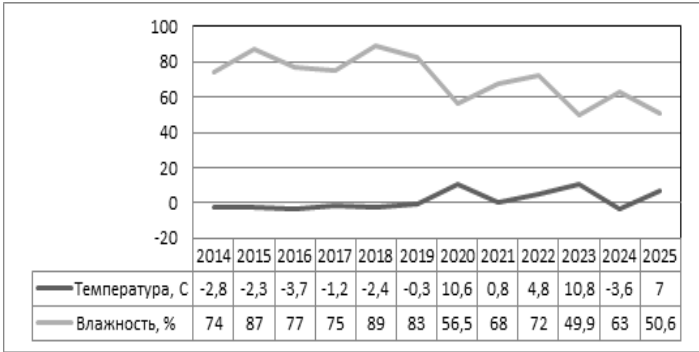


Рисунок 1. Среднемесячная температура и влажность окружающей среды в январе с 2014–2025.

отрицательно сказаться на функционировании экосистем и устойчивости окружающей среды. Обнаружение грибов класса *Coelomycetes* и *Hyphomycetes* в различных водоемах открывает новые направления исследования взаимосвязей между микробиотой и гидробиологическими режимами, влияющими на грибы, особенно в зимний период, что делает данное направление актуальным для микологии и экологии.

Закключение. Таким образом, для дальнейшего понимания динамики изменений микробного сообщества и его адаптационных процессов целесообразно проводить регулярные мониторинговые исследования с учетом метеопоказателей, а также разработать стратегию по сохранению биоразнообразия микроскопических грибов в условиях изменяющегося климата. Важным аспектом будущих исследований является необходимость углубленного изучения взаимосвязи между микроскопическими грибами и другими компонентами экосистем, что следует учесть при разработке эффективных мер по их охране и сбережению.

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ РЕМЕДИАНТОВ НА МИКОБИОТУ ПОЧВ

Терехова В.А., Сергеева Ю.Д., Федосеева Е.В., Волкова В.Д., Панова М.И., Якименко О.С.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Введение. Синтетические и природные полимеры привлекают внимание исследователей как потенциальные перспективные почвоулучшители, которые могут смягчать проявления водной и ветровой эрозии почвы, депонировать и контролировать высвобождение питательных веществ для растений, а также связывать токсиكانты [Панова и др., 2021; Delgado et al., 2024]. Большой интерес в сельскохозяйственных технологиях находят синтетические водорастворимые (гидрофильные) полиэлектролиты [Якименко и др., 2022; Urbano

et al., 2020]. В качестве одного из таких рассматривается гидролизированный полиакрилонитрил ГИПАН – линейный полианион на основе полиакриламида, который демонстрировал благоприятное воздействие на гидрофизические характеристики почвы [Novoskoltseva et al., 2022]. Учитывая тот факт, что ГИПАН является синтетическим полимером, представляется целесообразным использовать его не в чистом виде, а в композициях с биополимерами на основе гуминовых веществ (ГВ). Гуминовые вещества являются природными полиамфо-

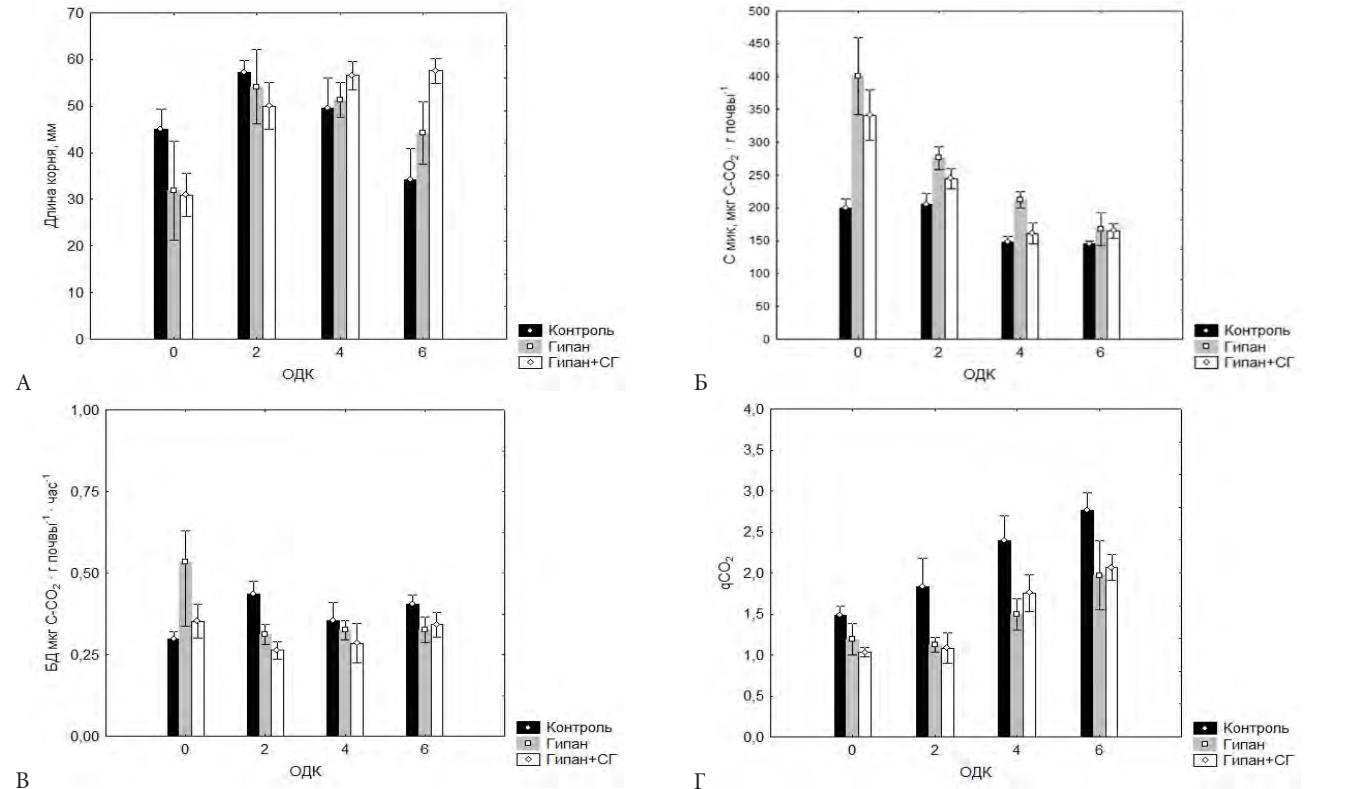


Рисунок 1. Влияние полимерных рецептур на фитотоксичность (А), содержание микробного углерода (Б), базальное дыхание (В), микробный метаболический коэффициент (Г) в дерново-подзолистой почве, загрязненной солями меди, цинка, свинца и кадмия в дозах 2, 4 и 6 ОДК.

литами. Их способность стимулировать рост и развитие растений, а также биологическую активность почвы широко известна [Pukalchik et al., 2019; Jindo et al., 2020].

В рамках проекта Программы развития МГУ «Мелиорация и охрана почв. Новые подходы с использованием полимерных композиционных материалов» проведены исследования, показавшие, что при высоком уровне полиметаллического загрязнения агродерново-подзолистой почвы ГИПАН и бинарная композиция ГИПАН+сахалинский гумат (СГ) снижали фитотоксическое действие тяжелых металлов (меди, цинка, свинца и кадмия). Также они оказывали стимулирующее действие на активность почвенных гетеротрофных аэробных микроорганизмов, выражавшееся в усилении базального дыхания, накоплении микробной биомассы в незагрязненной почве (рис.1).

Положительные эффекты полимерных ремедиантов, которые проявились в снижении фитотоксичности и повышении устойчивости микробных сообществ, говорят об улучшении экологического состояния почвы, о стабилизации ее здоровья, которое было нарушено при внесении комплекса тяжелых металлов (ТМ).

Об устойчивости функционального состояния микроорганизмов судят по изменению микробного метаболического коэффициента qCO_2 . Повышение величин qCO_2 происходит при увеличении затрат микроорганизмов на обеспечение своей жизнедеятельности, а значит может быть индикатором нарушений микробного сообщества. В почвах устойчивых экосистем значение qCO_2 обычно меньше 2-4 мкг $C-CO_2$ $mg^{-1} \cdot C_{мик} \cdot ч^{-1}$ [Иващенко, 2017]. Добавление ТМ к почве без обработки ремедиантами закономерно сопровождалось пропорциональным ростом qCO_2 , и при 4 и 6 ОДК значение qCO_2 превышало 2 мкг $C-CO_2$ $mg^{-1} \cdot C_{мик} \cdot ч^{-1}$. Внесение полимерных рецептур при всех уровнях загрязнения ТМ снижало микробный метаболический коэффициент.

Нерешенным вопросом оставался вклад микобиоты в процесс стабилизации здоровья почвы, загрязненной ТМ, в результате обработки полимерными ремедиантами.

Методы. Задачу по анализу структурных изменений микобиоты в образцах почвы решали двумя методическими подходами. Использовали классический метод микробиологического посева проб на среду Чапека и метагеномный анализ.

Результаты. Подсчет числа колониеобразующих единиц (КОЕ) микромицетов на среде Чапека показал, что ТМ стимулируют рост общей численности колоний (рис. 2). Причем это наиболее заметно в вариантах при дозах 2 и 4 ОДК ТМ. Обработка полимерными препаратами почвы как незагрязненной ТМ, так и загрязненной снижала этот показатель. Вероятно, это можно объяснить специфическими эффектами структурирования почвенных частиц, которые модулируют развитие культивируемых грибов. Анализ культурально-морфологических типов колоний в данном случае не выявил достоверных изменений микобиоты между вариантами.

Для экспериментальной проверки состава микобиоты методом метагеномного анализа брали образец почвы с 6 ОДК ТМ, поскольку при таком уровне загрязнения ремедиационный эффект полимеров по данным фитотоксичности и функциональной активности микробиома оказался наиболее выраженным. Геномная ДНК была выделена и очищена с помощью специального набора FastDNA Spin Kit For Soil (MP Biomedicals). Регион ITS рДНК амплифицировали с помощью универсальных праймеров ITS1F (5'- CTTGT-

CATTAGAGGAAGTAAGTAA-3') and ITS2R 5'- GCTGC-GTTCTTCATCGATGC-3'). Секвенирование проводили, а платформе DNB (2×300 п.н.) в компании BGI (Китай). Суммарно проанализирована выборка из 291 ОТЕ (операционных таксономических единиц). По данным геномного анализа ТМ во всех вариантах снижали разнообразие, а полимерные рецептуры повышали. Индекс Шеннона в контрольной почве – 4.67, в почве с полимером ГИПАН – 5.43, с ГИПАН+СГ – 5.47, а в присутствии ТМ в почве без полимеров – 2.62, с полимерами – 4,14 и 4,22, соответственно

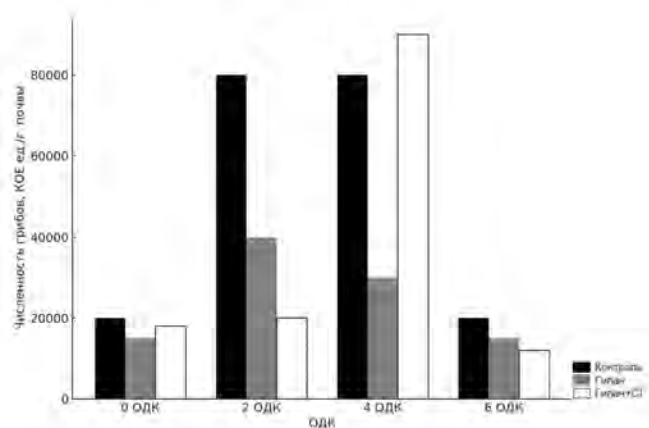


Рисунок 2. Влияние полимерных рецептур на общую численность КОЕ при разном уровне загрязнения ТМ.

Различия между образцами оценивали по представленности ОТЕ с помощью коэффициента Брея-Кертиса (несходство Брея-Кертиса). Данные NMDS анализа отражены на рис. 3.

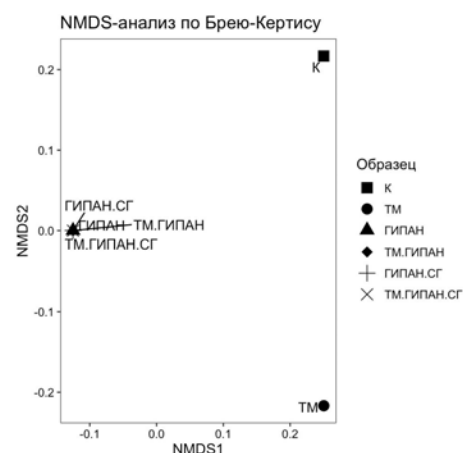


Рисунок 3. Сравнение структуры микобиоты по данным ОТЕ в образцах почвы незагрязненной (К-контроль), загрязненной ТМ и в обработанных полимерными ремедиантами (ГИПАН и СГ).

Закключение. Полимерные ремедианты оказывают влияние на снижение фитотоксичности почвы, загрязненной ТМ в высокой дозе, активизируют функциональную активность почвенного микробиома, снижая метаболический коэффициент, что свидетельствует об улучшении ее экологического состояния. Выявленное изменения общей численности культивируемых микромицетов, вероятно, не является критическим для состояния здоровья почв. А преобразование структуры микобиоты, по данным анализа OTU и соответствующим расчетам критерия Брея-Кертиса, свидетельствуют о том, что под действием полимерных рецептур структура микобиоты сдвигается в сторону большего сходства с таковой в незагрязненной почве (контрольной).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы развития МГУ (проект № 23-Ш07-13).

Авторы признательны Светлане Кулачковой и Евгению Гусеву за помощь в проведении экспериментальной работы.

Список литературы

1. Панова И.Г., Ильясов Л.О., Ярослав А.А. Поликомплексные рецептуры для защиты почв от деградации. Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2021. Т. 63. №2.
2. Delgado M.Z., Aranda F.L., Hernandez-Tenorio F. et al. Polyelectrolytes for Environmental, Agricultural, and Medical Applications. *Polymers*. 2024. 16(10): 1434 doi: 10.3390/polym16101434.
3. Якименко О.С., Зиганшина А.Р., Степанов А.А. и др. Влияние полиэлектролитов на органическое вещество некоторых почв в модельных экспериментах. *Почвоведение*. 2022. № 7.

4. Urbano B.F., Bustamante S.E., Palacio D.A., et al. Polymer supports for the removal and degradation of hazardous organic pollutants: An overview. *Polym. Int.* 2020. 6. doi:10.1002/pi.5961
5. Novoskoltseva O.A., Loiko N.G., Nikolaev Y.A. et al. Interpolyelectrolyte complexes based on hydrolyzed polyacrylonitrile for anti-erosion stabilization of soils and ground. *Polymer International*. 2022. 71(6). 697. DOI: 10.1002/pi.6289
6. Pukalchik M., Kydraliev K., Yakimenko O. et al. Outlining the Potential Role of Humic Products in Modifying Biological Properties of the Soil-A Review. *Frontiers in Environmental Science*. 2019. 7. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00080
7. Jindo K, Olivares FL, Malcher DJDP et al. From lab to field: role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. *Front Plant Sci*. 2020. 11. 530151. DOI: 10.3389/fpls.2020.00426

ОТЛИЧИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВА МИКОБИОТЫ ПЫЛЕВЫХ СЕДИМЕНТОВ, ОТБИРАЕМЫХ МЕТОДАМИ КОМПРЕССОРА И СМЕТОВ, В РЯДЕ ГОРОДОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ИЗ РАЗНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Валяев Д.А.¹, Иванова А.Е.^{1,2}, Садыков А.Н.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва

Пыль является неотъемлемым компонентом среды обитания человека, однако несмотря на это многие аспекты, связанные с санитарно-гигиенической оценкой биологической составляющей пыли, остаются освещены слабо. Так, например, имеются рекомендации по оценке качества воздуха на основе измерения количества взвешенных в воздухе твердых пылевых частиц мелких размерных фракций РМ (Particulate Matter) и по содержанию грибных спор в составе аэрозолей [1,2]. В то же время седименты, формирующиеся на поверхностях после осаждения пылевых частиц и являющиеся местами аккумуляции грибных спор, остаются нерегламентированными как с точки зрения безопасных концентраций спор грибов, так и методов отбора образцов для анализа.

В настоящей работе исследовали микобиоту образцов пыли, оседающей на поверхности почвы и дорожных покрытий, отобранных в различных районах четырех крупных городов Европейской части России: Сыктывкара, Москвы, Краснодара и Сочи. В каждом из городов образцы пыли отбирали в двух функциональных зонах: на придорожной территории и в парковой рекреационной зоне. Пробы пыли отбирали с поверхности почвы двумя различными методами: традиционно используемым методом сметов, а также с применением компрессора (Tefal X-PERT 3.60 Versatile Handstick TY6975WO) для отбора наиболее лабильной и тонкой по гранулометрическому составу фракции пыли. Работы по отбору образцов проводили в конце июня – начале июля 2022 года при сравнительно одинаковых погодных условиях в течение 3 дней в каждом городе. Оценку гранулометрического состава пыли производили посредством лазерной дифрактометрии на приборе Mastersizer 3000E. В ходе работы при выделении культивируемых микромицетов на питательной среде (агар Чапека) были даны количественные характеристики содержания грибных диаспор, а также оценка таксономического разнообразия сообществ культивируемых грибов в образцах пыли.

Результаты лазерной дифрактометрии показали, что способ отбора пылевых седиментов влияет на гранулометрический состав образцов. При отборе компрес-

сорным методом содержание доли тонкодисперсной фракции пыли с диаметром частиц менее 10 мкм увеличивается по сравнению с образцами-сметами с тех же участков. Регистрируемое увеличение составляет от 2% (Краснодар, придорожная территория) до 11% (Сочи, придорожная территория) от общего числа пылевых частиц в образце по сравнению со сметами. Выявленная закономерность изменения гранулометрического состава образцов пыли при отборе компрессором справедлива для всех городов и всех функциональных зон. Исключением явились площадки отбора на придорожных территориях Москвы (Ломоносовский проспект и Мичуринский проспект) и парковой зоны в Краснодаре (Ботанический сад имени И.С. Косенко), где отмечено увеличение доли мелкой фракции пыли в сметах.

Значительное различие содержания грибных спор в образцах пыли, отобранных в одной локации, но разными способами, установлено по данным посевов. Так, в образцах лабильной пыли, отобранной компрессорным методом, среднее число КОЕ/г пыли составляло от 5 до 65 тыс., что в 2-7 раз больше, чем содержание диаспор культивируемых грибов в сметах. Исключение составила парковая территория Краснодара, где в смете оказалось в 4 раза больше способных к росту спор грибов, нежели в компрессорных сборах. Различия в численности культивируемых грибов в образцах пыли, отобранных разными способами, подтверждены путем обработки данных в программном пакете STATISTICA. Сравнение выборок по U-критерию Манна-Уитни (непараметрический критерий, пригодный для сравнения выборок с распределением, отличным от нормального [3]) показало достоверность различий для большинства точек отбора образцов при р-уровне значимости 0,1. На одной площадке, в парке Сыктывкара, различия достоверны при р-уровне значимости 0,15.

Выявленный таксономический состав культивируемых грибов в седиментах представлен на рис.1 и рис.2. Во всех городах в обеих функциональных зонах обнаруживается наличие условно-патогенных представителей рода *Aspergillus*, являющихся индикаторами изменения внешней окружающей среды в урбозокосистемах [4]. При этом если для южных городов (Краснодар, Сочи)

аспергиллы являются неотъемлемой частью микобиоты местных почв, то для северных городов наличие в пыли среди доминантных видов представителей данного рода свидетельствует об изменении условий городских местообитаний и формировании в пыли иного, отличного от почвенного, спектра видов. Наибольшее отличие в содержании аспергиллов при разных способах отбора пыли выявлено на территории Сочи: доля аспергиллов в компрессорных сборах составляла 52-63%, что было в 7-9 раз больше, чем в сметах с аналогичных площадок (доля аспергиллов 6-7%). В южных городах (Краснодар, Сочи) доля представителей рода *Penicillium* в пыли оказалась весьма существенна, достигая до 21% в лабильной фракции и до 56% в сметах, что превышало уровень присутствия в северных городах (Сыктывкар, Москва), для которых пенициллы являются типичными представителями зональной почвенной микобиоты. Содержание темноокрашенных грибов (*Alternaria* spp., *Phoma* spp., *Cladosporium* spp., проч.), среди представителей которых преобладают виды со спорами, попадающими в размерную фракцию РМ₁₀, и известные как агенты аллергических заболеваний, также варьирует в различных городах. Высокое относительное обилие темноокрашенных грибов, отмечено в пыли города Москвы (37-70%), при этом их содержится больше в образцах-сметах, чем в лабильной пыли. При оценке присутствия представителей фитопатогенного рода *Fusarium* показано, что в образцах, отбираемым компрессорным способом, их обнаруживается больше, чем в сметах.

Метод отбора проб: компрессор

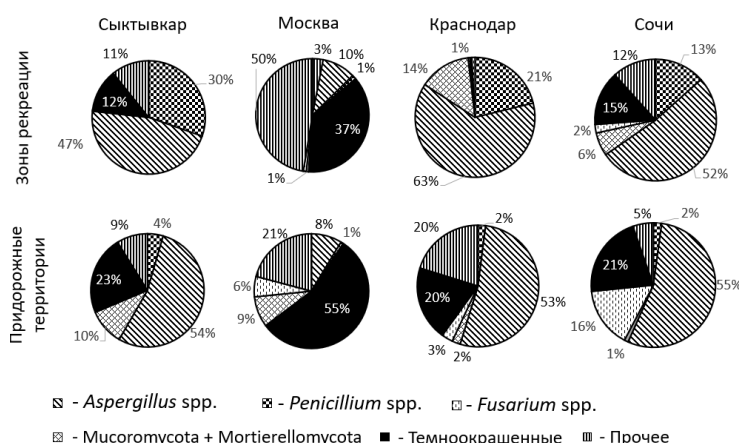


Рисунок 1. Относительное обилие (%) представителей различных таксонов в составе комплексов культивируемых грибов в пыли (метод отбора – компрессор).

Метод отбора проб: сметы

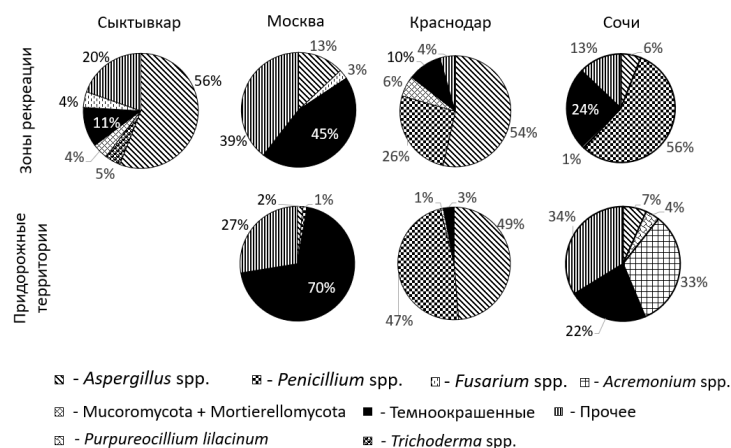


Рисунок 2. Относительное обилие (%) представителей различных таксонов в составе комплексов культивируемых грибов в пыли (метод отбора – сметы).

В результате работы показано, что в лабильной пыли наблюдается большая численность КОЕ культивируемых грибов, чем в пыли, отбираемой методом сметов, в которой содержится меньше частиц тонкой фракции размерами менее 10 мкм (как показано, в том числе грибных спор). Таксономический состав культивируемых микромицетов в пыли зависит, в первую очередь, от региона исследования (города), но также от метода отбора проб.

Исследования проведены в рамках темы госзадания «Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал» (Номер ЦИТИС: 121040800174-6).

Список литературы:

1. ГОСТ ISO 16000-20-2017
2. Reviewing National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): Scientific and Technical Information, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2023 // <https://www.epa.gov/naaqs>
3. Сиделев С.И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию. Минобрнауки РФ, Ярославский гос. ун-т им. П. Г. Демидова: Ярославль, 2012. — С. 107-109.
4. Марфенина О.Е. Антропогенная Экология почвенных грибов. – М.: Национальная академия микологии, 2005.

МИКРОМИЦЕТНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Виноградова Ю.А., Перминова Е.М., Ковалева В.А., Лаптева Е.М.
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

В настоящее время в различных биоклиматических зонах планеты лесами покрыто 30.8 % всей мировой суши, что составляет 4.06 млрд га, при этом бореальные леса охватывают площадь в 1.89 млрд га, из них 60 % приходится на территорию Российской Федерации. Бореальные леса оказывают влияние на регулирование климата и водного баланса, играют ключевую роль в почвообразовании и глобальных биогеохимических циклах, являются основой сохранения биоразнообразия (Лукина и др., 2020). Последнее столетие характеризуется значительным ростом антропогенной нагрузки на бореальные леса, что связано с промышленной заготовкой древесины. Россия является одним из мировых лидеров в лесозаготовительной и лесоперерабатывающей отраслях (Государственный доклад..., 2023). В Республике Коми, 87 % территории которой относится к землям лесного фонда, объем вырубаемой древесины ежегодно составляет около 10 млн м³ (Государственный доклад..., 2024). Быстрое нарушение лесных экосистем в условиях увеличения объемов заготавливаемой древесины приводит к перестройке функционирования микробных сообществ (Виноградова и др., 2014; Богородская и др., 2020). К ней относится изменение видового разнообразия почвенных микромицетов в результате рубки древостоя и последующего естественного лесовосстановления. Таким образом, цель данного исследования состояла в изучении видового состава микромицетного комплекса почв ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного и вторичных фитоценозов послерубочного происхождения, находящихся на разных стадиях восстановительной сукцессии. Исследования проводили на территории Усть-Куломского района Республики Коми. В качестве объектов исследования в однотипных лесорастительных условиях на территории района были выбраны участки лесных фитоценозов, находящиеся на разных стадиях развития и представляющие собой хроноряд послерубочной сукцессии: ПП-1 – коренной ельник чернично-зеленомошный; ПП-2 – елово-березовый молодняк разнотравно-зеленомошный (вырубка 2001–2002 гг.); ПП-3 – березняк разнотравный (вырубка 1969–1970 гг.) (Путеводитель..., 2007). Отбор проб для изучения микромицетного комплекса проводили из органогенных и минеральных горизонтов. В целом комплекс культивируемых микромицетов, представленный в подзолистых почвах коренного ельника и производных сообществ характеризуется высоким таксономическим разнообразием ($H=2.67$), выравненностью ($E=0.59$) и высокими значениями индекса Симпсона ($S=0.93$). Таксономический список культивируемых микромицетов включает 92 вида из 21 рода. Преобладают в структуре грибного сообщества виды отдела *Ascomycota* (81 вид из 18 родов, 88-90% от общего количества видов), что является характерной особенностью почвенных микоеценозов на разных стадиях сукцессий при восстановлении вторичных лесных сообществ. По видовой насыщенности преобладает род *Penicillium* (38 видов, что составляет 41 % от общего количества видов). В коренном ельнике наиболее разнообразны (85 видов из 18 родов) комплексы микромицетов в органогенных горизонтах почв ($H=2.76$, $E=0.63$, $S=0.94$). Для них отмечено максимальное количество видов р. *Penicillium* (34 вида), сре-

ди которых наиболее обильны *Penicillium thomii* (14%) и *Penicillium canescens* (11%), а также *Mycelia sterilla* светлоокрашенный (12%). В первые годы после рубок происходит обеднение видового состава микромицетов в органогенных и минеральных горизонтах (23 и 18 видов соответственно) и их видового разнообразия ($H=2.57$, $E=0.82$, $S=0.89$), несмотря на сходство напочвенного покрова молодой вырубки (ПП-2) и коренного ельника (ПП-1). В условиях повышенной инсоляции после рубки возрастает обилие видов рода *Cladosporium* (13%), которые служат индикатором меняющихся условий. Формирование в процессе сукцессии на участках ПП-2 и ПП-3 разнотравного растительного покрова приводит к более разнообразному сообществу микромицетов ($H=2.93$ -3.03) по сравнению с коренным ельником ($H=2.77$), но даже к 50-летнему возрасту вырубки ПП-3 сохраняется меньшее количество видов грибов в органогенных и минеральных горизонтах (55-36 соответственно), по сравнению с коренным ельником (84 вида). Присутствие в подстилке участка ПП-3 листового опада березы и осины приводит к снижению ее кислотности и соответственно к уменьшению видового разнообразия видов рода р. *Penicillium* (до 10 видов), по сравнению с коренным ельником (34 вида).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: «Микробные сообщества экосистем Севера, их биотехнологический потенциал и технологии его реализации» регистрационный номер (№ 125021201993-3).

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2023 году»: гос. Доклад. Минприроды Республики Коми [и др.]; под общ. ред. ФГБОУ ВО «УдГУ». – электронная версия. – Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2024. 162 с.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2023. 686 с.
3. Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Перминова Е.М., Анисимов С.С., Новаковский А.Б. Микробные сообщества подзолистых почв на вырубках среднетаежных еловых лесов. Известия Самарского научного центра. 2014. № 5. С. 74-80.
4. Богородская А.В., Шишкин А.С. Динамика микробной биомассы, ее структура и функциональная активность в почвах при лесовозобновлении на вырубках пихтарников Енисейского края. Почвоведение, 2020, № 1, с. 119–130.
5. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги). Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2007. 84 с.

МИКРОМИЦЕТЫ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Жуковская Л.А.¹, Семашко Т.В.^{1,2}, Васильев А.Л.², Зубарь В.А.^{1,2}¹Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск²Белорусский государственный университет, Минск

Почва является средой обитания множества микроорганизмов, в том числе микромицетов. Образуя в почве особый экогоризонт, микромицеты контролируют широкий спектр экосистемных функций: первичную и вторичную продуктивность, регенерацию биофильных элементов путем разложения растительных, животных остатков и перевода элементов из геологического в биологический круговорот, в качестве редуцентов выполняют роль посредников между живым и косным веществом биосферы [1].

Почва урбанизированных территорий испытывает постоянное давление техногенного пресса и подвергается разнообразным преобразованиям вследствие интенсивной человеческой деятельности. Транспорт, промышленность, строительство приводят к изменению агрохимических и физических свойств почвы, ее микробиологических и биохимических показателей. Микробиота почвы наиболее чувствительна к загрязнению и под влиянием антропогенного воздействия изменяется в первую очередь [2, 3].

Отражением антропогенного воздействия на экосистему являются морфологические и структурные изменения микробных популяций, изменение их биохимической активности [3]. Выявление отдельных групп микроорганизмов, способных противостоять токсичному воздействию и использование их адаптационных возможностей может найти применение в экологическом мониторинге почв при антропогенных нагрузках.

В связи с вышесказанным, целью данного исследования явилось выявление состава почвенных микромицетов, заселяющих городские территории, подверженные антропогенным нагрузкам.

В работе использовали образцы почв, отобранные в непосредственной близости от автомобильной заправочной станции «А-100», ООО «Минский завод отопительного оборудования», Минской кольцевой автомобильной дороги, ОАО «Белгазстрой».

В результате проведенных исследований установлено, что почвенная микобиота исследованных территорий представлена всего 6 родами, относящимися к 5 семействам микромицетов: *Aspergillaceae* (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp.), *Debaryomycetaceae* (*Candida* sp.), *Hypocreaceae* (*Trichoderma* sp.), *Nectriaceae* (*Fusarium* sp.), *Pleosporaceae* (*Alternaria* sp.). Это говорит о том, что под воздействием антропогенной нагрузки снижается биоразнообразие почвенной микобиоты исследуемых почв.

Наибольшее количество микроскопических грибов обнаружено в районе ОАО «Белгазстрой» ($6,0 \times 10^4$ кол./г сух. почвы), а наименьшее – в районе ООО «Минский завод отопительного оборудования» ($8,5 \times 10^3$ кол./г сух. почвы). Следует отметить, что в образцах, полученных с Минской кольцевой автомобильной дороги содержались только представители *Debaryomycetaceae* ($4,7 \times 10^4$ кол./г сух. почвы). В образцах почв, полученных с ООО «Минский завод отопительного оборудования» и ОАО «Белгазстрой» преобладали представители семейства *Debaryomycetaceae*, в то время как в образцах с автомобильной заправочной станции «А-100» преобладали представители семейства *Nectriaceae*.

Работа выполнена в рамках проекта Б25УЗБ-127, финансируемого БРФФИ.

Список литературы

1. Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г. Особенности видового состава почвенных микромицетов в хвойных лесах Минской возвышенности. Микология и фитопатология. – 2004. – Т. 38, вып. 6. – С. 1–7.
2. Забелина, О.Н. Ферментативная активность почвы природно-рекреационных ландшафтов урбанизированных территорий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/2/81.pdf>. – Дата доступа: 31.03.2025.
3. Заинитдинова Л. И. и соавт. Влияние урбанизации на микробиоценозы городских почв. Микробиология. – 2021. – № 11 (89). – DOI – 10.32743/UniChem.2021.89.11.12505.

Глава 5

Грибы-биодеструкторы

10.14427/cmr.2025.xi.05

ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ В ГЕРМОЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ОТ БИОКОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алехова Т.А.¹, Загустина Н.А.², Башаров А.А.³, Александрова А.В.¹¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова² Институт биохимии им. А.Н. Баха, ФИЦ Фундаментальные основы биотехнологии РАН, Москва³ РКК «Энергия» им. С.П. Королева, Королев

С начала первых полетов на станции «Мир» и затем ОС МКС было показано, что на поверхности конструкционных материалов присутствует разнообразная микрофлора. Постоянный мониторинг этой микрофлоры и ее изучение показали, что она способна вызывать обрастание, а в экстремальных условиях может вызвать и биокоррозионные повреждения поверхности конструкционных алюминий-магниевого сплавов. Для локализации размножения микрофлоры и изоляции ее от атмосферы станции было испытано использование пленок с биоцидными свойствами, которые формировались в ходе эксперимента с включением наночастиц серебра, которые известны своими биоцидными свойствами. В качестве пленкообразующих материалов использовали биополимеры, которые применяются в пищевой промышленности, не обладающие какой-либо токсичностью (карбоксиметилцеллюлоза и сукцинат хитозана) и поливиниловый спирт. Постановка экспериментов наземных и в условиях реальных полетов по локализации таких искусственно создаваемых на поверхности алюминий-магниевого сплавов загрязнений показала, что такие пленки способны купировать (локализовывать) загрязнения микроорганизмами поверхности конструкционных материалов без применения токсичных дезинфектантов на длительный период времени в простом исполнении. Многолетнее исследование образцов микрофлоры, отбираемых с конструкционных поверхностей на орбитальных станциях «Мир» и РС МКС, показало присутствие разнообразных микроорганизмов и ее изменение [1]. Выделенные и идентифицированные штаммы бактерий, дрожжей, грибов. Все они были депонированы в коллекциях ВКМ и ВКПМ. В результате определения микроорганизмов, присутствующих в пробах, была собрана коллекция микроорганизмов – обитателей конструкционных поверхностей РС МКС.

Наиболее часто встречающиеся в пробах штаммы микроорганизмов (бактерии и грибы) были исследованы на способность повреждать конструкционные материалы – алюминий-магневые сплавы АМг6 и 1570. Наиболее часто в образцах идентифицировали следующие виды грибов: *Aspergillus niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor*, *A. flavus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. spinulosum*, *P. chrysogenum* (рис. 1 а), а также *Rhodotorula* sp. и *Ulocladium botrytis* [2]. Все они относятся к группе технофилов и были способны образовывать органические кислоты.

Микроорганизмы из созданной из грибов коллекции использовались в дальнейшем для моделирования их воздействия в наземных условиях на поверхность образцов алюминий-магниевого сплава АМг6 и 1570 по ГОСТ 9.048-89 и ГОСТ 9.049-91. Исследование по-

вреждения сплавов в смоделированных экстремальных условиях позволили показать способность выделенных штаммов вызывать обрастание образцов алюминий-магниевого сплава АМг6 и 1570 (рис. 1), результатом которого было повреждение их поверхности. После отмывания образцы исследовались различными методами электронной микроскопии (рис. 1б) с использованием универсального исследовательского стереомикроскопа OLYMPUS SZX10 [3, 4].

Исследования показали возможность образования на поверхности металла глубоких каверн до 300-500 мкм. Наличие биокоррозионных поражений на поверхности образцов приводило также к снижению усталостных характеристик алюминиевых сплавов АМг6 и 1570 при проведении испытаний. Из результатов проведенных исследований было видно, что повреждение образцов сплава АМг6 имело сложную форму и глубину около 500 мкм, наблюдалось также подповерхностное разрушение сплава [5].

Целью дальнейшей работы было исследование возможности изоляции от атмосферы орбитальных станций и купирования биологических загрязнений, которые могут возникнуть в результате размножения микрофлоры на конструкционных поверхностях станции, а также предотвращение последующего возникновения коррозии с помощью безопасных материалов.



Рисунок 1. Обрастание грибом *Penicillium chrysogenum* образца алюминий-магниевого сплава (А) и вызываемое им в результате обрастания в течение месяца в смоделированных условиях коррозионное повреждение поверхности образца алюминий-магниевого сплава (Б, изображение получено на электронном микроскопе ZEISS EVO MA10 (Германия) [1].

Одним из способов удаления, обезвреживания и локализации возникших загрязнений может быть покрытие поверхностей пленками, с дезинфицирующими свойствами. Такие пленки могут быть получены, если их формировать с включением в состав компонентов подавляющих рост грибов. Пленки получали на осно-

ве природных полимеров, абсолютно безвредных для человека, используемых в пищевой промышленности, косметологии и медицине.

Для выполнения задачи создания и испытания безопасных покрытий формировали пленки из таких материалов, как сукцинат хитозана («Биопрогресс»), поливиниловый спирт (ПВС), карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). В структуру пленок включали в качестве дезинфицирующего агента наночастицы серебра. Такие пленки получали методом полива. При проведении испытаний высушенные пленки наносили на поверхность агаризованной среды, засеянной культурами грибов, дрожжей или бактерий, выделенных с поверхности конструкционных материалов на РС МКС.

Показано, что пленки, сформированные на основе сукцината хитозана и других испытанных полимеров с НЧ серебра при его концентрации 100 ppm оказывали фунгицидное действие в отношении испытанных дрожжей и грибов (*Penicillium chrysogenum* *Aspergillus niger* и др.), а также бактериостатическое в отношении испытанных бактерий (различные виды рода *Bacillus*) [6].

Было выполнено несколько экспериментов, в ходе которых были испытаны пленки с различными концентрациями НЧ серебра, полученного различными способами. Исследована их активность по отношению к различным микроорганизмам, которые были выделены с конструкционных поверхностей РС МКС. Однако необходимо иметь доказательства, что все или большинство видов грибов, дрожжей и бактерий, выделяемых на станции подавляется в результате купирования с помощью пленки с наночастицами серебра, следовательно необходимо расширить список испытываемых штаммов.

Таким образом, в результате проведенных работ подобраны безопасные органические полимеры, которые способны формировать пленки с включением в их состав наночастицы серебра. Полученные пленки были испытаны в реальных условиях на РС МКС. Добавление стабилизирующих наночастицы агентов позволило в течение длительного времени обеспечивать подавление размножения грибов этими пленками.

Список литературы

1. Алехова Т.А., Александрова А.В., Загустина Н.А. и др. Микроскопические грибы на Российском сегменте международной космической станции. Микология и фитопатология. 2009. Т. 43. Вып. 5. С. 9-19.
2. Алехова Т.А., Александрова А.В., Новожилова Т.Ю. и др. Мониторинг микроорганизмов-деструкторов на пилотируемых орбитальных комплексах. Прикладная биохимия и микробиология. 2005. Т. 41, № 4. С. 435-443.
3. Алехова Т.А., Александрова А.В., Новожилова Т.Ю. и др. Применение атомно-силовой микроскопии для мониторинга микробиологической коррозии алюминий-магниевого сплава. Поверхность. 2005. № 1. С. 54-59.
4. Алехова Т.А., Шкловер В.Я., Загустина Н.А. и др. Электронно-микроскопические исследования повреждений поверхности алюминиевого сплава АМГ6, вызванных выделенными на космических станциях микроорганизмами. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2010. № 9. С. 49-55.
5. Плотников А.Д., Корнеева Е.Ю., Алехова Т.А., Загустина Н.А. Исследование влияния биокоррозионных поражений на механические характеристики образцов из алюминиевых сплавов АМГ6 И 1570С применительно к условиям эксплуатации российского сегмента МКС. Космическая техника и технологии. 2017. № 4(19). С. 35-44.
6. Алехова Т.А., Александрова А.В., Загустина Н.А., Ревина А.А., Башаров А.А., «Разработка средств купирования микробиологического поражения конструкционных материалов в герметизированных объемах космических аппаратов» сборник «Эффект от использования МКС для России», Издательство «Роскосмос», 2016 г. с. 37-41.

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ К БИОДЕСТРУКЦИИ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ ГРИБОМ *IODORHANUS* SP., ИЗОЛИРОВАННЫМ С ИКОНЫ «ДЕИСУСНЫЙ ЧИН ИЗ 13 ФИГУР» В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТРЕТЬЯКОВСКОЙ ГАЛЕРЕЕ

Авданина Д.А.¹, Ермолюк А.А.¹, Башкирова К.Я.^{1,2}, Воробьева О.Б.³, Троян Е.Б.³, Шитов М.В.³, Жгун А.А.¹

¹ФИЦ Биотехнологии РАН, институт Биотехнологии им. К.Г. Скрябина, Москва

²Московский Политехнический Университет, Москва

³Государственная Третьяковская галерея, Москва

Биодеградация может наблюдаться практически на любом объекте искусства – от каменных храмов, скульптур, наскальных или настенных картин или объектов археологических раскопок до бумажных рукописей, художественных материалов (пигменты, холст, дерево) и текстиля [1] Повреждение материалов может быть механическое от грызунов или насекомых, или от действия микроорганизмов, использующих материал в качестве питания или разрушающих его продуктами своего метаболизма. Благоприятному развитию микроорганизмов на том или ином художественном материале способствует синергическое действие нескольких факторов – действие влаги, света, температуры, кислорода, загрязнений. Нарушение температурно-влажностного режима (конденсация влаги в помещениях в переходный погодный период, аварийное состояние в коммунальной сфере), транспортировка на экспозицию, и пр. могут нарушить режим содержания предметов искусства.

Объектом нашей работы явилась древнерусская икона «Деисусный чин из 13 фигур», конец 16 в. из коллекции А.И. Анисимова, поступившая в Государственную

Третьяковскую галерею в 30-х гг. прошлого столетия, 215х59,5х4 см. Иконографическая схема икон — традиционно новгородская. С лицевой стороны на деревянную основу приклеена льняная ткань (паволока), визуально она просматривается только по стыку досок основы и по краям боковых сторон. Поверхность загрунтована левкасом, содержащим мел (кальцит), белки (клей) и следы гипса. Техника исполнения: пигменты в яичной темпере и золочение. Во время бытования икона была сильно разрушена, вероятно, на это повлияли условия нахождения в необогреваемом храме с перепадами влажности и температуры. В Третьяковскую галерею памятник поступил сильно загрязненным со следами копоти и восковых подтеков, живопись находилась под потемневшим покрытием с подтеками воды и белесым налетом на больших участках, есть крупные утраты грунта, отставания краски заклеены крафтовой бумагой.

В работе [2] был подробно описан забор проб с иконы, культивирование на различных питательных микробиологических средах, генотипирование с использованием пар праймеров к гипервариабельным областям рДНК: область V3/V4 для бактерий — с

праймерами 341F (5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3'), и область ITS1 и ITS2 для грибов — с праймерами ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') и ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATGTGATATGC-3'). Выявленные бактерии относились к двум основным классам: *Bacilli* и *Gammaproteobacteria*. Интересно, что среди грибов доминирующим и единственным представителем оказался *Iodophanus* sp., относящийся к классу *Pezizomycetes*, (отдел Аскомицеты). Наиболее часто встречаемыми грибами-деструкторами художественных материалов являются плесневые грибы родов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Penicillium* [1,3]. В частности в историческом музее ROMU [4], расположенном на острове Зеландия (Дания), где строго соблюдается температурно-влажностный режим в репозитории, на деревянных рамах от картин был обнаружен этот спектр грибов. Однако способность представителей семейства *Pezizaceae* и рода *Iodophanus*, в частности, занимать такую экологическую нишу, как красочные материалы, ранее не была продемонстрирована. Известные изоляты *Iodophanus* обычно обнаруживаются на навозе травоядных животных (коров, кроликов и т. д.) и других разлагаемых природных целлюлозных субстратах [5].

Для иллюстрации процесса биоповреждения *Iodophanus* sp. темперной живописи, мы реконструировали процесс, проанализировав рост этого микроскопического гриба на серии макетов, изготовленных в научной реставрационной мастерской Третьяковской галереи с материалами для иконописи на дереве. Предварительно на доску наклеивалась паволока на осетровый клей, далее наносился слой левкаса на меловой/гипсовой основе. Далее следовал слой с защитными покрытиями (лаки, олифы и т.п.); с пигментами на основе желтковой эмульсии (отдельно создан макет с акварелью черного цвета на воде); и со связующими материалами (осетровый клей, осетровый клей и антисептик 1% Катамин АБ (бензалкония хлорид), и паволока с осетровым клеем). Всего было создано 18 макетов, каждый из которых фрагментировался на отдельные брусочки размером 2х2 см. Перед началом эксперимента макеты помещались в чашки Петри на двусторонний скотч, для исключения непосредственного контакта с водой, и проходили стерилизацию 121°C, 45 мин. После чего увлажненные макеты подвергались инокуляции 3 мкл суспензии гриба *Iodophanus* sp. с OD₆₀₀ = 0.35 в 0,9% NaCl. Инкубация зараженных макетов протекала при комнатной температуре и постоянном освещении, что необходимо для формирования и развития апотеция этого гриба [6]. Макеты каждого типа готовились в 2-х повторностях. Эксперимент продолжался в течение 20 дней. Проводилось измерение колоний растущего гриба, фотофиксация, микроскопирование.

По результатам эксперимента были определены 4 группы по интенсивности биодegradации:

- с высокой интенсивностью роста гриба (D колоний 8 – 20 мм),
- с умеренной интенсивностью (D колоний 2 – 7 мм),
- с низкой интенсивностью (D колоний 0,5 – 1,8 мм),
- с отсутствием роста.

В первую группу вошли макеты с пигментами – охра, стронциановая желтая, кадмий красный и со связующими осетровым клеем и осетровым клеем с 1% Катамином АБ. В группу с умеренной интенсивностью роста вошли макеты с морданом и пиненом (масляный клей на лаковой основе для потали и сусального золота и терпены из смолы хвойных деревьев). В группу с низ-

кой интенсивностью биодegradации вошли макеты с серо-зелеными и коричневыми пигментами на основе оксида кобальта и сиены жженой (содержит оксиды железа, марганца, кремния, алюминия), а также акриловый лак и акварель черная «Нева». В группе с отсутствием биодegradации после инокуляции находятся все макеты с пигментами, содержащими в той или иной степени белила цинковые, а также укрывочный материал олифу (на основе льняного масла с содержанием до 80 % глицеридов линоленовой и линолевой кислот).

Низкая интенсивность роста *Iodophanus* sp. на пигментах с цинковыми белилами или с серо-зелеными пигментами на основе оксидов кобальта можно объяснить токсичностью этих металлов для микроорганизмов. Некоторые тяжелые металлы требуются микроорганизмам в качестве питательных веществ и являются незаменимыми, но в больших дозах могут оказывать токсическое воздействие. Например цинк [7] является компонентом или активатором некоторых ферментов (например, алкогольдегидрогеназы, альдолазы); поддерживает целостность рибосом, биологических мембран, двойной спирали ДНК и клеточной стенки грамотрицательных бактерий; является компонентом клеточной стенки *E. coli* и участвует в проникновении колифагов T2 и T4 в клетки-хозяина; требуется для производства афлатоксина у *Aspergillus parasiticus* и для производства склеротий белой гнили *Whetzelinia sclerotiorum*. Однако токсичность ионов тяжелых металлов Zn, Cu, Co, Ni и др. для бактерий, грибов и др. микроорганизмов известна давно [7,8]. Например повышенное содержание Zn ингибирует рост и развитие гиф мицелия, снижает степень его ветвления, в частности, у *Penicillium citrinum* и *Rhizopus arrhizus*, вызывает нитрат-зависимую индукцию производства щавелевой кислоты у *Penicillium citrinum* и *Aspergillus niger*, и др. Возможно факт проявления токсичности исследованных пигментов можно использовать для создания новых антисептиков для борьбы с грибами-деструкторами темперной живописи.

Работа поддержана грантом РНФ 25-28-00231.

Список литературы

1. Avdanina D.A., Zhgun A.A., Rainbow code of biodeterioration to cultural heritage objects, Herit. Sci. 2024 121. 12 (2024) 1–24. 10.1186/S40494-024-01298-Y.
2. Avdanina D.A., Ermolyuk A.A., Bashkirova K.Y. et al. Determining the Source of Biodeterioration of the 16th Century Icon Deesis Tier of 13 Figures from the State Tretyakov Gallery, Microbiol. (Russian Fed. 93 (2024) S87–S92. 10.1134/S0026261724609345.
3. Kavkler K., Humar M., Kržišnik D. et al. A multidisciplinary study of biodeteriorated Celje Ceiling, a tempera painting on canvas, Int. Biodeterior. Biodegradation. 170 (2022) 105389. 10.1016/J.IBIOD.2022.105389.
4. Bastholm C.J., Madsen A.M., Andersen B. et al. The mysterious mould outbreak – A comprehensive fungal colonisation in a climate-controlled museum repository challenges the environmental guidelines for heritage collections, J. Cult. Herit. 55 (2022) 78–87. 10.1016/J.CULHER.2022.02.009.
5. Cinto M.E., Dokmetzian I.E., Ranalli D.A. *Iodophanus carneus* and *I. testaceus* (Ascomycota-Pezizales): Independent taxonomic identity or synonymy? A study of their morphology and isozymes *, Bol. Soc. Argent. Bot. 42 (2007) 181–187.
6. Diorio L.A. Effect of light and glucose on the apothecial development of *Iodophanus carneus* (Fungi, Ascomycotina), Rev Argent Microbiol. 28 (1996) 63–72.
7. Babich H., Stotzy G. Toxicity of zinc to fungi, bacteria, and coliphages: influence of chloride ions, Appl. Environ. Microbiol. 36 (1978) 906–914. 10.1128/AEM.36.6.906-914.1978.
8. Klimek B., Niklińska M. Zinc and copper toxicity to soil bacteria and fungi from zinc polluted and unpolluted soils: A comparative study with different types of biologic plates, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 78 (2007) 102–107. 10.1007/S00128-007-9045-6.

ИЗУЧЕНИЕ АНТИБИОТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ,
ИЗОЛИРОВАННЫХ С ПРОИЗВЕДЕНИЙ ЖИВОПИСИ В ХРАМЕ XIX В.
СВЕТЛОГО ХРИСТОВА ВОСКРЕСЕНИЯ

Жгун А.А.¹, Башкирова К.Я.^{1,2}, Жгун Е.С.³, Ермолук А.А.¹, Васильева Б.Ф.⁴,

Демьянкова М.В.⁴, Ефременкова О.В.⁴, Авданина Д.А.¹

¹ФИЦ Биотехнологии РАН, институт Биотехнологии им. К.Г. Скрыбина, Москва

²Московский Политехнический Университет, Москва

³ФНКИЦ ФХМ им. Ю. М. Лопухина ФМБА России, Москва

⁴НИИ по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе, Москва

Объекты культурного наследия состоят из материалов, многие из которых могут подвергаться биодеструкции [1,2]. Одними из наиболее уязвимых являются произведения темперной живописи [3]. Они могут подвергаться деградации в результате активности специализирующихся консорциумов микроорганизмов-деструкторов, включая плесневые грибы и бактерии, причем грибы часто играют решающую роль при биопоражении [4].

Пробы отобрали в храме Светлого Христова Воскресения Владимирской области, Петушинского района, село Воскресенье по просьбе и под наблюдением настоятеля храма, иерея Димитрия Черепанова. Иконостас этого храма, общей площадью 80 м², подвергся биопоражению, возникли многочисленные видимые глазом очаги. Иконостас находится в неотапливаемом зимой приделе храма, где не удастся соблюдать температурно-влажностный режим. Храм построен в 1818-1827 гг. на средства прихожан в память о воинах, погибших на Отечественной войне 1812 г., в советское время использовался как склад для химических удобрений, в результате реставрации в 1990-е годы заделали систему вентиляции. В настоящее время внести изменения в систему вентиляции невозможно, поскольку храм Светлого Христова Воскресения относится к объекту культурного наследия, бумаги по его реставрации закрыты. В связи с этим настоятель о. Димитрий обратился в группу генетической инженерии грибов ФИЦ Биотехнологии РАН с целью подобрать таргетированные антисептики для обработки помещения. В июне 2024 в помещении храма отобрали микробиологические пробы, получили культуры доминантных представителей микробиома, ими оказались 15 плесневых грибов (CRC-штаммы). Эти штаммы профилировали против применяемых в реставрации антисептиков и разрабатываемых препаратов 4-х классов, определили действующие концентрации. В октябре 2024, перед закрытием на зиму, провели антисептическую обработку иконостаса и других зон в этом пределе храма. Окончательные результаты будут известны после открытия храма в апреле 2025.

В текущей работе мы провели генотипирование грибных изолятов, и определили их спектр антимикробной активности, по подавлению роста репрезентативной панели тест-культур. Генотипирование проводили по характерным гипервариабельным районам рДНК грибов (ITS1 и ITS2). Для уточнения видовой принадлежности использовали районы последовательностей генов кальмодулина и бета-тубулина. Доминантными представителями микробиома храма оказались грибы, относящиеся к родам *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium* которые ранее изолировали с произведений живописи (Табл. 1) [3,4] Также в нашей работе изолировали ранее не обнаруженные на живописных материалах грибы родов *Beauveria*, *Neocucurbitaria* и *Atrocalyx*.

Таблица 1. Микроскопические грибы, изолированные в храме Светлого Христова Воскресенья.

Номер пробы	Род и вид	Семейство	Класс
CRC-2	<i>Beauveria pseudo-bassiana</i>	<i>Hypocreaceae</i>	<i>Sordariomycetes</i>
CRC-7	<i>Trichoderma koningiopsis</i>		
CRC-6R	<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Aspergillaceae</i>	<i>Eurotiomycetes</i>
CRC-6G	<i>Aspergillus</i> sp.		
CRC-12	<i>Aspergillus niger</i>		
CRC-14	<i>Aspergillus nidulans</i>		
CRC-18W	<i>Aspergillus sclerotiorum</i>		
CRC-18G	<i>Penicillium crustosum</i>		
CRC-9	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Dothideomycetes</i>
CRC-13	<i>Alternaria alternata</i>		
CRC-15	<i>Alternaria</i> sp.		
CRC-17	<i>Alternaria alternata</i>		
CRC-16	<i>Neocucurbitaria populi</i>	<i>Cucurbitariaceae</i>	
CRC-8	<i>Atrocalyx glutinosus</i>	<i>Lophotremataceae</i>	
CRC-10	<i>Rhizopus oryzae</i>	<i>Mucoraceae</i>	<i>Mucoromycetes</i>

В недавней работе показали, что грибы-деструкторы темперной живописи могут быть перспективными объектами для поиска высокоактивных антимикробных соединений. В результате скрининга 24-х STG-штаммов микроскопических грибов, изолированных в Государственной Третьяковской галерее, 14 проявили активность, по крайней мере, против одной из 16-ти тест культур, а 5 оказались перспективными для дальнейших исследований [5].

В текущей работе антибиотический потенциал исследуемых CRC-штаммов охарактеризовали методом диффузии из агаровых дисков. Степень антибиотической активности определяли по диаметру зон ингибирования роста тест-культур вокруг агаровых дисков с CRC-штаммами (Табл. 2).

Оказалось, что 75% (9 из 12) охарактеризованных штаммов проявляют активность, по крайней мере, против одной из текст-культур. Полученные результаты показали, что наиболее перспективными для дальнейшего изучения с целью поиска антимикробных соединений являются штаммы CRC-6R, CRC-12, CRC-14, CRC-18G.

Таблица 2. Ингибирование роста, мм.

Номер штамма	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633 (=RIA 445)	<i>Bacillus mycoides</i> 537	<i>Bacillus pumilus</i> NCTC 8241	<i>Micrococcus luteus</i> NCTC 8340	<i>Staphylococcus aureus</i> FDA 209P (MSSA)	<i>Staphylococcus aureus</i> ИНА 00761 (MRSA)	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> БКПМ В-4177	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	<i>Escherichia coli</i> K-12	5660 <i>Escherichia coli</i> (BW25113 <i>lptD</i>) (LB-Kan R) = INA 01355	<i>Escherichia coli</i> 5661 (Δ toLC (Kan R) = INA 01356	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>Aspergillus niger</i> ИНА 00760	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> RIA 259	<i>Mycobacterium smegmatis</i> БКПМ Ac-1339 (=4831)	<i>Mycobacterium smegmatis</i> mc2 155 (=4832)
CRC-2	0	0	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-6 R	11	0	14	22	11	14	0	0	0	12	14	0	0	0	0	0
CRC-6G	0	0	0	10	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-7	10	0	13	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-12	22	0	0	28	0	0	0	0	0	25	25	22	0	0	0	0
CRC-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0
CRC-14	16	0	19	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRC-18G	14	0	15	16	16	20	0	0	0	13	15	10	0	11	0	20
CRC-18W	0	0	20	0	0	0	0	0	0	13	10	0	0	0	13	0

Список литературы

1. Avdanina D.A., Zhgun A.A. Rainbow code of biodeterioration to cultural heritage objects. Herit. Sci. 2024 121. SpringerOpen, 2024; 12 (1): 1–24.

2. Gadd G.M., Fomina M., Pinzari F. Fungal biodeterioration and preservation of cultural heritage, artwork, and historical artifacts: extremophily and adaptation. Microbiol. Mol. Biol. Rev. / ed. Rose M.D. Microbiol Mol Biol Rev, 2024.

3. Zhgun A. et al. Detection of potential biodeterioration risks for tempera painting in 16th century exhibits from State Tretyakov Gallery. PLoS One. 2020; 15 (4): e0230591.

4. López-Miras M. del M. et al. Contribution of the Microbial Communities Detected on an Oil Painting on Canvas to Its Biodeterioration. PLoS One / ed. Chaturvedi V. 2013; 8 (11): e80198.

5. Ermolyuk A.A. et al. Determination of Antimicrobial Activity in Fungi-destructors of Tempera Painting Isolated in the State Tretyakov Gallery. Appl. Biochem. Microbiol. Pleiades Publishing, 2024; 60 (5): 1–9.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ АНТИСЕПТИКОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ЖИВОПИСИ ОТ ГРИБОВ-ДЕСТРУКТОРОВ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТРЕТЬЯКОВСКОЙ ГАЛЕРЕЕ

Бенько Е.Е.^{1,2}, Авданина Д.А.¹, Ермолюк А.А.¹, Лопатин С.А.¹, Ежова А.М.^{1,3}, Варламов В.П.¹, Жгун А.А.¹

¹ ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт Биоинженерии им. К.Г. Скрябина, Москва

² Московский Политехнический университет

³ РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва

Микроорганизмы являются важнейшим фактором, приводящим к разрушению объектов культурного наследия, включая архитектурные памятники, фрески и произведения живописи. Разрушение происходит из-за того, что микроорганизмы-деструкторы, в частности микроскопические грибы, используют органические и неорганические компоненты материалов в качестве субстрата.

Современные стратегии защиты культурного наследия от биодеградации включают использование анти-септиков. Однако для произведений живописи палитра безопасных и эффективных антисептиков ограничена и продолжает сокращаться, поскольку многие традиционные препараты способны взаимодействовать с живописными материалами, что приводит к их порче, и токсичны для реставраторов и посетителей музеев. Ужесточение нормативных требований также затрудняет разработку и внедрение новых средств. Катамин АБ (Кат АБ, бензалкония хлорид) — распространенный, но не универсальный антисептик, при повсеместном использовании у микроорганизмов развивается резистентность. Пентахлорфенолят натрия (ПХФН) высокотоксичен и вступает во взаимодействие с живописными материалами [1, 2].

В связи с этим существует необходимость в разработке новых эффективных антисептиков с широким спектром действия, инертных для живописных материалов и нетоксичных для людей. Также в мировой реставрационной практике появляется тенденция к использованию «зеленых» биоцидов. Хитозан является экологически чистым и перспективным препаратом. Этот природный полимер, получаемый путем деацетилирования хитина, широко используется в различных отраслях, включая водоочистку, фармацевтику, медицину, косметологию и пищевую промышленность.

В предыдущей работе изучили микробиологическое разнообразие в залах древнерусской живописи в главном историческом здании Государственной Третьяковской галереи (Лаврушинский переулок, 10, Москва). Анализ микробиома выявил присутствие около 700 различных бактериальных последовательностей и 300 последовательностей микроскопических грибов [3]. Среди них определили грибы-деструкторы живописных материалов, присутствующих в составе микробиома Третьяковской галереи и потенциально опасные для экспонатов. Эти микроорганизмы выделили в чистые линии и в дальнейшем использовали в качестве тест-культур для разработки таргетированных антисептиков, в том числе на основе хитозанов [4, 5]. Антисептики на основе крабового хитозана оказались перспективными для защиты произведений живописи [6, 7].

Однако традиционные источники хитина (панцири ракообразных) становятся менее надежными из-за экологических проблем и климатических изменений. Загрязнение и инфицирование ракообразных также усложняют процесс производства биополимера. Поэтому поиск альтернативных источников хитозана актуален. В работе провели сравнение антисептической активности низкомолекулярных хитозанов, выделенных из 4-х

объектов: камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*), креветки розовой (*Parapenaeus longirostris*), мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) и сверчка домашнего (*Acheta domesticus*).

Низкомолекулярные хитозаны получили в результате двухстадийного гидролиза исходного хитина. Сначала получили высокомолекулярный хитозан, при помощи щелочного гидролиза NaOH, с молекулярном массой (ММ) от 208 до 452 кДа. Затем провели химический гидролиз с различными концентрациями азотной кислоты (от 3 до 13%) для получения фракций низкомолекулярного хитозана, с ММ от 24 до 102 кДа. В результате получили 20 фракций низкомолекулярного хитозана: из *P. camtschaticus* с ММ 94, 63, 48, 41 и 34 кДа; из *P. longirostris* с ММ 102, 78, 48, 42 и 36 кДа, из *H. illucens* с ММ 81, 60, 33, 27 и 34 кДа; из *A. domesticus* с ММ 90, 56, 34, 29 и 26 кДа.

Противогрибковую активность низкомолекулярных хитозанов изучили против 6-ти тест-культур, представляющих штаммы грибов-деструкторов произведений живописи: *Aspergillus protuberus* STG-106 (номер доступа в GenBank: MK268342.2), *Aspergillus versicolor* STG-25G (MK260015.1), *Cladosporium halotolerans* STG-52B (MK258720.1), *Microascus paisii* STG-103 (MW591474.1), *Mucor circinelloides* STG-30 (MK260195.1) и *Simplicillium lamellicola* STG-96 (MK262921.1). В качестве положительного контроля использовали применяемые в художественной реставрации антисептики Катамин АБ и ПХФН. Тест-культуры инокулировали на агаризованную среду Чапека-Докса с добавлением вариантов хитозанов (в концентрации 1 мг/мл) или стандартных антисептиков или без добавок (контроль). Эффективность ингибирования определяли по диаметру радиального роста колоний в опытных образцах по отношению к росту в контроле. Измерение проводили в течение 7-ми недель. Среди ракообразных наибольшую антимикробную активность обнаружили после добавления хитозана из креветки с ММ 42 кДа, а среди насекомых – после добавления биополимера, выделенного из мухи черная львинка с ММ 24 кДа (Рис. 1).

Динамика ингибирования продемонстрировала, что наиболее активными являются хитозаны из краба, креветки и мухи. Хитозан, выделенный из сверчка, ранее неохарактеризованного объекта, проявил наиболее низкие антимикозные свойства (Рис. 2).

Проведенное исследование по динамике ингибирования тест-культур в течение 7-ми недель выявило, что наилучшую антимикозную активность демонстрируют хитозаны, выделенные из креветки (ММ 42 кДа), краба (ММ 34 кДа), мухи (ММ 24 кДа) и сверчка (ММ 29 кДа). При этом наиболее перспективными для дальнейшего изучения в целях защиты произведений живописи от биопоражения оказались хитозаны, выделенные из креветки (ММ 42 кДа) и мухи (ММ 24 кДа). Эти соединения превосходили по эффективности антисептики, применяемые для защиты произведений живописи, и могут стать основой для разработки новых средств защиты объектов культурного наследия от биопоражения.

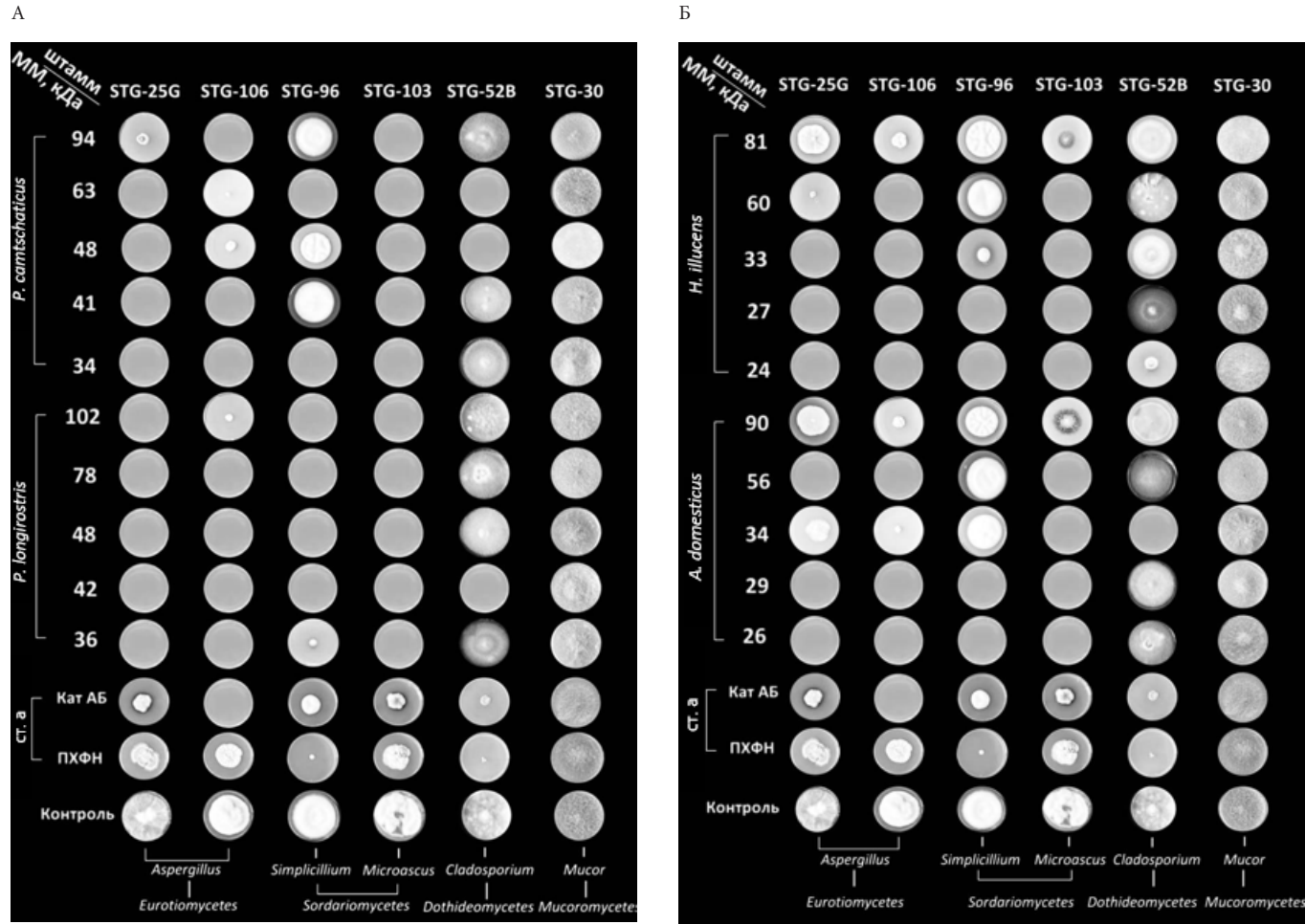


Рисунок 1. Рост STG-штаммов после 19 суток культивирования на среде агаризованной среде Чапека-Докса с добавлением хитозанов, полученных из: А – ракообразных (*P.camtschaticus* и *P. longirostris*), стандартных антисептиков (ст.а, Кат АБ – Катамин АБ, ПХФН – петнахлорфенолят натрия) и без добавок (контроль); Б – насекомых (*H. illucens* и *A. domesticus*), стандартных антисептиков (ст.а, Кат АБ – Катамин АБ, ПХФН – петнахлорфенолят натрия) и без добавок (контроль).

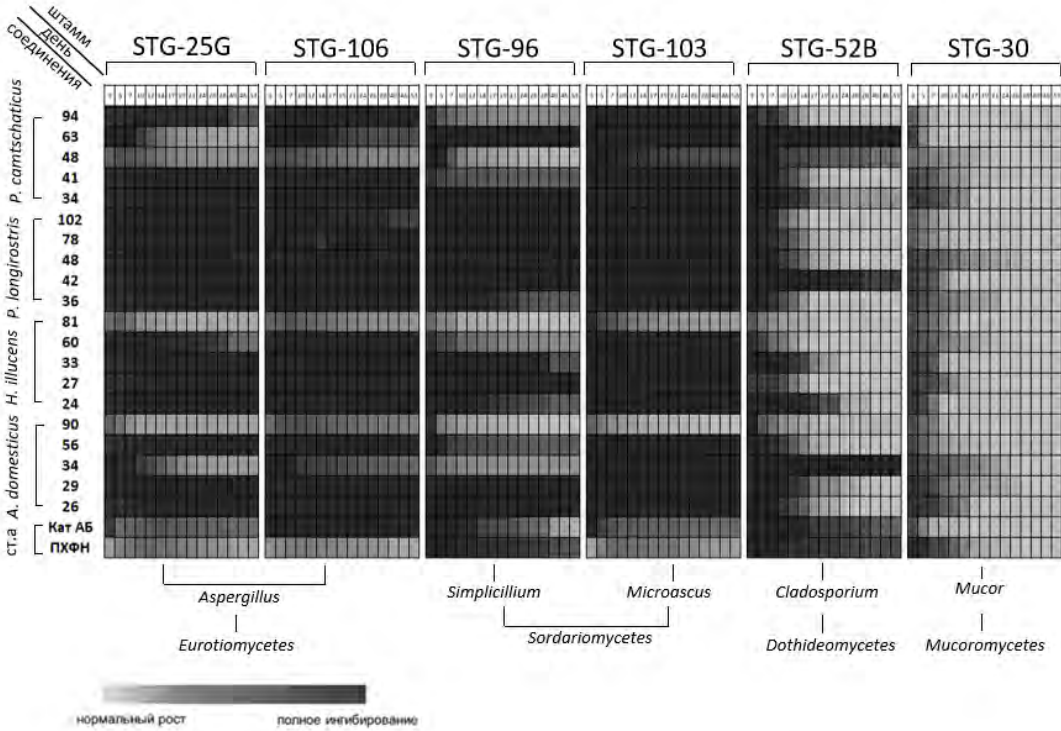


Рисунок 2. Динамика ингибирования роста STG-штаммов после 3, 5, 7, 10, 12, 14, 17, 19, 21, 24, 26, 28, 40, 46 и 53 суток культивирования на агаризованной среде Чапека-Докса с добавлением хитозанов и стандартных антисептиков.

Список литературы

1. Ciferri O. Microbial degradation of paintings Appl. Environ. Microbiol. Appl Environ Microbiol, 1999. Vol. 65, № 3. P. 879–885.
2. Gordon D. How dangerous is pentachlorophenol? Med. J. Aust. Med J Aust, 1956. Vol. 43, № 13. P. 485–488.
3. Zhgun A. et al. Detection of potential biodeterioration risks for tempera painting in 16th century exhibits from State Tretyakov Gallery PLoS One. Public Library of Science (PLoS), 2020. Vol. 15, № 4. P. e0230591.
4. Khayrova A. et al. Evaluation of Antibacterial and Antifungal Properties of Low Molecular Weight Chitosan Extracted from *Hermetia illucens* Relative to Crab Chitosan Molecules. 2022. Vol. 27, № 2. P. 577.

5. Ermolyuk et al. Search for new materials based on chitosan for the protection of cultural heritage Heritage Science 2024. Vol. 12:330. P. 1–14.
6. Zhgun A.A. et al. Search for Efficient Chitosan-Based Fungicides to Protect the 15th–16th Centuries Tempera Painting in Exhibits from the State Tretyakov Gallery Microbiol. (Russian Fed. 2020. Vol. 89, № 6. P. 750–755.
7. Zhgun, A. et al. The Application of Chitosan for Protection of Cultural Heritage Objects of the 15–16th Centuries in the State Tretyakov Gallery. Materials 2022, 15, 7773.

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ БИООБРАСТАНИЯ

Дешева Е.А.¹, Печеркин В.Я.², Василяк Л.М.²

¹ ГНЦ Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Биологическое повреждение материалов – одна из древнейших проблем человечества. Биостойкость металлов зависит от многих факторов: химического состава, дополнительных компонентов и добавок; доступности поверхности для развития на ней микроорганизмов; адгезивных свойств микробов; загрязненности материалов продуктами окружающей среды (биозагрязненность поверхностей) и др.

Биоповреждение материалов происходит одновременно с их старением под действием физических и/или химических факторов окружающей среды – тепла, света, проникающей радиации, кислорода, влаги, агрессивных химических агентов, механических нагрузок. Эти оба процесса биоповреждение и старение дополняют и усугубляют друг друга как для полимеров, так и для металлов. По оценкам, в промышленно развитых странах убытки от коррозии составляют около 4% валового национального продукта, а на биокоррозию приходится от 10% до 20% этих затрат. Среди микроорганизмов повреждающее воздействие на металлы оказывают бактерии и микроскопические грибы, высокая разрушающая активность последних обусловлена способностью адаптироваться к материалам различной химической природы, что связано, прежде всего, с наличием у них хорошо развитого и мобильного ферментного комплекса, а также способности вырабатывать широкий спектр метаболитов, в частности, кислот. Применение физических методов обеззараживания позволяет уменьшить скорость биоповреждений в процессе старения различных материалов и снизить экологическую нагрузку. Однако, такие методы, как, в частности, УФ обеззараживание или плазменная обработка не имеют эффекта пролонгированного действия, что сильно ограничивает области их применений. Защита различных металлов от биокоррозии, вызванной микробиологическим обрастанием, может осуществляться различными путями, главным из которых является оградить материал от соприкосновения с агрессивной средой. Несмотря на то, что для предотвращения коррозии и борьбы с ней применяется множество мер, основным средством борьбы с биокоррозией является широкомасштабное применение покрытий (красок с биоцидами, анодирование и др.). Защита поверхностей биологически активными защитными слоями для подавления развития микроорганизмов является интересным и перспективным направлением для долговременной защиты поверхностей различных материалов.

Для защиты материалов от светового старения применяют светостабилизаторы, действие которых основано как на поглощении солнечного света (УФ-аб-

сорберы), так и на торможении реакций деструкции. Последние инициируются светом, но развиваются в его отсутствие. Защитное действие УФ-абсорберов заключается в том, что вся поглощенная ими энергия расходуется на перестройку макромолекул. Возвращение к начальной структуре сопровождается выделением теплоты, не опасной для материала. Активными светостабилизаторами для многих промышленных материалов являются, в частности, неорганические пигменты (TiO_2 , ZnS). Мы разработали технологию нанесения тонкого слоя диоксида титана на поверхность металлов для защиты от светового старения и биобобрастания. На первом этапе были проведены лабораторные испытания в условиях, благоприятствующих росту микромицетов.

Для исследования слоя оксида титана в качестве защитного покрытия от развития плесневых грибов были изготовлены образцы из нержавеющей стали марки 12X18H10T размером 5x5 см. С помощью установки магнетронного напыления на них были нанесены тонкие слои оксида титана. Известно, что биологической активностью обладает оксид титана в форме анатаз. В тонких пленках на поверхности оксид титана в форме анатаз преимущественно образуется при высоких температурах. Толщина нанесенного слоя оксида составила 300 нм, а средний размер кластеров 5 – 10 нм.

С помощью КРМ спектров была определена доля анатаза в нанесенных слоях.

В качестве контрольного образца использовался промышленно выпускаемый порошок оксида титана марки Degussa р25 (США), в котором содержание оксида титана в форме анатаз составляет 15%, а в форме рутил – 85%. Измерения показали, что в наших образцах содержание оксида титана в форме анатаз составляет не менее 90%.

Исследования грибостойкости защищенных и контрольных образцов проводили по ГОСТ 9.049-91. Сущность испытаний заключается в выдерживании образцов материалов, зараженных спорами грибов, в условиях, оптимальных для их развития, с последующей оценкой грибостойкости по степени развития плесневых грибов. Этот метод позволяет оценить грибостойкость материалов и их компонентов в условиях присутствия минеральных и органических загрязнителей. Испытания проводили в течение 28 суток при комнатной температуре, при ярком летнем освещении. Оценивали грибостойкость образцов по 6-балльной шкале ГОСТа 9.48-75.

На основании результатов исследований был определен показатель грибостойкости, которые для контрольных

ных образцов составлял 3 балла, для опытных образцов был равен 0 баллов.

Таким образом, экспериментальный тонкий слой оксида титана, нанесенный на поверхность нержавеющей стали, явился эффективным инактиватором роста микровицетов при ярком освещении, при моделировании неорганического и органического загрязнений. Согласно ГОСТ 9.049-91 данная защита оценивалась как фунгистатическая. Показана 100% эффективность разработанного тонкого слоя окиси титана в качестве защиты поверхности нержавеющей стали марки 12X18H10T от биокоррозии при однократном заражении грибами.

Целью дальнейших исследований было определить эффективность тонкослойного покрытия из диоксида титана от биообрастания образцов металла в полевых условиях на открытой площадке в тропическом климате. Для этого было изготовлено по десять образцов из нержавеющей стали с покрытием диоксида титана и десять образцов – контрольные без покрытия.

Все образцы размещали на открытой площадке климатической испытательной станции в условиях тропического климата. Каждый образец закрепляли специальными фарфоровыми креплениями.

Условия экспозиции определялись естественным состоянием окружающей среды тропического климата. Время непрерывной экспозиции составляло 6 месяцев.

После окончания экспонирования каждый образец помещали в индивидуальный стерильный пакет и доставляли в лабораторию для проведения исследований. В лаборатории каждый образец в антисептических условиях ламинарного бокса помещали в стерильную чашку Петри. Определяли рост грибов по степени

развития микровицетов. Численность грибов на поверхности образцов определяли методом протирания поверхности каждого образца стерильным тампоном, которые отбалтывали в физиологическом растворе и далее проводили посев на поверхность питательной среды, в качестве которой использовали картофельно декстрозный агар (КДА) фирмы HiMedia.

Чашки Петри с посевами термостатировали при температуре 28± 1 °C в течение 5-7 суток. По окончании срока инкубирования проводили подсчет выросших колониеобразующих единиц микровицетов.

На поверхности образцов с покрытием роста грибов не обнаружено и не выявлено жизнеспособных единиц микровицетов. Рост грибов на контрольных образцах составлял 2 балла и был представлен грибом *Bjerkandera adusta*.

Таким образом, невооруженным глазом не виден рост грибов на контрольных и опытных образцах. Однако, на контрольных образцах без покрытия фиксировался рост мицелий и это вероятнее всего связано с органическими загрязнениями образцов из окружающей среды, которые дают толчок росту грибов на контрольных образцах. На защищенных образцах фотокаталитическое покрытие предотвращало загрязнение образцов, а также, разрушало органику, и, следовательно, роста грибов не происходил.

В результате проведенных полевых испытаний было показано, что разработанное тонкослойное покрытие диоксида титана может защищать поверхность металлов от биообрастания грибами и от загрязнения органическими веществами из окружающей среды.

ДЕГРАДАЦИЯ БИОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА С АНТИМИКРОБНЫМИ ДОБАВКАМИ

Иванушкина Н.Е.¹, Кочкина Г.А.¹, Александян К.В.^{2,3}

¹Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина, ФИЦ Пуцинский научный центр биологических исследований РАН, Пуццино

²ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

³Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва

Производство биопластиков является быстро растущей инновационной отраслью во всем мире, поскольку их использование в жизни человека уменьшает выбросы углерода, дает возможность минимизировать отходы и способствует снижению загрязнения окружающей среды. Крупнейшим сегментом рынка биопластиков остается упаковка, производство которой в 2023 году составляло 43% от общего рынка биопластиков [1]. Полилактид (ПЛ) является одним из наиболее часто используемых биопластиков для изготовления изделий с коротким сроком службы – пищевой упаковки, пакетов, тары. Прогнозируется, что производственные мощности ПЛ вырастут в течение следующих пяти лет более чем в 2,5 раза [2].

Дегградация ПЛ представляет собой сложный механизм, обусловленный свойствами полимера, температурой окружающей среды и набором микроорганизмов в данной среде. Например, дегградация ПЛ в естественной водной среде может длиться от 12 до 16 месяцев [3]. Поэтому добавление к сырью для производства ПЛ различных добавок, которые, с одной стороны, могут повысить биоцидные свойства пластика, что крайне полезно при использовании его в качестве упаковки, а, с

другой стороны, будут способствовать ускорению процесса его дегградации в природе, крайне актуально.

В качестве таких добавок могут выступать наночастицы серебра, антимикробные свойства которых хорошо известны [4], а также эфирные масла, например, лавандовое и лимонное. Показано, что эфирные масла также обладают высокими антимикробными свойствами [5] и используются для нанесения на полимерные материалы для придания им биоцидных свойств [6]. Гораздо менее изучен вопрос о влиянии внесенных эфирных масел на биодеградацию ПЛ.

Для оценки возможности биодеградации мицелиальными грибами ПЛ с добавлением наночастиц серебра (концентрация 0,1 и 0,5 мас.%) в комбинации с полиэтиленгликолем 4000 (ПЭГ 4000) (10 мас.%) или ПЛ с добавлением природных эфирных масел (лимонного и лавандового в концентрациях 5 и 20 мас.%) нами были проведены эксперименты, в которых материалы, обработанные споровой суспензией в воде грибов-биодеградаторов из коллекции ВКМ (ВКМ F-109, ВКМ F-245, ВКМ F-265, ВКМ F-378, ВКМ F-1025, ВКМ F-1115, ВКМ F-1117, ВКМ F-2039, ВКМ F-2096) выдерживались в условиях, оптимальных для роста грибов (температура 29

$\pm 2^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха более 90 %), в течение 84 суток в соответствии с требованиями ГОСТ 9.049-91.

Созданные биокомпозиты проявили высокую устойчивость к биоразрушению под воздействием мицелиальных грибов. Через 84 дня испытаний невооруженным глазом рост грибов не был замечен во всех вариантах опыта. В частности, пластины независимо от концентрации добавленного масла, как лимонного, так и лавандового, не деформировались, не изменили окраску, что часто наблюдается при развитии грибов на «бедных» субстратах за счет образования вторичных метаболитов (в частности, типично для развития *Aspergillus terreus*).

В последующих исследованиях был использован тот же набор тест-организмов и те же условия эксперимента, однако для приготовления споровой суспензии была использована уже не вода, а питательная среда, обеспечивающая грибы необходимыми питательными веществами для активного развития.

Понятно, что добавление легкодоступных питательных веществ позволило тест-организмам развиваться на поверхности всех использованных в работе композиций материалов.

В случае композиции с коллоидным серебром видимый рост грибов появился через 7 дней инкубации, тогда как добавление эфирных масел первоначально замедлило развитие грибов, видимый рост стал замечен лишь через 14 дней инкубации. К концу эксперимента характер грибного роста представлял собой плотную светлоокрашенную мицелиальную массу, покрывающую около 100% поверхности пленок с добавлением коллоидного серебра (0,1 и 0,5 мас.%) или эфирных масел в концентрации 5 мас.%, тогда как в случае с добавлением 20 мас.% масел грибной рост был отмечен лишь на 25% поверхности.

Для уточнения диагноза грибов, активно развивающихся на поверхности исследованных композиций, были проведены дополнительные исследования с использованием методов посева на питательную среду, обеспечивающую активное развитие грибов. Наиболее активно на всех изученных композициях развивались представители родов *Aspergillus* и *Penicillium*. На биокомпозитах с коллоидным серебром доминировали *A. sojae* BKM F-2096 и *A. terreus* BKM F-1025, среди других можно отметить *P. chrysogenum* BKM F-245, *P. aurantiogriseum* BKM F-265.

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА И РЕЗИСТЕНТНОСТЬ СООБЩЕСТВ ГРИБОВ-МИКРОМИЦЕТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОЧАГОВ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ

Халдеева Е.В.

Казанский НИИ эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора

Качество жизни человека во многом определяется качеством окружающей среды. Важной составляющей современной городской среды является качество жилых помещений, в т.ч. их внутренней среды. Строительные конструкции, отделочные материалы подвержены воздействию различных неблагоприятных факторов. Несмотря на то, что для зданий и сооружений, расположенных на открытом воздухе, главную роль играют климатические, физические и химические факторы, воздействия биологического характера также являются фактором риска. Еще большее значение биологические факторы риска приобретают в закрытых помещениях, в которых современные городские жители проводят до 80% времени.

В случае с эфирными маслами наиболее активно развивались *A. brasiliensis* BKM F-1119 и *A. terreus* BKM F-1025. Кроме того, в отличие от композиций с добавлением коллоидного серебра, были выявлены организмы не входящие в использованный набор тест-организмов, но активно развивающиеся на поверхности пластин. Вероятно, они изначально находились на пленках и добавление питательных веществ способствовало их активному развитию наряду с тест-организмами. Так, только на пластинах чистого ПЛ был выявлен вид *Umbelopsis longicollis*, при добавлении эфирных масел он отсутствовал. В то же время, только на пластинах с добавлением эфирных масел активно развивались актиномицеты *Streptomyces* sp., относящиеся к прокариотным микроорганизмам, для которых характерен мицелиальный рост.

Таким образом, показано, что такие биоцидные добавки как коллоидное серебро и эфирные масла, добавленные в композицию с ПЛ, не ингибируют развитие мицелиальных грибов – биодеструкторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (в части исследования составов с наночастицами серебра), проект РНФ 23-73-00076).

Список литературы

1. European Bioplastics. Bioplastics market development update, 2024. www.european-bioplastics.org/market/
2. European Bioplastics. Biodegradable plastics. european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/
3. Krasowska K., Heimowska A. Degradability of polylactide in natural aqueous environments Water, 2023, 15(1), 198. DOI:10.3390/w15010198
4. Liu Y., Yang M., Wang J. et al. Ag-CNC nanoparticles decorated thermoplastic starch/PLA/PBAT composite film with superior antibacterial property, enhanced barrier capacity and high UV-shielding effect Industrial Crops and Products, 2025, 225, 120510. DOI:10.1016/j.indcrop.2025.120510.
5. Tkachenko H., Opryshko M., Gyrenko O., Maryniuk M., Buyun L., Kurhaluk N. Antibacterial properties of commercial lavender essential oil against some Gram-positive and Gram-negative bacteria Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality, 2022, 6(2), 220-228. DOI:10.15414/ainhql.2022.0023
6. Stular D., Jerman I., Mihelcic M., Simoncic B., Tomsic B. Antimicrobial activity of essential oils and their controlled release from the smart PLA fabric IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018, 460(1), 012011. DOI:10.1088/1757-899X/460/1/012011

Одним из биологических факторов риска является биоповреждение и разрушение строительных и отделочных материалов в результате жизнедеятельности микроскопических грибов. Космополитизм грибов-микромикетов, их способность выделять во внешнюю среду большое количество метаболитов, в т.ч. кислот и токсинов, активное размножение и способность спор грибов распространяться с воздушными потоками на значительные расстояния или находиться во взвешенном состоянии в воздухе помещений обуславливает, с одной стороны, возможность возникновения очагов грибкового биоповреждения в любом помещении, с другой – длительное и, зачастую, на первых порах незаметное влияние грибов и их метаболитов на организм

человека. При вдыхании летучие органические соединения могут вызывать раздражение слизистой оболочки, токсины – оказывать выраженные токсические эффекты (некоторые из них обладают канцерогенными, мутагенными, тератогенными, эстрогенными, геморагическими, иммунотоксичными, нефротоксичными, гепатотоксичными, дерматотоксичными и нейротоксичными свойствами) [1]. Попадание в дыхательную систему человека конидий грибов, размер которых не превышает 5 мкм, может привести к развитию микогенной сенсibilизации, а также спровоцировать развитие микозов ЛОР-органов у лиц со сниженным иммунитетом [2,3].

При этом в случае формирования в очаге биоповреждения сообщества микроорганизмов не исключена вероятность синергического воздействия на материал, что может привести к усилению биоразрушения за счет выделения большего числа ферментов [4]. Это может приводить к смещению равновесия в биокаталитической системе в сторону продуктов глубокой деградации и заметно ускорять процесс разложения [4].

Своевременное выявление и элиминация очагов грибкового биоповреждения является важным элементом стратегии, направленной на обеспечение качественной среды обитания человека и снижение риска негативного воздействия микогенных факторов.

Ведущее место в области борьбы с грибковым биоповреждением занимают химические методы, которые отличаются наибольшей эффективностью действия при защите материалов и сооружений [5]. Использование веществ с направленным противогрибковым эффектом – фунгицидов – позволяет обеспечить защиту материала путем введения в состав либо нанесением на поверхность. Однако оба эти способа могут оказаться малоэффективными в случае низких концентраций или недостаточной эффективности фунгицидов, а также при пористой и неоднородной структуре материала.

Недостаточная эффективность фунгицидов чаще всего обусловлена адаптацией микромицетов к биоцидным средствам [5]. В то же время на эффективность противогрибковой обработки может влиять и тот факт, что в очагах биоповреждения жизнедеятельность грибов-микромицетов протекает в составе сложного многокомпонентного сообщества. В такое сообщество могут входить микроорганизмы, непосредственно не принимающие участие в процессе биодеструкции, но при этом играющие важную роль в жизнедеятельно-

сти сообщества и способствующие накоплению общей биомассы [5].

Ранее было показано [5], что чувствительность микромицетов к фунгицидам может варьировать в зависимости от моно- или совместного существования, как в сторону снижения, так и увеличения резистентности.

В связи с этим представляет интерес изучить состав наиболее распространенных сообществ микроорганизмов в очагах биоповреждения современных жилых помещений и чувствительность к фунгицидным препаратам смешанной микобиоты и монокультур грибов-микромицетов.

Материалы и методы. Проведено микологическое исследование 105 образцов строительных и отделочных материалов, отобранных сухим способом в жилых помещениях с визуально выраженными признаками биоповреждения. Отбор проб проводили методом соскоба с поверхности или из глубины конструкции в стерильный контейнер. Пробу измельчали, отбирали навеску 1 г. Навеску суспендировали в 10 мл стерильной дистиллированной воды. Высевали 0,2 мл суспензии на поверхность агаризованной среды Сабуро (с антибиотиком и без) и Чапека. Культивирование проводили при 26±3°С в течение 5-14 суток. Видовой состав грибов-микромицетов определяли по их морфологическим и физиологическим признакам. Рассчитывали количество грибов на 1 г (кол-во КОЕ*50). Для оценки фунгицидного действия препаратов использовали диско-диффузионный метод [5]. Использовали коммерческие составы СТ99 («Ceresit»), Биопаг, Биодез Оптима, Мипор в концентрациях, рекомендованными производителями. Оценивали эффективность препаратов в отношении моно- и смешанных культур.

Результаты. Анализ полученных результатов, что по частоте выявления в очагах биоповреждения лидировали представители родов *Penicillium* и *Aspergillus* (рис.1), что в значительной степени коррелирует с обнаружением данных грибов в пробах воздуха городских квартир г.Казани [3,6].

Грибы в монокультуре были выявлены в 10 случаях, еще в 9 – отмечали ассоциацию единственного вида гриба с бактериями. В 86 случаях в пробах выявлены консорциумы микроорганизмов. Наиболее распространенными сообществами грибов-микромицетов являлись сочетания различных видов грибов с *Penicillium* spp. (рис.2). При этом лишь для *Verticillium* spp. частота выявления таких ассоциаций заметно превышала частоту

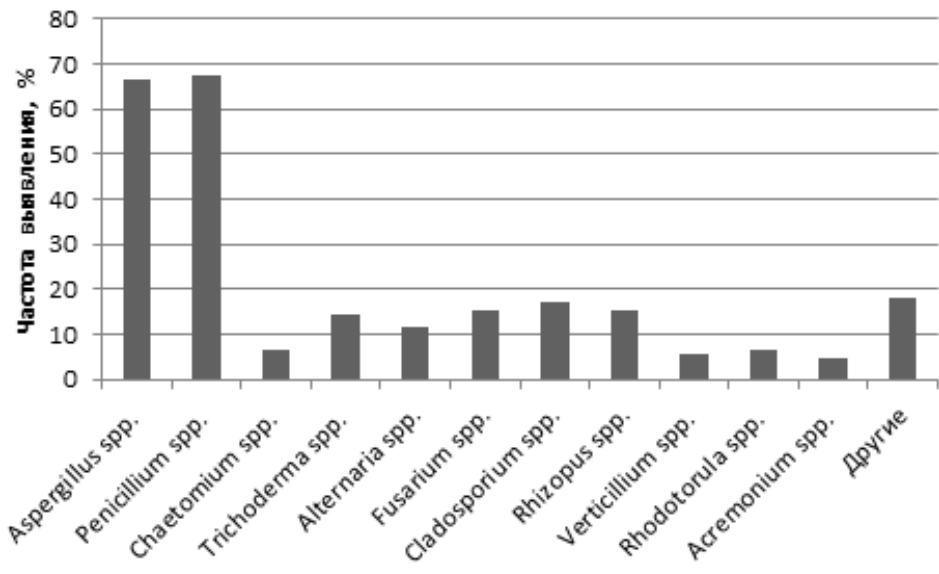


Рисунок 1. Видовой состав грибов-микромицетов, выделенных из очагов биоповреждения.

выявления *Penicillium* spp. в пробах. Примечательно, что ассоциации *Aspergillus brasiliensis* с *Penicillium* spp. наблюдались чаще, чем других представителей *Aspergillus* с *Penicillium* spp.

Анализ состава наиболее распространенных трехкомпонентных ассоциаций показал, что лишь для сочетания *Verticillium* spp., *Aspergillus brasiliensis* и *Penicillium*

spp. (рис.3) частота относительная выявления превышала 50%.

Сопоставление данных по эффективности фунгицидных препаратов в отношении монокультур и сообществ (рис.4) показало, что большинство монокультур (11 из 19) были более устойчивы к действию фунгицидов, по сравнению со смешанными сообществами,

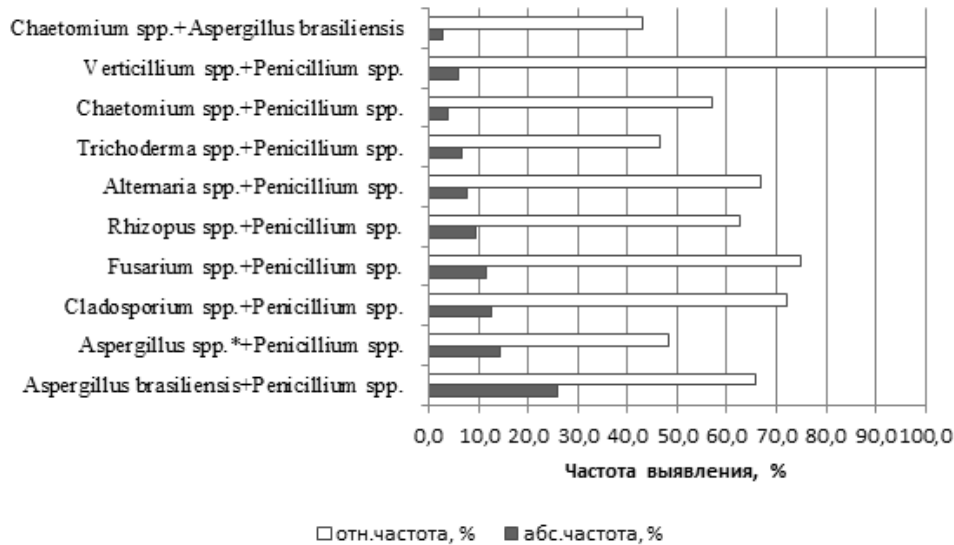


Рисунок 2 Частота выявления двухкомпонентных ассоциаций грибов-микромикетов в очагах биоповреждения (абс.частота – от общего числа проб; отн.частота – от числа проб, в которых выявлен первый представитель ассоциации) (* – кроме *Aspergillus brasiliensis*).

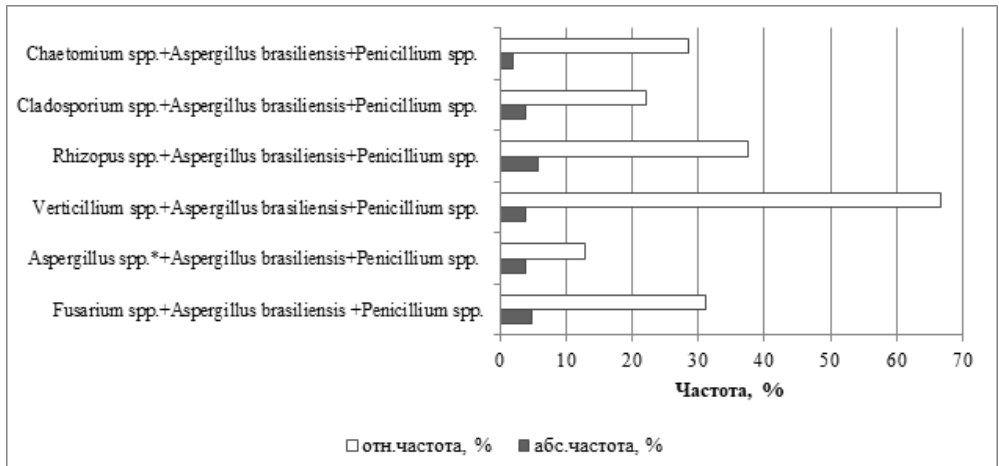


Рисунок 3. Частота выявления трехкомпонентных ассоциаций грибов-микромикетов в очагах биоповреждения (абс.частота – от общего числа проб; отн.частота – от числа проб, в которых выявлен первый представитель ассоциации) (* – кроме *Aspergillus brasiliensis*).

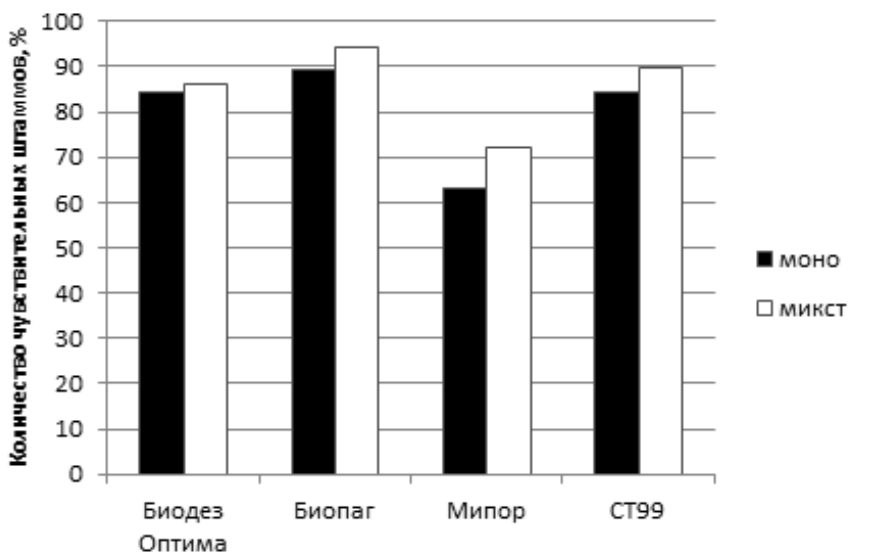


Рисунок 4. Эффективность фунгицидных средств в отношении монокультур (n=19) и микст-сообществ (n=86) грибов-микромикетов, выделенных из очагов биоповреждения.

в частности, двухкомпонентными ассоциациями с *Penicillium* spp. Для более сложных (4-5 компонентных) консорциумов в 4 из 16 случаев чувствительность к фунгицидам была заметно ниже, чем в случае монокультур, в остальных случаях – изменялась незначительно.

Заключение. Высокие показатели частоты выявления *Aspergillus* spp. и *Penicillium* spp. в очагах биоповреждения могут быть обусловлены распространенностью спор микромицетов данных видов в воздушной среде, что позволяет им легко контаминировать различные субстраты и, при наличии благоприятных условий, формировать локусы биодеструкции. В то же время, чувствительность к фунгицидам монокультур представителей видов *Aspergillus* и *Penicillium* в ряде случаев заметно ниже показателей двухкомпонентных сообществ, что может быть обусловлено вытеснением менее агрессивных видов более агрессивными. Полученные результаты подтверждают важность экспериментального подтверждения эффективности фунгицидных составов в отношении микобиоты конкретного объекта.

Список литературы

1. Milićević, D. R., Škrinjar, M., Baltić, T. Real and perceived risks for mycotoxin contamination in foods and feeds: challenges for food safety control. *Toxins*. 2010;2: 572–592. doi: 10.3390/toxins2040572
2. Сергеев А.Ю., Сергеев Ю.В. Грибковые инфекции : руководство для врачей. 2 изд.- Москва : Бином, 2008. — 480 с.
3. Халдеева Е.В., Глушко Н.И., Лисовская С.А. и соавт. Микогенная контаминация жилых помещений как фактор биологического риска Казанский медицинский журнал. 2020; 101(4):513-518. DOI: 10.17816/KMJ2020-513
4. Маслова О.В., Сенько О.В., Степанов Н.А. и соавт. Биокатализ в деградации синтетических полимеров. Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2024; 65(2): 161-168. doi:10.55959/MSU0579-9384-2-2024-65-2-161-168
5. Шилова Е.А., Леванчук А.В., Сазонова А.М. Методика подбора биоцидных препаратов для борьбы с биодеструкцией, вызванной сообществом микромицетов Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015; 7(2). DOI: 10.15862/31TVN215
6. Халдеева Е.В., Глушко Н.И., Лисовская С.А. Оценка обсемененности плесневыми грибами установок для кондиционирования воздуха и воздушной среды помещений Гигиена и санитария. 2021; 100(7): 668-673. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-668-673

ОКИСЛЕНИЕ ДО ФОСФАТА КРАСНОГО ФОСФОРА КУЛЬТУРОЙ *ASPERGILLUS NIGER* F-4815D

Миндубаев А.З.¹, Бабынин Э.В.², Ахбарова Л.И.³, Гоголашвили Э.Л.³, Галимова А.Р.⁴

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет

²ТНИИХП ФИЦ КазНЦ РАН, Казань

³Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, Казань

⁴Казанский НИТУ им. А.Н. Туполева

Красный фосфор значительно менее опасен в обращении, чем белый, и попытки использовать его в качестве высококонцентрированного фосфорного удобрения делались уже полвека назад [1]. Тем не менее, продукты горения красного фосфора токсичны для человека и других организмов. Причем, пары красного фосфора после охлаждения трансформируются в белый фосфор, обладающий высокой огнеопасностью и токсичностью. Помимо этого, красный фосфор более термодинамически устойчив в сравнении с белым и, следовательно, должен медленнее и с большим трудом подвергаться биологической, ферментативной деструкции.

В более ранних работах дано исключительно качественное описание биodeградации красного фосфора. Разумеется, количественные показатели данного процесса имеют важнейшее значение, поскольку только получив их можно с полным правом говорить о метаболизме данного вещества. Представленная работа стала первой попыткой измерения скорости биodeградации красного фосфора.

Колориметрический анализ фосфат-ионов в водной среде проведен по методике [2]. Нижний порог определения 0.01 мг/л. Спектрометр Ecoview B-1100. Государственных стандартных образцов (ГСО) растворов фосфатов в наличии не было, но ГОСТ позволяет самостоятельно готовить растворы из соли. Анализ длится 1.5 – 2 ч.

Анализ проводили в трех вариантах. Контроль – стерильная среда с красным фосфором. Опыт – посев АМ1 на красный фосфор. Третий вариант – посев *Aspergillus niger* F-4815D в среду без источников фосфора. Посев производили в фальконы с 3 мл культуральной среды состава (г/л) NaCl 2.5, MgSO₄ 0.5, KNO₃ 2.0, глюкоза 8.0. В контроли и опыты добавляли по 0.1 г порошка красно-

го фосфора. Поскольку красный фосфор нерастворим в воде, внесение навесок одинакового веса представляло сложность.

Культивировали при 28°C. Все посеы проводили в трех повторах, итого девять проб. Анализ проводили дважды: в день посева (нулевая точка) и спустя две недели (14 суток), когда биомасса гриба созрела. Вторым анализ проводили только с контролем и опытом – предполагалось, что в третьем варианте концентрация фосфат-ионов заведомо не изменится. Итого, общее количество фальконов с пробами пятнадцать.

Кроме того, проанализировали в трех повторах состав культуральной среды с глюкозой в качестве источника углерода, но без источников фосфора. Предполагалось, что глюкоза степени чистоты Ч могла содержать примесь фосфатов.

Красный фосфор ЧДА приобретен в АО «Камтэкс-Химпром», г. Пермь. Имеет консистенцию порошка, хранится в пластиковой заводской таре.

Для определения содержания фосфора в органических удобрениях широко используется метод, предложенный Дениже [3].

Биомассу АМ1 на красном фосфоре наращивали четырьмя посевами, чтобы накопить количество, достаточное для анализа фосфатов в золе. Дорастивали до спорообразования. Биомассу хранили в пяти пробирках Эппендорфа, в замороженном виде, при -20°C. Перенос биомассы из фальконов в эппендорфы осуществляли прокаленной в пламени спиртовки микробиологической петлей. При этом, с биомассой в пробирки попадало очень незначительное количество культуральной среды. Жидкость, скапливающаяся в эппендорфах – вероятно, не культуральная среда, а внутриклеточная жидкость, освободившаяся после замораживания и оттаивания биомассы. Перед анализом биомассу объе-

динили шпателем в чашку Петри, высушили при 105°C до постоянного веса, затем сожгли в муфельной печи до состояния золы при 500°C.

Определенная сложность заключалась в том, что мы не знали, с какой скоростью окисляется красный фосфор в среде, и какая концентрация фосфат-ионов присутствует в среде изначально.

Оказалось, что красный фосфор сильно загрязнен фосфатами. Прибор показывает зашкал даже при 200-кратном разведении. Впрочем, в отличие от белого фосфора, красный фосфор полностью очистить от фосфатов нельзя. Будучи полимерным веществом, он всегда содержит окисленные фосфатные группы на концах макромолекул. К тому же, красный фосфор при хранении, особенно в присутствии следов влаги, медленно диспропорционирует до фосфорной кислоты и фосфина (специфический запах последнего исходит от красного фосфора, с которым ведется работа).

В замеры через 14 дней разбавляли пробы в 2500 раз, чтобы избежать зашкала. В целом, в опытах концентрация фосфата выше, чем в контролях. Однако, разброс значений между повторами велик. Это связано со сложностью внесения красного фосфора в культуральную среду. Он нерастворим в воде, поэтому внести точную концентрацию в объеме раствора не удастся.

Для точной оценки биodeградации красного фосфора требовалось к измеренной концентрации фосфат-ионов в культуральной среде прибавить содержание фосфатов в биомассе гриба, поскольку живой организм интенсивно поглощает фосфат-ионы из окружающей среды. Соответственно, можно предполагать, что с учетом фосфатов в биомассе разница между контролем и опытом должна быть существенной.

Итого, разница концентрации фосфат ионов в опыте (среда с грибом аспергиллом) и контроле (стерильная среда) составляет 1.2 – 1.3 раза. Результат статистически значимый и свидетельствует о соответствующем увеличении скорости окисления красного фосфора до фосфорной кислоты в присутствии живого микроорганизма. Следует отметить, что в нулевой точке концентрация

фосфатов в стерильной среде с красным фосфором составила 87.56 мг/л; в среде с красным фосфором и спорами 85.57 мг/л, а со спорами без источников фосфора 1.36 мг/л. Эти величины усреднены из трех повторов, и указывают на то, что концентрация фосфат-ионов в стерильной среде изначально даже превышала таковую в среде со спорами гриба. То есть, более интенсивный рост концентрации фосфата действительно связан с жизнедеятельностью аспергилла. Концентрация фосфат-ионов в стерильной среде без источников фосфора составила всего 0.56 мг/л – следовые количества, которыми можно пренебречь.

Это означает, что красный фосфор действительно подвергается биodeградации [4]. Можно предполагать, что если бы красный фосфор изначально не был бы сильно загрязнен фосфорной кислотой, как в данном случае, возможно, скорость микробного метаболизма этого вещества была бы еще выше, а разница с контролем еще значительнее. Но в присутствии избыточных концентраций фосфатов гриб просто не нуждается в биodeградации элементного фосфора, и это отрицательно сказывается на скорости его биологического окисления.

Следует особо подчеркнуть, что сравнительно низкая химическая активность красного фосфора делает полученные результаты более достоверными. В случае белого фосфора сложно разделить процессы ферментативного и неферментативного, спонтанного окисления кислородом.

Список литературы

1. Sokolov A.V., Talanov N.D., Gladkova K.F., Speranskaya G.V., Bulaeva V.G., Vasileva L.V. Red Phosphorus as Fertilizer. *Khim. Sel'sk. Khoz.* Vol. 1976.14. P. 22-24.
2. Брехова Л.И., Стахурлова Л.Д. Методы количественного анализа удобрений. Учебно-методическое пособие для вузов. Изд. ВГУ. Воронеж, Редактор Воронина А.П. – 2006. – 39 с.
3. ГОСТ 1№8309-2014. 2014.
4. Миндубаев А.З., Галимова А.Р., Кузнецова О.Н., Ахбаров Л.И., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К. Биотрансформация красного фосфора в фосфаты при помощи *Aspergillus niger*. Вестник технологического университета. – 2023. – Т. 26. – №10. – С. 41-45.

ГРИБЫ – ДЕСТРУКТОРЫ БИОПОЛИМЕРОВ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Прудникова С.В.¹, Евграфова С.Ю.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск

²Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами приобрело в последние годы глобальные масштабы. Биоразрушаемые полимеры становятся экологически безопасной альтернативой, поскольку они подвержены деградации микроорганизмами и вовлекаются в биогеохимические циклы в почвенных и водных экосистемах [1]. Синтезируемые бактериями биополимеры – полигидроксиалканоаты (ПГА) по физико-механическим свойствам схожи с полиолефинами, но при этом способны полностью окисляться до воды и углекислого газа под действием микробных ферментов. Биodeградируемость ПГА обуславливает широкий спектр их применения в разных областях – медицина, фармакология, пищевая промышленность, сельское хозяйство и др. [2,3]. Многие виды изделий из ПГА, такие как упаковка, одноразовая посуда, инкапсулированные агропрепараты, мульчирующая пленка и т.д., попадают

в почву, где подвергаются воздействию микроорганизмов. Наряду с бактериями, большую роль в деградации ПГА играют почвенные микромикеты, продуцирующие ПГА-деполимеразы [4,5]. Известно, что почвенно-климатические условия и таксономический состав ключевых деградаторов ПГА оказывают влияние на скорость деградации полимерных изделий [6]. Это определило направление исследований – изучение закономерностей микробиологической деградации пленок из ПГА в различных климатических зонах.

Цель работы заключалась в проведении сравнительного анализа видового состава грибов-деструкторов ПГА в почвах разного типа в различных климатических зонах – субарктической, умеренной и тропической.

Материалы и методы. В исследованиях использовали образцы пленок из поли(3-гидроксibuтирата) – наиболее распространенного типа ПГА [6]. Предварительно

взвешенные пленки диаметром 3 см размещали в чехлы из мельничного газа и погружали в почву на глубину 5 см. Эксперименты проводили на четырех опытных площадках:

- 1 – Субарктическая зона; Россия, пос. Тура, Центральная Эвенкия, стационар Института леса имени В.Н. Сукачева СО РАН; климат резко континентальный, почва – криозем суглинисто-глинистый.
- 2 – Умеренная зона; Россия, г. Красноярск, полевой стационар Красноярского государственного аграрного университета; климат резко континентальный, почва лугово-черноземная тяжелосуглинистая.
- 3 – Тропическая зона; Вьетнам, г. Ханой, климатическая испытательная станция Хоа Лак; тропический муссонный климат, почва желтая ферриаллитная.
- 4 – Тропическая зона; Индия, г. Коттаям, территория кампуса Университета Махатмы Ганди; тропический влажный климат, почва красная ферраллитная.

Длительность экспозиции пленок в почве определялась климатическими условиями и составляла 15 месяцев в субарктической зоне, 5 месяцев – в тропической зоне и 3 месяца – в умеренной зоне. Динамику убыли массы пленок определяли периодически, после отмывания, высушивания и взвешивания образцов. Из смывов с поверхности образцов выделяли грибы-деструкторы на минеральной среде с П(ЗГБ) методом прозрачных зон [6].

Результаты. Почвенно-климатические условия в районах исследования сильно отличались, что оказывало влияние на скорость разрушения образцов пленок. Чернозем полевого стационара КрасГАУ характеризовался высоким содержанием гумуса (10,7%) и нейтральными значениями pH (7,2). Почвы тропической зоны были сильно минерализованные с невысоким содержанием гумуса: 3,5% в индийской почве и 2,7% в районе КИС Хоа Лак; значения pH составляли 4,8 и 5,5, по данным районам соответственно. Криозем надмерзлотного горизонта отличался высоким содержанием гумуса (12-15%) и кислой реакцией среды (pH 4,4). Гидротермические условия почв тропической зоны характеризовались более высокой и стабильной температурой, но пониженной влажностью по сравнению с почвой умеренной зоны (табл. 1). Почвы субарктической зоны

отличалась крайне низкой температурой (от -36°C в январе до +16°C в июле) и переувлажнением почвенного профиля.

Наиболее активное снижение массы образцов пленок наблюдали в почвах в районе г. Ханоя – на 91,4 % за 5 месяцев экспозиции (рис. 1б). В почвах г. Коттаям за этот же период масса пленок П(ЗГБ) снизилась на 59,8 %. В черноземе умеренной зоны образцы пленок разрушались быстрее, чем в красных почвах г. Коттаям, – на 58,3 % за 3 месяца экспозиции (рис. 1а). Такая динамика может быть обусловлена низкой влажностью почвы в районе г. Коттаям, которая ингибировала активность почвенных микроорганизмов. Так, общая численность микромицетов в черноземе составляла 35,6±5,0 тыс. КОЕ/г почвы, в красной ферраллитной почве 16,7±1,6 тыс. КОЕ/г, и в желтой ферриаллитной – 84,2±12,0 тыс. КОЕ/г.

Уменьшение массы П(ЗГБ) пленок, экспонированных в криогенной почве Центральной Эвенкии в течение 15 месяцев, было крайне низкое и составило около 2,2- 2,7% от исходной. Ввиду слабой деградации пленок данные не представлены на рисунке. Общая численность микромицетов в почве также была наименьшей и составляла 5,6±0,6 тыс. КОЕ/г.

Изучение таксономического разнообразия микромицетов в составе биопленок, сформированных на поверхности полимерных образцов, выявило различия в наборе видов-деструкторов П(ЗГБ) в разных типах почв. Виды-деструкторы из рода *Aspergillus* были обнаружены только в криогенной почве, виды родов *Glocladiopsis*, *Mucor* и *Metacordyceps* – в красной индийской почве, *Gongronella*, *Trichoderma* и *Xenoacremonium* – в желтой вьетнамской почве (табл. 2). Вид *Purpureocillium lilacinum* встречался в обоих типах почв тропической зоны. Самой большой группой грибов-деструкторов П(ЗГБ) были виды, принадлежащие к родам *Penicillium*/*Talaromyces*. Несмотря на отсутствие общих видов в исследуемых образцах почвы, эти представители составляли от 40 до 70 % популяции грибов-деструкторов в разных климатических зонах.

Таким образом, выявлены отличия в количественном и качественном составе почвенных микромицетов, а также специфичность таксономического состава гри-

Таблица 1. Среднемесячная температура и влажность почв (0-20 см) в течение экспозиции пленок П(ЗГБ) в почвах умеренной и тропической зоны.

Район экспозиции	Температура, °C						Влажность, %					
	0 мес.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.	0 мес.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.
Коттаям	25,8	25,4	25,3	25,4	25,8	25,3	15,0	15,4	14,8	12,5	12,0	12,1
Ханой	26,3	27,5	27,0	27,1	27,4	26,2	19,3	18,8	18,7	17,4	16,8	17,0
Красноярск	19,5	26,0	12,5	8,5	-	-	23,6	22,3	24,9	33,0	-	-

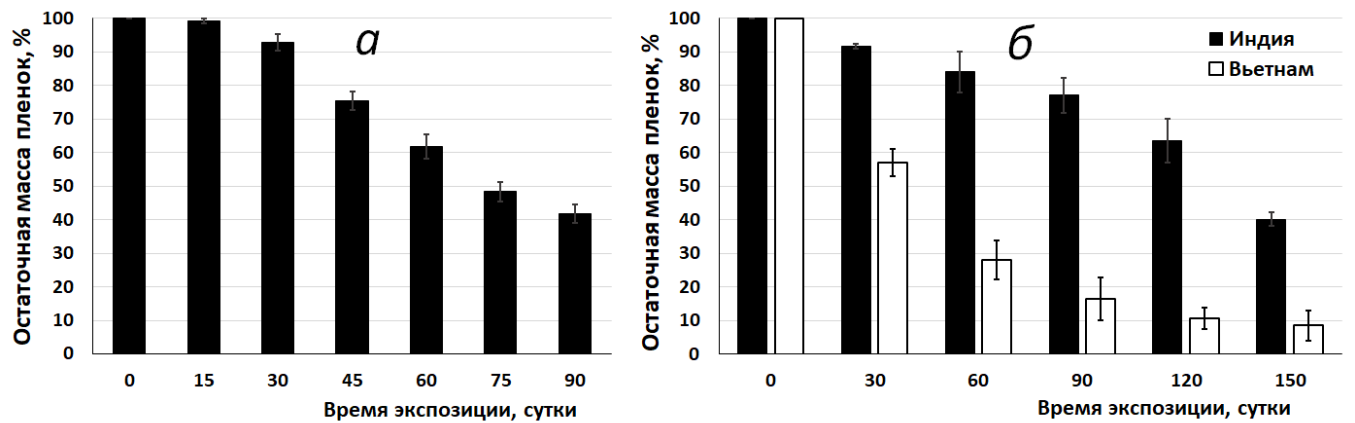


Рисунок 1. Динамика убыли массы образцов пленок из П(ЗГБ) в почвах: а – умеренная зона, б – тропическая зона.

бов-деструкторов П(ЗГБ) в почвах разных климатических зон.

Таблица 2. Виды грибов-деструкторов, выделенных из почвы в разных климатических зонах.

Виды грибов	Район экспозиции пленок П(ЗГБ)			
	Тура	Красноярск	Ханой	Коттаям
<i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.	+			
<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	+			
<i>Gliocladiopsis</i> sp. S.B. Saksena				+
<i>Gongronella butleri</i> (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco			+	
<i>Metacordyceps chlamydosporia</i> (H.C. Evans) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora				+
<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer				+
<i>Penicillium chrysogenum</i> Thom		+		
<i>Penicillium lanosum</i> Westling	+			
<i>Penicillium oxalicum</i> Currie & Thom			+	
<i>Penicillium pedernalense</i> Laich & J. Andrade				+
<i>Penicillium spinulosum</i> Thom	+			
<i>Penicillium thomii</i> K. Zaleski	+			
<i>Purpureocillium lilacinum</i> (Thom) Luangsa-ard, Houbraken, Hywel-Jones & Samson			+	+
<i>Talaromyces funiculosus</i> (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad & Seifert		+		
<i>Talaromyces purpureogenus</i> (Stoll) Samson, N. Yilmaz, Houbraken, Spierenb., Seifert, Peterson, Varga & Frisvad		+		
<i>Trichoderma pseudokoningii</i> Rifai			+	
<i>Xenoacremonium recifei</i> (Leão & Lôbo) L. Lombard & Crous			+	

ПРИМЕНИМОСТЬ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ РАЗВИТИЯ МИКРОМИЦЕТОВ НА ДОКУМЕНТАХ ПО СВЕЧЕНИЮ КОЛОНИЙ В БЛИЖНЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Ребрикова Н.Л.
ГНИИ реставрации, Москва

Российской национальной библиотекой предложен экспресс-метод определения зараженности микромицетами документов по свечению микромицетов в ультрафиолете (УФ). Методика опубликована несколько лет назад [1], но стала использоваться в библиотеках и музеях в последнее время. В практике работы комиссии по аттестации реставраторов, секция архивных, библиотечных материалов и произведений графики, стали встречаться паспорта, в которых излагается, что исследование повреждения документа или графических листов проводилось с помощью длинноволновой УФ лам-

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Агропрепараты нового поколения: стратегия конструирования и реализация» (№ 075-15-2021-626).

Список литературы

1. Joshi S.K., Vashishth A. Plastonomics: Impact of plastic on ecosystem and the world economy / In: Advanced strategies for biodegradation of plastic polymers. R. Soni, P. Debbarma, D.C. Suyal, R. Goel (Eds). Springer. 2024. 420 p.

2. Zhou W., Bergsma S., Colpa D.I., Euverink G.J.W., Krooneman J. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) synthesis and degradation by microbes and applications towards a circular economy J. Environ. Manage. 2023. V. 341. P. 118033.

3. Koller M., Mukherjee A. Polyhydroxyalkanoates — Linking properties, applications, and end-of-life options Chem. Biochem. Eng. 2020. V. 34. P. 115-129.

4. Lee K.M., Gimore D.F., Huss M.J. Fungal degradation of the bioplastic PHB (Poly-3-hydroxy-butyric acid) J. Polym. Environ. 2005. V. 13. P. 213-219.

5. Kim D.Y., Rhee Y.H. Biodegradation of microbial and synthetic polyesters by fungi Appl. Microbiol. Biotechnol. 2003. V. 61. P. 300-308.

6. Volova T.G., Prudnikova S.V., Vinogradova O.N., Syrvacheva D.A., Shishatskaya E.I. Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates with different chemical compositions and their biodegradability Microb. Ecol. 2017. V. 73. P. 353-367.

пы и в соответствии с его результатами были проведены антимикробные обработки.

В качестве обоснования применения экспресс – метода приводится ссылка на тестирование грибковых заболеваний ногтей, кожи, волос в медицинской практике с помощью длинноволновой ультрафиолетовой лампы [2]. Однако, известно, что основным средством подтверждения диагноза микоз является отбор и микроскопия патологического материала, посев с выделением возбудителя заболевания. Микроскопное исследование проводится без окрашивания отобранного материала

или для окрашивания используются люминесцентные красители, например калькофлюор белый, с последующим исследованием с помощью люминесцентного микроскопа, что позволяет улучшить выявляемость грибов.

Наличие микромицетов в документах экспресс – методом определяется по виду свечения в УФ (пятна, нити) и по цвету свечения (разные оттенки зеленого цвета, желтый, оранжевый, розовый, сиреневый, фиолетовый) [1]. Отмечается, что обильно спороносящие колонии грибов не светятся в УФ [1]. Метод не предполагает микроскопное исследование проб, отобранных с документа, и микроскопное исследование проб, окрашенных люминесцентными красителями. В предложенном методе определения жизнеспособных структур грибов на документах содержится ряд противоречий. В начале, на странице 161, написано, что это простой и быстрый метод обнаружения жизнеспособных микроорганизмов, в конце, на 166 странице, для подтверждения жизнеспособности интенсивно светящихся микромицетов необходим посев. Нет объяснения, почему экспресс – методом нельзя определить развитые колонии грибов, а можно только колонии в начальной стадии развития или микроколонии грибов, предположительно микроколонии грибов ксерофилов. Авторы полагают, что микроколонии грибов, встречающиеся в библиотечных и музейных фондах на корешках и крышках переплетов книг, на красочном слое и на обороте живописных произведений, на мебели, на стеллажах и другом оборудовании развивающиеся в составе пылевых отложений, являются мицелиальными колониями. Микроскопные исследования показали, что это не мицелиальные колонии. В их составе обнаружены конидиеносцы рода *Aspergillus* и большое количество конидий, иногда в их составе встречаются клейстотеции, сумки с аскоспорами рода *Eurotium*.

Нет объяснения, почему у частиц пыли цвет свечения ярко-фиолетовый, а у частиц пыли со спорами микроорганизмов цвет свечения сиреневый. На последней выставке «ПРОреставрацию», которая проходила в конце ноября 2024 года в круговом депо в Москве, демонстрация возможности использования метода была проведена с использованием колоний грибов, выросших на питательной среде в чашках Петри. Колонии грибов в УФ выглядят по-другому, чем при обычном освещении. Цвет колоний *Aspergillus versicolor* в УФ и при обычном освещении изменяется в зависимости от возраста, но цвет свечения колоний на питательной среде нельзя переносить на цвет свечения колоний на бумаге.

Если исследовать поврежденную грибами тряпичную бумагу с помощью длинноволновой ультрафиолетовой лампы, то можно увидеть фиолетовое или синее свечение неповрежденных участков бумаги, колонии грибов на ней выглядят более темными, при этом собственным свечением они не обладают. Развитые колонии грибов на бумаге, на тканях при исследовании в ультрафиолете видны более контрастно, но они не светятся зеленым, фиолетовым, розовым, оранжевыми цветами, указанными в определительной таблице опубликованного экспресс – метода [1]. Микроколонии грибов в ультрафиолете также не светятся указанными цветами.

Проведенное нами исследование театральных декораций, написанных на льняном холсте в начале XIX века, с помощью длинноволновой ультрафиолетовой лампы показало следующее. При обычном освещении на холсте были обнаружены микроколонии грибов и бурые пятна (фоксинги). В ультрафиолете неповрежденные

участки холста были фиолетового цвета, фоксинги светились белым цветом с оттенком желтого, микроколонии грибов не светились. Таким образом, исследование холстов в ультрафиолете не способствовало выявлению микроколонийных форм грибов.

На документах, в книгах, на графических листах в процессе исследования в ультрафиолете можно обнаружить много светящихся участков в виде пятен, полос. На бумаге в виде пятен и полос светятся белковые клеи, мучные клеи, содержащие желатин. Свечение в виде пятен и полос связано также с процессами локальной окислительной деструкции целлюлозы. Например, светятся фоксинги в стадии формирования, края листов, края затеков, отпечатки на прилегающих листах от печатного текста, отпечатки пальцев, участки бумаги, которые контактировали с бумагой более низкого качества, участки бумаги, на которые был нанесен силикатный клей. Свечение белков в ультрафиолете связано с присутствием в них трех «ароматических» аминокислот. Свечение в виде пятен вследствие локальной окислительной деструкции объясняется образованием сопряженных двойных связей в молекулах целлюлозы.

В процессе исследования природы образования фоксингов было исследовано в ультрафиолете большое количество документов, в том числе со следами повреждения грибами. Свечения грибов, описанных в экспресс – методе, не было обнаружено.

Два года назад в докладе «Приключения в определение грибов и их двойников» на ежегодной конференции музейных хранителей в Лондоне, доктор Клэр Дин отметила, что детекция плесневых грибов с помощью ультрафиолета в библиотечных и музейных фондах не работает [3].

Применяя экспресс – метод определения зараженности документов, легко получить ложноположительный результат, на основании которого документ, подвергается антимикробной обработке, которая не всегда безопасна с точки зрения его сохранности.

Предлагаемая диагностика зараженности микромицетами документов без микроскопного исследования проб, отобранных с документа, без посевов на питательные среды не может использоваться при обследовании библиотечных, музейных, архивных фондов с целью выявления колоний грибов на хранящихся в них предметах.

Список литературы

1. Трепова Е.С., Великова Т.Д. Экспресс-метод определения зараженности документов. Комплексное обследование книгохранилищ: методическое пособие. – СПб: РНБ, 2007. – С.161-166
2. Потеев Н.Н. Микроспория. Русский медицинский журнал. 2000. Т.8, вып.4. С.189-196.
3. Claire Dean Adventures in identifying mould (and its doppelgängers). ICON. Care of Collections Group; 2023 AGM – Mould, 26th April. <https://www.icon.org.uk/events/care-of-collections-group-2023-agm-mould.html>

МЕХАНИЗМЫ ДЕСТРУКЦИИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ ГРИБАМИ БЕЛОЙ ГНИЛИ

Шабаев А.В., Федорова Т.В.

ФИЦ Фундаментальные основы биотехнологии РАН, Москва

Лигнин и целлюлоза, основные составляющие лигноцеллюлозы являются самыми распространенными биополимерами и сложно разлагаются. Основными деструкторами лигноцеллюлозной биомассы в живой природе являются грибы белой гнили (white rot fungi, WRF) – группа грибов, разрушающая все компоненты лигноцеллюлозы. Деструкция лигноцеллюлозы осуществляется при помощи секретируемых ферментов, которые по механизму действия можно разделить на две основные группы – окислительные и гидролитические. К настоящему моменту механизмы деструкции лигноцеллюлозы в основном исследовались для представителей порядка Polyporales, а остальные представители WRF не привлекали внимания исследователей [1, 2].

В данной работе использовались 4 штамма WRF: *Trametes hirsuta* ЛЕ-БИН 072; *Steccherinum ochraceum* ЛЕ-БИН 3174; *Peniophora lycii* ЛЕ-БИН 2142 *Crucibulum laeve* ЛЕ-БИН 1700, представители разных таксономических и экологических групп WRF.

Экзопротеомный анализ показал, что для разных исследуемых WRF характерны значительные отличия в составе секретируемых ферментов, которое свидетельствует о используемом грибом механизме биодеструкции. Лигнолитические ферменты среди 4 изученных штаммов распределяются следующим образом: для *T. hirsuta* и *S. ochraceum* характерна секреция лакказ и лигнолитических пероксидаз, для *P. lycii* и *C. laeve* не наблюдается секреция пероксидаз, но наблюдается секреция лакказ и белка с ФАД-связывающим доменом, который был отнесен к AA7 (олигосахарид оксидазы) семейству

CAZy. Также для разных грибов характерны разные вспомогательные лигнолитические ферменты, которые или синтезируют перекись водорода или являются редокс-партнерами для лигнолитических ферментов. У *T. hirsuta* и *S. ochraceum* наблюдается секреция глиоксаль оксидаз (GLOX), у *P. lycii* секретируется GMC оксидоредуктаза, у *C. laeve* кроме GMC оксидоредуктазы секретируются арил-алкоголь оксидазы.

Целлюлазные ферменты представлены как целлюлазами у *T. hirsuta* (из семейств GH5, GH6, GH7, GH8) и *S. ochraceum* (только GH5), литические олигосахарид монооксигеназы (ЛПМО) наблюдаются у всех грибов по крайней мере хотя бы на одной среде, а также для всех грибов характерна секреция белков, которые разрушают целлюлозу по не ферментативному механизму.

Исходя из этого можно сделать вывод, что грибы *T. hirsuta* и *S. ochraceum* разрушают лигноцеллюлозные субстраты как с помощью гидролитического, так и окислительного механизма, а для *P. lycii* и *C. laeve* характерно использование окислительного механизма как в отношении целлюлозы и гемицеллюлоз, так и в отношении лигнина.

Список литературы

1. Goodell B. Fungi involved in the biodeterioration and bioconversion of lignocellulose substrates. Genetics and biotechnology. – 2020. – V. 15. – P. 369-397.
2. Fukasawa Y. Ecological impacts of fungal wood decay types: A review of current knowledge and future research directions. Ecological Research. – 2021. – V. 36. – №. 6. – С. 910-931.

ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОМИЦЕТОВ К БИОЦИДНЫМ ПРЕПАРАТАМ НА МОДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ СТАНКОВОЙ ЖИВОПИСИ

Шегурова А.Ф., Курбатова И.В., Кравченко Е.С., Автономова А.В.

ЦСП ФМБА России

Микромицеты-биодеструкторы способны изменять физические характеристики произведений искусства [1-8, 10-12]. В связи с этим необходим регулярный мониторинг микогенной контаминации произведений, что позволит своевременно отреагировать и провести защитные мероприятия. Одним из методов защиты является применение биоцидных препаратов [2, 6, 7]. Так же известно, что микромицеты вырабатывают устойчивость к применяемым биоцидам, с чем связаны «рецидивирующие» случаи появления плесени уже на «пролеченных» поверхностях, а специфика материалов произведений искусства сокращает спектр доступных для дезинфекции препаратов [2, 8].

Целью нашей работы стало изучение устойчивости грибов-биодеструкторов станковой живописи к биоцидным препаратам.

Материалы и методы. Исследование подразделялось на два основных этапа

На первом этапе проводили оценку фунгицидной активности биоцидных препаратов на тест-культурах грибов – типичных представителях биоты помещений, в том числе культурно-просветительских учреждений. На втором этапе оценивали эффективность биоцидов,

проявивших фунгицидную активность в первой части исследования, на модельных объектах станковой живописи.

В качестве тест-культур использовали грибы *Aspergillus brasiliensis* Varga et al., 2007, *Alternaria alternata* Keissl, 1912, *Penicillium funiculosum* Thom, 1910.

Выбор штаммов был обусловлен имеющимися литературными данными. Штамм *A. brasiliensis* ATCC 16404 рекомендуется в качестве тест-культуры для исследования дезсредств в Р 4.2.3676-20, *A. alternata* и *P. funiculosum* являются представителями сапрофитов, которые по литературным данным являются типичным представителями микобиоты пыли музейных помещений и предметов искусства [4, 7-9, 11, 12].

Биоцидные препараты для исследований были выбраны, исходя из о следующих критериев: широкий спектр применения, заявленная фунгицидная активность, инертность к применяемым поверхностям. В работе использовали:

– «Катамин АБ» – дезинфицирующее средство класса четвертичных аммонийных соединений (ЧАС), традиционно используется в реставрационном деле при истребительных мерах. Состав: водный раствор алкилдиме-

тилбензиламмоний хлорида 49-51%. Для эксперимента была выбрана концентрация 3% в соответствие с литературными данными [10];

- «Аминаз-Плюс» – дезинфицирующее средство. Состав: ЧАС (дидецилдиметиламмоний хлорид 8%, смесь алкилдиметилбензиламмоний хлорида и алкилдиметилэтилбензиламмоний хлорида суммарно 3%), третичный амин, гуанидин, спирт (2-пропанол 5%), ферменты (амилаза, протеаза, липаза). Для эксперимента были выбраны концентрации рабочих растворов 0,02% и 0,4% в соответствии с инструкцией по применению;

- «Vash Gold» – биоцидное средство, готовый к применению рабочий раствор. Состав: вода > 30%, смесь кислот 5-15%, щавелевая кислота < 5%, АПАВ < 5%;

- «Серебряная пуля» – биоцидное средство, готовый к применению рабочий раствор 10% с частицами серебра. Состав: пероксид водорода (ПВ) – $50,0 \pm 2,5\%$ и комплексные соли серебра – $1,500 \pm 0,002 \text{ кг/дм}^3 \times 10^{-3}$.

Изучение и оценивание фунгицидной активности биоцидных препаратов проводили диско-диффузионным методом (ДДМ), методом лунок и суспензионным методом. Каждый из методов выполняли в 3-х повторностях.

Для проведения натурных испытаний выбранных биоцидов на втором этапе были созданы модельные объекты, путем подготовки макетов станковой живописи, представляющих собой квадрат размером 2х2 см из готового хлопкового холста (мелкое зерно), покрытый охряной масляной краской.

Макет заражали суспензией тест-культур. Модельные объекты в соответствии с ГОСТ 9.048-89 были помещены в эксикаторы для создания и поддержания условий с постоянным микроклиматом при комнатной температуре. Заражение грибами модельных объектов оценили по 5-ти бальной шкале, прописанной в ГОСТ 9.048-89. Использовали макеты при достижении 3 или 4 баллов заражения. Зараженные модельные объекты обрабатывали биоцидными препаратами. После экспозиции в 1 и 24 часа были проведены смывы со всей площади модельных объектов стерильными ватными тампонами с целью проверки эффективности их дезинфекции.

Результаты. На первом этапе провели оценку фунгицидной активности биоцидных препаратов на тест-культурах грибов – типичных представителях биоты помещений, в том числе культурно-просветительских учреждений.

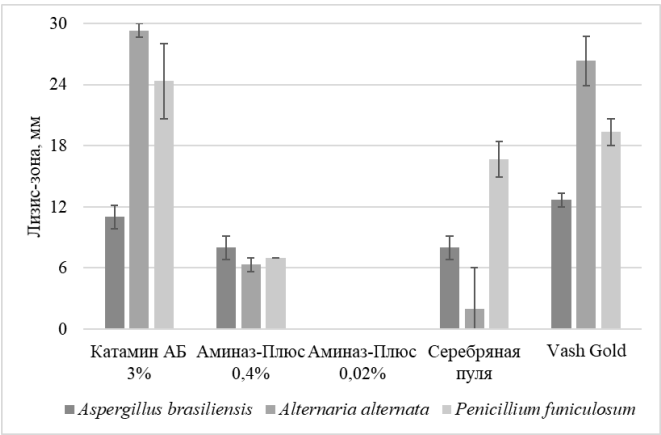


Рисунок 1. Фунгицидная активность биоцидных препаратов в ДДМ.

При определении фунгицидной активности ДДМ «Катамин АБ» и «Vash Gold» продемонстрировали наибольшую фунгицидную активность в отношении всех тест-культур грибов. Аминаз-Плюс в рекомендованных концентрациях оказался наименее эффективным средством (Рис. 1).

При определении фунгицидной активности луночным методом «Катамин АБ» и «Vash Gold» продемонстрировали наибольшую фунгицидную активность в отношении всех тест-культур, однако, в сравнении с диско-диффузионным методом, биоцид «Серебряная пуля» показал большую активность. Аминаз-Плюс в рекомендованных концентрациях оказался наименее эффективным средством (Рис. 2).

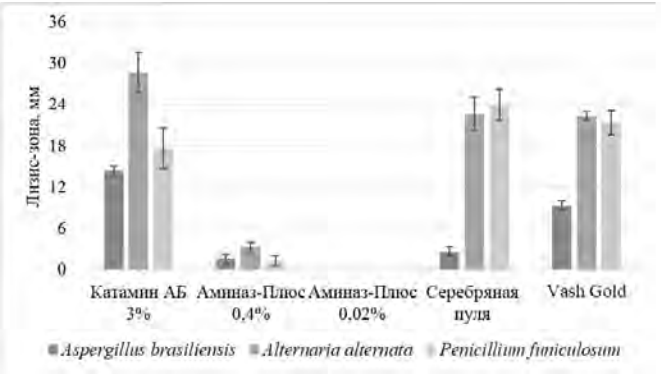


Рисунок 2. Фунгицидная активность биоцидных препаратов в луночном методе.

Определение фунгицидной активности суспензионным методом показало 100% эффективность всех испытуемых биоцидов, т.к. роста грибов в чашках не наблюдалось.

Таким образом, по результатам проведенных лабораторных испытаний нами были отобраны биоциды «Катамин АБ», «Серебряная пуля», «Vash Gold» для второго этапа исследования.

На втором этапе провели натурные испытания отобранных биоцидных препаратов.

Проведение испытаний в натурных условиях на модельных объектах позволяет получить наиболее достоверные данные как о биостойкости материалов, так и провести комплексную оценку действия биоцидного препарата в связке биоцид – гриб – материал.

Учет результатов проводили путем подсчета количества выросших колоний после обработки биоцидами, и выросших колоний в контрольных образцах без обработки.

Эффективность (Э) биоцидной обработки высчитывали в процентах по формуле:

Э = 100 – (ΣC/n x 100) / (ΣT/n),

где ΣC – сумма всех колоний, выросших на чашках после биоцидной во всех повторностях;

ΣT – сумма всех колоний микроорганизмов, выросших на чашках до биоцидной обработки во всех повторностях;

n – количество повторностей.

Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты натурного этапа по определению эффективность обработки биоцидными препаратами модельных объектов

Название гриба	Время экспозиции, ч	Контроль, КОЕ / см2	Биоцидный препарат					
			Катамин АБ		Серебряная пуля		Vash Gold	
			КОЕ / см2	Эфф-сть, %	КОЕ / см2	Эфф-сть, %	КОЕ / см2	Эфф-сть, %
Грибы – сапрофиты из рабочей коллекции								
<i>A. brasiliensis</i>	1	130,8 ± 33,2	0,5 ± 0,3	99,62	21,8 ± 0,6	83,38	0,2 ± 0,2	99,87
	24		0,7 ± 0,2	99,49	22,6 ± 0,7	82,74	0,3 ± 0,3	99,81
<i>A. alternata</i>	1	370,0 ± 50,3	0,0 ± 0,0	100,00	0,0 ± 0,0	100,00	0,0 ± 0,0	100,00
	24		0,0 ± 0,0	100,00	0,0 ± 0,0	100,00	0,0 ± 0,0	100,00
<i>P. funiculosum</i>	1	726,7 ± 29,1	0,0 ± 0,0	100,00	640,8 ± 74,2	11,8	10,9 ± 3,7	98,50
	24		0,0 ± 0,0	100,00	697,5 ± 12,9	4,0	6,0 ± 3,3	99,17
Грибы-биодеструкторы, выделенные с поврежденного объекта станковой живописи								
<i>A. pullulans</i>	1	361,8 ± 61,9	0,1 ± 0,2	99,98	22,4 ± 0,7	93,82	11,8 ± 0,9	96,73
	24		3,1 ± 0,7	99,15	26,0 ± 1,5	92,81	12,6 ± 0,2	96,52
<i>A. alternata</i>	1	58,2 ± 9,8	0,0 ± 0,0	100,00	1,2 ± 0,4	97,94	0,0 ± 0,0	100,00
	24		0,0 ± 0,0	100,00	2,4 ± 0,6	95,85	0,0 ± 0,0	100,00
<i>P. chrysogenum</i>	1	708,8 ± 46,2	0,5 ± 0,5	99,92	1,9 ± 0,1	99,73	0,7 ± 0,8	99,90
	24		0,9 ± 0,4	99,87	2,6 ± 0,4	99,64	0,8 ± 0,0	99,89

Вывод. По результатам натурного этапа исследования наиболее эффективными биоцидными препаратами в отношении исследуемых грибов оказались «Катамин АБ» и «Vash Gold», показав эффективность воздействия в диапазонах 99,15-100% и 96,52-100% соответственно. Биоцид «Серебряная пуля» проявил меньшую эффективность в отношении исследуемых грибов, показав широкий разброс значений эффективности: 4-100%, и не сработал в случае с *P. funiculosum*.

Список литературы

1. Арсланова М.М., Ямпольская Т.Д. Микроорганизмы как биодеструкторы различных материалов. Вестник СурГУ. 2015; 3(9): 14-22.

2. Бобир С.Ю., Зеленская М.С., Гуленко В.М., Власов Д.Ю. Влияние защитных мероприятий на микобиоту мраморных памятников в городской среде (на примере музейных некрополей Санкт-Петербурга). Экология урбанизированных территорий. 2019; 4: 41-46.

3. Горяева А.Г., Беликова Т.Д., Добрусина С.А. Микобиота воздуха и композитов бумаги с полимерными покрытиями в Российской национальной библиотеке // Микология и фитопатология. 2010; 44(1): 10-18.

4. Митковская Т.И., Коваль Э.З. Оценка роли микромицетов, выделенных с произведений искусства. Современная мико-

логия в России. Том 2. Тезисы докладов второго съезда микологов России. М., 2008: 374.

5. Карамова Н.С., Надеева Г.В., Багаева Т.В. Методы исследования и оценки биоповреждений, вызываемых микроорганизмами: учебно-методическое пособие / Казанский университет, 2014: 36.

6. Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е., Стоянов О.В. Биодеструкция и биоповреждения материалов. Кто за это в ответе? Вестник Казанского технологического университета. 2012; 8: 222–233.

7. Понизовская В.Б., Ребрикова Н.Л., Антропова А.Б., Мокеева В.Л. Сравнение эффективности фунгицидного действия биоцидов на основе наночастиц серебра, четвертичных аммониевых и полигуанидиновых соединений. Микология и фитопатология. 2016; 50(1): 43-52

8. Ребрикова Н.Л. Микроколониальные формы грибов экстремофилов на фресках XII века в Спасском храме Спасо-евросиниевского монастыря. Успехи медицинской микологии. 2023; 25: 125-127.

9. Р 4.2.3676-20 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности». М., 2020.

10. Фролов Д.Ю. Основные аналитические методы технико-технологического исследования произведений станковой живописи: Методическое пособие. М., 2012: 23.

11. Vukojevic J., Grbic M. Moulds on paintings. Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke. 2005; 109: 175-179.

12. Sterflinger K. Fungi: Their Role in Deterioration of Cultural Heritage. Fungal Biology Reviews. 2010; 24: 47-55.

БИОПОРАЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ПОЧВЕННЫМИ МИКРОМИЦЕТАМИ

Тертышная Ю.В.¹, Позднякова Н.Н.²

¹Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

²Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ СНИЦ РАН, Саратов

Вопрос переработки синтетических полимеров различными микроорганизмами обсуждается давно. Рост производства полимерной упаковки из полиэтилена (ПЭ), полиэтилентерефталата (ПЭТ), полистирола (ПС) побуждает исследователей искать новые микроорганизмы, которые способны разрушать полимерную матрицу [1, 2]. Отходы полимерных материалов вывозят на полигоны для захоронения, их сжигают, утилизируют и перерабатывают. Переработка полимерных отходов является самой ресурсосберегающей линией, которая позволяет поддерживать экологические стандарты и не ухудшать состояние атмосферы и почвенных покровов. При рациональной переработке можно получать ценное вторичное сырье, в том числе мономеры, тем самым обеспечивая положительный экономический эффект.

Полиэтилентерефталат – полиэфир, и его эфирная группа легко вступает в реакцию с различными нуклеофильными реагентами, при этом наблюдается достаточно высокий выход продуктов. Процесс химической переработки – деполимеризации проводят в среде различных растворителей таких, как вода (гидролиз); кислоты (кислотный гидролиз), гликоли (гликолиз); спирты (метанолиз или этанолиз – в зависимости от спирта); амины (аминолиз) или аммиак (аммонолиз), ферменты (ферментативный гидролиз).

Биодеградация полимеров и полимерных материалов осуществляется бактериями и грибами, которые являются наиболее распространенными микроорганизмами в любой экосистеме. Экспериментальные данные доказывают, что микробиота способна разрушать как природные, так и синтетические полимеры, к которым относится ПЭТ [4 – 6]. Существует большое количество широко распространенных микроорганизмов, включая бактерии, актиномицеты и грибы, которые обладают потенциалом для деградации различных типов полимеров. Было проведено множество исследований для выявления тех видов грибов, которые обладают способностью разлагать синтетические полимеры [7, 8]. Такие виды микромицетов или их метаболические ферменты могут быть использованы в качестве активных деструкторов для разрушения полимерных материалов.

Исследования по деградации ПЭТ плесневыми грибами открывают новые возможности в области управления отходами и экологии [9]. Потенциальное использование микромицетов в процессах биоремедиации может стать важным шагом не только в борьбе с загрязнением окружающей среды, но и переработке полимерных отходов для получения полезных продуктов.

В настоящей работе исследован процесс поражения ПЭТ следующими аскомицетами: *Lecanicillum aphanocladii* Zare & W. Gams IBPPM 542, *Fusarium oxysporum* Schltdl. IBPPM 543, *Talaromyces sayulitensis* IBPPM 664, полученные из Коллекции ризосферных микроорганизмов ИБФРМ РАН, и *Trichoderma harzianum*. Следует отметить, что промышленный полиэтилентерефталат (бутылки для упаковки питьевой воды) являлся единственным источником углерода для вышеуказанных микромицетов.

Описание эксперимента: Образцы ПЭТ массой 500 мг помещали в стерильную минеральную среду, следующего состава г/л: NH_4NO_3 , 0.724; KH_2PO_4 , 1.0; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 1.0; KCl , 0.5; $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0.01; $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0.0028; $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$, 0.033 (рН 6.0) и засеивали 5 мл грибного инокулята. В контрольные варианты вносили 200 мкл спирта (биологический контроль, инокулированный грибными культурами) или 500 мг ПЭТ (химический контроль, без инокуляции). Экспериментальные и контрольные колбы культивировали при 24°C и 130 об/мин в течение 30 сут. Через определенные интервалы времени из колб отбирали аликвоту (3 мл) для тестирования активности ферментов. В конце эксперимента мицелий отфильтровывали и высушивали на предварительно взвешенных бумажных фильтрах. Образцы ПЭТ были отмыты дистиллированной водой и высушены.

Потерю массы ПЭТ и прирост мицелия оценивали весовым методом с помощью аналитических весов Acculab Atl-220d4-I (США) для не менее, чем семи образцов каждой линии (определенного штамма аскомицетов).

Величина потери массы рассчитывалась по следующей формуле:

$$\Delta m = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100 \%, \text{ где } m_1 - \text{исходная масса образца, } m_2 - \text{масса образца после биодеградации.}$$

Затем методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) были исследованы теплофизические свойства и получены данные о температуре стеклования, температуре плавления и степени кристалличности ПЭТ. Методом оптической микроскопии с помощью Olympus BX3M-PSLED (Япония) была изучена морфология образцов до и после биодеградации микромицетами. Оценку изменения химической структуры проводили методом ИК-спектроскопии на приборе Lumos Bruker (Германия) при $T = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$ в диапазоне волновых чисел 4000 – 500 см^{-1} в отраженном свете методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО).

На рисунке 1 приведены изображения результатов эксперимента с *Trichoderma harzianum*.

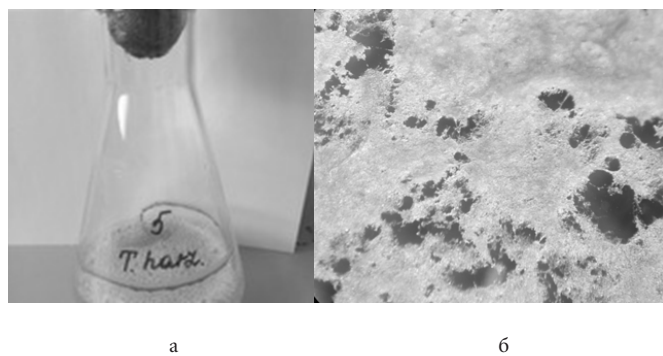


Рисунок 1. Колба с образцом ПЭТ, инкубированным с *Trichoderma harzianum* (а) и поверхность образца ПЭТ после эксперимента (б).

После биологического эксперимента весовым методом были получены следующие результаты.

Согласно результатам потери массы образцами ПЭТ (рис. 2) и накоплению массы сухого мицелия (рис. 3) можно отметить, что все микромицеты, используемые в эксперименте, способны использовать ПЭТ в качестве единственного источника углерода. Однако степень трансформации ПЭТ зависит от штамма микромицета.

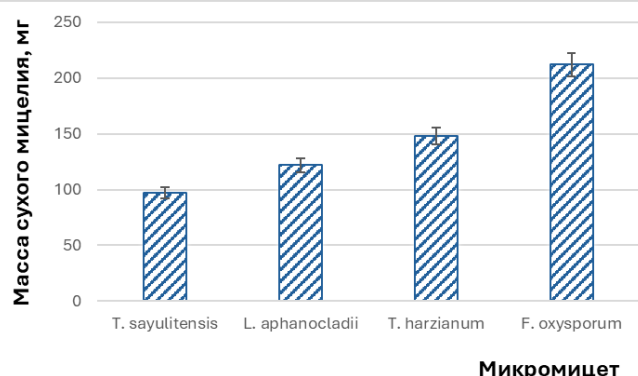


Рисунок 2. Потеря массы образцами промышленного ПЭТ после биодеградации различными почвенными микромицетами.

Согласно рисунку 1, *Talaromyces sayulitensis* проявляет наименьшую активность, и потеря массы образцами ПЭТ составляет 10 мас.%. Наибольшая величина потери массы наблюдается для образца *Fusarium oxysporum*, для которого величина Δm составляет 22 мас.%. Подобная тенденция отмечается для величины накопления мицелия на пленочных образцах ПЭТ после роста грибов (рис. 2). Наименьший результат принадлежит *T. sayulitensis* (около 100 мг), наибольший – *F. oxysporum* (более 200 мг), у аскомицетов *L. aphanocladii* и *T. harzianum* промежуточные значения.

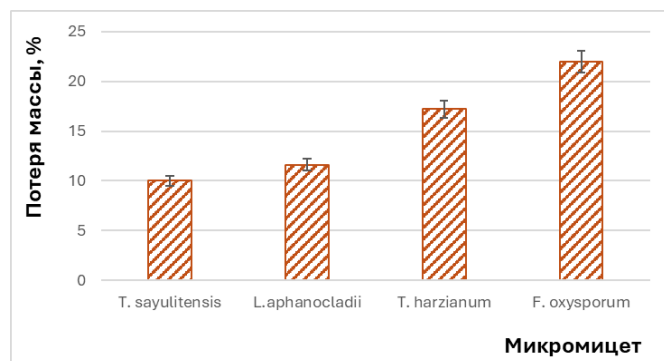


Рисунок 3. Масса сухого мицелия, полученная после биодеградации промышленного ПЭТ почвенными микромицетами.

Чтобы представлять, как изменилась структура и морфология полимера после биодеградации были применены различные методы исследования. Методом ДСК установлено, что что после действия микромицетов, всех используемых в работе штаммов, температуры стеклования (T_g) и плавления (T_m) ПЭТ сдвигаются в сторону высоких температур. Так, величина T_g полиэфира увеличивается на 1-3 °C, а T_m – на 2.5 °C. Повышение температуры плавления ПЭТ может быть связано с изменениями, происходящими в кристаллических областях и, возможно, деградацией аморфной фазы под действием аскомицетов.

Анализ ИК-спектров образцов ПЭТ показал, что происходит разрушение эфирных групп ПЭТ и элиминация C=O-групп в процессе ферментативно-

го гидролиза. Биопоражение полиэтилентерефталата *T. sayulitensis* и *L. aphanocladii* приводит к появлению уширенной полосы в области 3620-3100 см⁻¹, относящейся к колебаниям одиночных и связанных водородными связями –ОН-групп. По-видимому, такой эффект связан с наличием некоторого количества внеклеточных оксидаз, которые помимо кутиназы и пероксидазы были обнаружены в исследовании ранее [10].

Таким образом, использование ПЭТ как единственного источника углерода для аскомицетов *F. oxysporum*, *T. harzianum*, *T. sayulitensis* и *L. aphanocladii* было изучено при $T = 24$ °C. Наибольшая потеря массы образцами ПЭТ была зафиксирована в эксперименте с *F. oxysporum* (22%) и *T. harzianum* (17%). Однако это не означает, что *L. aphanocladii*, впервые исследуемый в качестве биодеструктора ПЭТ, менее подходящий кандидат. По-видимому, требуются иные температурные условия для более продуктивной трансформации.

После воздействия микромицетов показано изменение в химической структуре ПЭТ, морфологии и теплофизических характеристик. По совокупности данных ДСК и потери массы, можно говорить об активной деградации аморфной фазы ПЭТ посредством ферментативного гидролиза.

Список литературы

1. Taniguchi I., Yoshida S., Hiraga K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K. Biodegradation of PET: current status and application aspects ACS Catalysis. 2019. 9(5). 4089-4105.
2. Тertyшная Ю.В., Леонова И.Б. Почвенные микромицеты – активаторы процесса деградации полимеров. Сборник статей «Современная микология в России» Т. 10, М: Национальная академия микологии, 2024. С. 169-171.
3. Sheldon R. A., Norton M. Green chemistry and the plastic pollution challenge: towards a circular economy Green Chemistry. 2020. 22(19). 6310-6322.
4. Tertyshnaya Y.V., Podzorova M.V., Khramkova, A.V. Effect of water and soil microbiota on structure and properties of PLA fiber composites E3S Web of Conferences. 2023. 376(30).
5. Тertyшная Ю.В., Подзорова М.В. Разнообразие микромицетов – деструкторов биопластиков Успехи медицинской микологии. 2023. Т. 25. С. 153-158.
6. Adhikari D., Mukai M., Kubota K., Kai T., Kaneko N., Araki K.S., Kubo M. Degradation of Bioplastics in Soil and Their Degradation Effects on Environmental Microorganisms J. Agricult. Chem. and Environ. 2016. V. 5(1). P. 23-34.
7. Eberl A., Heumann S., Brückner T. et al. Enzymatic surface hydrolysis of poly(ethylene terephthalate) and bis(benzoyloxyethyl) terephthalate by lipase and cutinase in the presence of surface active molecules J. Biotechnol. 2009. 143(3). 207-212.
8. Kan Y., He L., Luo Y., Bao R. IsPETase Is a Novel Biocatalyst for Poly(ethylene terephthalate) (PET) Hydrolysis ChemBioChem. 2021. 22(10). 1706-1716.
9. Liebminger S., Eberl A., Sousa F., Heumann S., Fischer-Colbrie G., Cavaco-Paulo A., Guebitz G.M. Hydrolysis of PET and Bis-(Benzoyloxyethyl) Terephthalate with a New Polyesterase from Penicillium Citrinum Biocatal. Biotransform. 2007. 25. 171-177.
10. Позднякова Н.Н., Буров А. М., Антонов Е. А., Александрова А. В., Турковская О. В. Биотехнология. 2022. 38. № 5. 106-115.

ГРИБЫ НА МАТЕРИАЛАХ И КОНСТРУКЦИЯХ ВОЛОГОДСКОГО КРЕМЛЯ

Власов А.Д.¹, Зеленская М.С.², Власов Д.Ю.²¹ Санкт-Петербургский филиал Архива РАН² Санкт-Петербургский государственный университет

Среди микроорганизмов, повреждающих объекты культурного наследия, особое место принадлежит грибам. Они обладают набором уникальных морфологических и биохимических свойств, которые позволяют колонизировать различные субстраты в условиях городской среды (The effect..., 2019), вызывая при этом их повреждение или разрушение. Состав и структура сообществ грибов на объектах культурного наследия могут свидетельствовать о степени повреждения материалов или потенциальной опасности для объекта. При этом грибы могут входить в состав биопленок вместе с другими микроорганизмами, например, с водорослями и бактериями (Sazanova et al., 2023). Накоплению грибов и развитию процессов биоповреждений обычно способствует повышенная влажность материалов, наличие загрязнений различной природы, которые грибы могут использовать в качестве источников питания.

Архитектурный ансамбль Вологодского кремля находится в центре города Вологды. Он состоит из построек четырех веков (XVI – XIX вв.) — храмов, палат, крепостных стен. Микологические исследования на данной территории проводились в 2020 году в ходе предпроставационного обследования исторических объектов. Задачи работы состояли в выявлении и описании основных форм биологических повреждений материалов, микологическом анализе проб с поврежденных участков, установлении возможных причин биопоражения и составлении рекомендаций по нормализации состояния объектов. Объектами микологического обследования были все основные постройки на территории Вологодского кремля, включая Софийский кафедральный собор. Пробы с поверхности поврежденных материалов для микологического анализа были отобраны неповреждающими методами. Пробы воздушной среды были взяты с использованием сертифицированного пробоотборного устройства ПУ-1Б. Объем пробы воздуха составлял 250 литров. Осаждение колониеобразующих единиц проводилось на питательную среду Чапека-Докса. Посевы микологических проб проводились на агаризованные питательные среды Чапека-Докса и Сабуро. Получаемые культуры инкубировали в термостате в течение 2-4 недель при температуре 25°C до получения спороношения, после чего осуществлялась идентификация микромицетов с использованием световой микроскопии. Определение микромицетов проводилось с использованием отечественных и зарубежных определителей.

Грибы были выявлены практически на всех материалах, использовавшихся в облицовке фасадов обследованных зданий. Они были выделены из проб следующих типов:

- биопленки зеленые, желто-зеленые, серо-черные на красочном слое, штукатурном покрытии, кирпиче, каменной кладке;
- вспучивание, шелушение и отслаивание фрагментов красочного слоя (в том числе за счет развития биопленок);
- разрушение кирпичной кладки (расслаивание кирпича), на поверхности которых развивается плотный зеленый налет, выступают соли, наблюдается хлопьевидное отслаивание поверхностного слоя кирпича;
- разрушение связующего раствора и рост биопленок на нем;
- темные потеки по направлению движения влаги;
- трещины в долевой части фасадных стен.

Внутри исторических объектов грибы были изолированы с облицовочных материалов в местах повреждений следующих типов:

- пятна и поверхностные налеты на красочном слое, штукатурном покрытии, древесине;
- развитие темноокрашенных плесневых грибов под отслаивающимся красочным слоем;
- пылевые наслоения и поверхностные загрязнения;
- повреждения материалов в местах протечек.

В результате проведенных исследований в пробах поврежденных материалов и конструкций выявлено более 30 видов микроскопических грибов, а также стерильные формы светлого и темного мицелия. Большинство выявленных грибов известно как деструкторы различных материалов, а также условные патогены человека. В пробах с фасадов обследованных зданий по встречаемости преобладали темноокрашенные грибы, которые обычно отмечаются в почве и на поверхности различных материалов. Внутри помещений доминировали виды родов *Penicillium* и *Aspergillus*, которые хорошо известны как деструкторы различных материалов внутри помещений. Количество видов в пробах характеризовалось существенными колебаниями, что свидетельствует о неравномерности распределения грибов на материалах и конструкциях обследованных зданий.

Необходимо отметить, что в изученных пробах преобладали мелкоспоровые формы микромицетов. Образованные этими грибами споры легко переносятся воздушными потоками и могут распространяться по объектам. Дополнительным фактором распространения спор может стать запыленность и загрязненность помещений. Известно, что споры грибов адсорбируются на пылевых частицах и вместе с ними легко переносятся воздушными потоками. В пробах воздушной среды были выявлены преимущественно те же виды, которые отмечались и на поврежденных материалах. Численность колониеобразующих единиц грибов в большинстве проб не превышала 300 КОЕ в 1 куб. м. воздуха. Такая численность не превышает нормативного значения (500 КОЕ в 1 куб. м. воздуха), принятого Всемирной организацией здравоохранения.

Выявленные очаги биологического повреждения материалов, приводящие к их разрушению, свидетельствуют о важности защиты объектов Вологодского кремля от биопоражения. При этом необходимо осуществление комплекса защитных мероприятий с учетом установленного фона биодеструкторов, сформировавшегося в течение длительного времени.

Список литературы

1. The Effect of the Environment on Saint Petersburg's Cultural Heritage. Results of Monitoring the Historical Necropolis Monuments. Eds: Frank-Kamenetskaya O.V., Vlasov D.Yu., Rytikova V.V. 2019, Springer. 188p.
2. Sazanova K.V., Zelenskaya M.S., Pavlova O.A., Vlasov D.Yu. The peculiarities of the mycobiota formation on the Saint Petersburg stone monuments based on metagenomics and cultural data. Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 5. С. 321-331.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ГРИБОВ-ДЕСТРУКТОРОВ ТЕМПЕРНОЙ ЖИВОПИСИ, ИЗОЛИРОВАННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТРЕТЬЯКОВСКОЙ ГАЛЕРЕЕ

Жгун А.А.¹, Ермолук А.А.¹, Коблов Ф.С.^{1,2}, Авданина Д.А.¹,Васильева Б.Ф.³, Демьянкова М.В.³, Ефременкова О.В.³¹ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт Биоинженерии, Москва²Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва³НИИ по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе, Москва

В связи с распространением устойчивых форм микроорганизмов и, как следствие, недостаточным количеством эффективных антибиотиков медицинского назначения, поиск продуцентов новых соединений является актуальной задачей [1–3]. Одним из подходов к решению этой задачи является поиск продуцентов антибиотиков из ранее не исследованных и зачастую экстремальных источников. Объектами нашего исследования были плесневые грибы-деструкторы темперной живописи из отделов *Zygomycota* и *Ascomycota*. Эти грибы приспособились выживать в экстремальных для большинства других микроорганизмов условиях музейного хранилища [4,5]. Задачей исследования было выявление среди штаммов грибов, выделенных с икон из коллекции Государственной Третьяковской галереи (STG), продуцентов антимикробных веществ как первого этапа разработки новых лекарственных препаратов.

Материалы и методы. В качестве предполагаемых продуцентов антимикробных веществ были исследованы STG-штаммы микроскопических грибов, ранее изолированные в Третьяковской галерее [6]: *Aspergillus versicolor* STG-25G, *Mucor circinelloides* STG-30, *Ulocladium* sp. AAZ-2020a STG-36, *Cladosporium halotolerans* STG-52B, *A. creber* STG-57, *A. versicolor* STG-86, *A. creber* STG-93W, *C. parahalotolerans* STG-93B, *Simplicillium lamellicola* STG-96, *Microascus paisii* STG-103, *Aspergillus protuberus* STG-106, *Penicillium chrysogenum* STG-117, *A. niger* STG-143B, *Iodophanus* sp. STG-150, *Cladosporium* sp. STG-301B, *Aureobasidium pullulans* STG-301M, *C. halotolerans* STG-328, *Rhodotorula mucilaginosa* STG-319, *Paraphoma salicis* STG-321, *Anthraccina Saxicola* STG-322, *Cerarobasidium* sp. STG-324, *Penicillium* sp. STG-327, *Cladosporium* sp. STG-333B и *Penicillium* sp. STG-344. В качестве контроля использовали *A. chrysogenum* ВКМ F-4081D (НУ), улучшенный продуцент антибиотика цефалоспоринона С [7]. Грибы культивировали на агаровых и в жидких средах. Антимикробную активность определяли методом диффузии в агар в отношении 16 тест-культур.

Результаты. Из 24-х STG-штаммов грибов в условиях эксперимента 14 проявили антимикробную активность хотя бы в отношении одной тест-культуры (табл. 1). Наиболее активные штаммы принадлежали представителям классов *Eurotiomycetes* (*Aspergillus niger* STG-143B, *Penicillium* sp. STG-327 и *Penicillium* sp. STG-344), *Sordariomycetes* (*Simplicillium lamellicola* STG-96) и *Agaricomycetes* (*Cerarobasidium* sp. STG-324). Все они проявили активность против 5-ти и более тест-культур. Эксперимент выявил перспективные грибы с точки зрения их активности против опасных антибиотикорезистентных

патогенов, в частности, против *Staphylococcus aureus* INA 00761 (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, а также сапрофитов *Mycobacterium smegmatis* VKPM Ac-1339 и *M. smegmatis* mc² 155 (данный вид применим на первой стадии поиска противотуберкулезных средств), а также *Leuconostoc mesenteroides* VKPM B-4177 (высокая устойчивость в отношении гликопептидных антибиотиков группы ванкомицина).

В настоящее время особенно остро стоит потребность в препаратах, преодолевающих резистентность грамотрицательных патогенов. К таким относится тест-штамм *P. aeruginosa* ATCC 27853, против которого оказались эффективными вещества, образуемые грибами *Penicillium* sp. STG-327 и *Penicillium* sp. STG-344.

Возбудитель туберкулеза *Mycobacterium tuberculosis* по решению Всемирной организации здравоохранения отнесен к группе патогенов критического уровня опасности из-за неэффективной антибиотикотерапии. Среди исследованных грибов штаммы *Anthraccina saxicola* STG-322, *Cerarobasidium* sp. STG-324, *Penicillium* sp. STG-327 и *Penicillium* sp. STG-344 продемонстрировали эффективность против *M. smegmatis* ВКПМ Ac-1339 и *M. smegmatis* mc² 155.

Гриб *Simplicillium lamellicola* известен как продуцент веществ, активных в отношении фитопатогенных бактерий и грибов, особенно против *Leptosphaeria biglobosa*, *Botrytis cinerea* (серая плесень), *Sclerotinia sclerotiorum* (стеблевая гниль), *Agrobacterium tumefaciens*, *Ralstonia solanacearum*, но он не исследовался на активность против патогенов человека. В наших условиях штамм *S. lamellicola* STG-96 активен в отношении грамположительных бактерий как при поверхностном росте, так и в условиях погруженного культивирования; этот штамм также подавляет рост модельных тест-штаммов *E. coli* 5660 и 5661, что предполагает механизм действия образуемого вещества (или веществ) на рибосому.

Заключение. Впервые показано, что ряд штаммов грибов, выделенных с икон XV–XVIII веков, обладают исключительной антимикробной активностью против серии из 16 стандартных тест-штаммов, включая патогенов с множественной лекарственной устойчивостью и штаммы *Mycobacterium smegmatis* – модельного объекта для поиска противотуберкулезных средств [8]. Таким образом, исследованный нами необычный источник для поиска продуцентов антибиотиков, оказался успешным. В дальнейшем планируется установить структуры образуемых этими грибами антимикробных соединений..

Таблица 1. Чувствительность тест-культур к антимикробным веществам грибов при культивировании на агаровой среде Чапе-ка-Докса, определенная на основании диаметра зон подавления роста тест-штаммов, мм.

STG-штамм	Диаметр зоны ингибирования роста тест-культуры, мм															
	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633 (=RIA 445)	<i>Bacillus mycoides</i> 537	<i>Bacillus pumilus</i> NCTC 8241	<i>Micrococcus luteus</i> NCTC 8340	<i>Staphylococcus aureus</i> FDA 209P (MSSA)	<i>Staphylococcus aureus</i> ИНА 00761 (MRSA)	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	<i>Escherichia coli</i> K-12	<i>Escherichia coli</i> 5660 (BW25113)ptD	<i>Escherichia coli</i> 5661 (Δ tolC (Kan R) = ИНА 01356	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>Aspergillus niger</i> ИНА 00760	<i>Sacharomyces cerevisiae</i> RIA 259	<i>Mycobacterium smegmatis</i> БКПМ Ac-1339 (=4831)	<i>Mycobacterium smegmatis</i> mc ³ 155 (=4832)	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> БКПМ B-4177
STG-25G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-30	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-52B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-57	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-86	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-93B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-93W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
STG-96	0	13	18	12	27	21	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
STG-103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-106	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-117	0	0	0	0	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-143B	13	12	13	12	25	14	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
STG-150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-301B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
STG-301M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
STG-321	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0
STG-324_1	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	17
STG-324_2	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	13	0	0	0	0
STG-327	15	15	15	22	15	17	0	0	0	14	13	0	0	0	23	0
STG-328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-333B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STG-344_1	21	22	0	21	15	17	0	13	12	11	0	14	19	17	0	0
STG-344_2	17	15	18	16	16	18	0	0	0	14	12	11	13	22	18	0
<i>A.chrysogenum</i> HY	18	0	14	13	18	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0

Список литературы

1. Butler M.S., Henderson I.R., Capon R.J., Blaskovich M.A. Antibiotics in the clinical pipeline as of December 2022. J. Antibiot. 2023 768 2023, 76, 431–473, doi:10.1038/s41429-023-00629-8.

2. Zhuang M., Achmon Y., Cao Y., et al. Distribution of antibiotic resistance genes in the environment. Environ. Pollut. 2021, 285, 117402, doi:10.1016/j.envpol.2021.117402.

3. Uddin T.M., Chakraborty A.J. Khusro, Aet al. Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic strategies and future prospects. J. Infect. Public Health 2021, 14, 1750–1766, doi:10.1016/j.jiph.2021.10.020.

4. Capodicasa S., Fedi S., Porcelli A.M., Zannoni D. The microbial community dwelling on a biodeteriorated 16th century painting. Int. Biodeterior. Biodegradation 2010, 64, 727–733, doi:10.1016/j.ibiod.2010.08.006.

5. Cappitelli F., Cattò C., Villa F. The Control of Cultural Heritage Microbial Deterioration. Microorganisms 2020, 8, 1–20, doi:10.3390/MICROORGANISMS8101542.

6. Zhgun A., Avdanina D., Shumikhin K., et al. Detection of potential biodeterioration risks for tempera painting in 16th century exhibits from State Tretyakov Gallery. PLoS One 2020, 15, e0230591, doi:10.1371/journal.pone.0230591.

7. Bartoshevich Y., Novak M., Domratheva A., Skrybin K. Method of Cephalosporin C Biosynthesis by Using New Acremonium Chrysogenum Strain RNCM NO F-4081D. 2011. Patent RU2426793C2, 20 August 2011.

8. Ermolyuk A.A., Avdanina D.A., Koblov E.S. et al. Determination of Antimicrobial Activity in Fungi-destructors of Tempera Painting Isolated in the State Tretyakov Gallery. Appl. Biochem. Microbiol. 2024, 60, 1–9, doi:10.1134/S0003683824605742/FIGURES/5.

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Current Mycology in Russia

Том 11

Выпуск 3.

**Биоразнообразие и охрана
грибов**

Глава 6.

**Биоразнообразие грибов
России и Евразии**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.06

Volume 11

Issue 3.

**Biological diversity
and preservation of fungi**

Chapter 6.

**Biodiversity of fungi
in Russia and Eurasia**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.06

Содержание выпуска 3

Глава 6. Биоразнообразие грибов России и Евразии

К БИОТЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ УССУРИЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	
Благовещенская Е.Ю.....	108
ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РОДА <i>RHOMA</i> SACC. В ЦЕНТРАЛЬНОМ И ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ	
Асылбек А.М., Рахимова Е.В., Кызметова Л.А., Сыпабеккызы Г.....	109
РАЗНООБРАЗИЕ МАКРОМИЦЕТОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «БУНГАРАПСКО-АЖЕНДАРОВСКИЙ»	
Филиппова А.В.....	112
АНАЛИЗ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА ГРИБОВ ВЕРХОВОГО БОЛОТА, ВЫПОЛНЕННЫЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МЕТАБАРКОДИНГА	
Филиппова Н.В., Звягина Е.А.	113
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КСИЛОМИКОБИОТЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ АЗЕРБАЙДЖАНА	
Гасанова В.Я., Алибейли Н.С., Гасанова А.Р.....	117
<i>LECCINELLUM CROCIPODIUM</i> В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ	
Ивойлов А.В.	118
ПЕРВАЯ НАХОДКА <i>DESARMILLARIA ECTYPA</i> (AGARICALES, BASIDIOMYCOTA) В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	
Капитонов В.И.....	119
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ И ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС КСИЛОТРОФНЫХ ГРИБОВ В ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ АБХАЗИИ	
Хачева С.И.	120
КСИЛОТРОФНЫЕ ГРИБЫ АБХАЗИИ КАК БИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕСУРС (ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ, ЛЕКАРСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ)	
Хачева С.И.	121
РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ	
Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Перминова Е.М.....	123
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОМИЦЕТОВ В ТАЛЫХ И МЕРЗЛЫХ СЛОЯХ БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА	
Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Перминова Е.М.....	124
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИКРОМИЦЕТОВ	
Лиховидов В.Е., Асташкин Е.И.	125
ОСОБЕННОСТИ МИКРОМИЦЕТОВ КАРСТОВОЙ ПЕЩЕРЫ БОЛЬШАЯ НИЖНЕУДИНСКАЯ	
Мазина С.Е., Базарова Е.П., Федоров А.С., Назаров С.И., Лукьянов Д.А., Левашова Е.А., Егоров М.И., Силушкина Э.А., Вышелесский А.Б.	127
МИКСОМИЦЕТЫ ПОДСТИЛОЧНОГО СУБСТРАТНОГО КОМПЛЕКСА В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «НАРОЧАНСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)	
Мороз Е.Л., Новожилов Ю.К.....	128
ПЕРВОЕ СООБЩЕНИЕ О НАХОЖДЕНИИ <i>VOLVARIELLA BOMBYCINA</i> (SCHAEFF.) SINGER В УЗБЕКИСТАНЕ	
Мустафаев И.М., Иминова М.М.	129
<i>CORTINARIACEAE</i> В РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ	
Нагуманов Ш.З.	131
ПОЧВЕННАЯ МИКОБИОТА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	
Никитин Д.А., Корнейкова М.В., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Добрянский А.С., Горячкин С.В.....	132
КОМПЛЕКСЫ ТЕРМОФИЛЬНЫХ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ В ПЕРВИЧНЫХ ПОЧВАХ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА	
Николаев Н.С., Кирцидели И.Ю., Ильющин В.А., Власов Д.Ю.....	134
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОБИОТЫ В РАЙОНЕ СТАЦИОНАРА ААНИИ НА АРХИПЕЛАГЕ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ	
Панин А.Л., Кирцидели И.Ю., Соколов В.Т., Гончаров А.Е., Краева Л.А., Сбойчаков В.Б., Власов Д.Ю.....	135
КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИХЕНОБИОТЫ СТЕН СОЛОВЕЦКОГО МОНАСТЫРЯ	
Пчелкин А.В.	136
ЛИХЕНОБИОТА ПАРКА «ЗАРЯДЬЕ»: ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ, 8 ЛЕТ СПУСТЯ	
Пчелкин А.В.....	137
ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И КОЛЛЕКЦИОННЫЕ ФОНДЫ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ	
Сазанова Н.А.....	139
НАХОДКИ <i>ARCHAEORHIZOMYCETES</i> В МИКОБИОМЕ СТАРОГО ОТВАЛА ФОСФОГИПСА	
Широких И.Г., Боков Н.А., Широких А.А.	140
УТОЧНЕНИЕ В КРАСНЫЕ КНИГИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ	
Шустов М.В.	141
ВОЗБУДИТЕЛИ СНЕЖНЫХ ПЛЕСЕНЕЙ В НЕСТАБИЛЬНЫХ ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ И ИХ СИСТЕМАТИКА	
Ткаченко О.Б.	142
АФИЛЛОФРОИДНЫЕ (ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ) ГРИБЫ В СОСТАВЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЛАГЕРЯ КЕНОЗЕРЬЯ	
Заводовский П.Г.....	144

МИКОЛОГИЧЕСКИЙ ГЕРБАРИЙ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.Л.КОМАРОВА РАН (LE F) – ОДНО ИЗ КРУПНЕЙШИХ ХРАНИЛИЩ ЛИХЕНОФИЛЬНЫХ ГРИБОВ, ГДЕ ПРЕДСТАВЛЕНА ТРЕТЬ ИХ ВИДОВОГО РАЗНО- ОБРАЗИЯ	
Журбенко М.П., Паломожных Е.А., Калинина Л.Б.....	145

Глава 6

Биоразнообразие грибов России и Евразии

10.14427/cmr.2025.xi.06

К БИОТЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ УССУРИЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Благовещенская Е.Ю.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Уссурийский заповедник расположен на юге Приморского края и занимает площадь более 40 000 га. С 23 по 29 августа 2021 года на базе Уссурийского заповедника и Горнотаежной станции им. В.Л. Комарова проходило XVI Международное рабочее совещание по изучению макромикетов, в ходе которого был собран гербарный материал фитопатогенных грибов, список которых представлен ниже. Названия видов грибов указаны по базе Index Fungorum.

OOMYCOTA

Peronosporae, Peronosporales

1. (!) *Plasmopara pileae* Gäum. ex Jacz. Ha *Pilea mongolica* Wedd. (Urticaceae).

ASCOMYCOTA

Pezizomycotina

Leotiomyces

Erysiphales

2. *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. Ha *Salix bebbiana* Sarg. (Salicaceae).
3. *Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam. Ha *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. и *Q. dentata* Thunb. (Fagaceae).
4. *Erysiphe aquilegiae* DC. Ha *Clematis brevicaudata* DC (Ranunculaceae).
5. (#) *Erysiphe krumbholzii* U. Braun Ha *Chrysosplenium ramosum* Maxim. (Saxifragaceae).
6. *Erysiphe lonicerae* DC. Ha *Lonicera chrysantha* Turcz. ex Ledeb. (Caprifoliaceae).
7. (#) *Erysiphe pisi* DC. Ha *Trifolium pratense* L. и *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (Fabaceae)
8. *Erysiphe schisandrae* (Sawada) U. Braun & S. Takam. Ha *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (Schisandraceae).
9. *Erysiphe sedi* U. Braun. Ha *Aizopsis aizoon* (L.) Grulich (Crassulaceae).
10. *Erysiphe urticae* (Wallr.) S. Blumer. Ha *Urtica angustifolia* Fisch. ex Hornem. (Urticaceae).
11. *Golovinomyces arabis* (R.Y. Zheng & G.Q. Chen) V.P. Heluta Ha *Arabis pendula* L. (Brassicaceae).
12. (#) *Sawadaea bicornis* (Wallr.) Homma. Ha *Acer mandshuricum* Maxim. (Aceraceae).

Rhythmatales

13. (!) *Rhytisma punctatum* (Pers.) Fr. Ha *Acer komarovii* Pojark. и *A. pseudosieboldianum* (Pax) Kom. (Aceraceae).

BASIDIOMYCOTA

Ustilaginomycotina

Ustilaginomycetes

Ustilaginales

14. *Anthracoidea* cf. *caricis* (Pers.) Bref. Ha *Carex vesicaria* L. (Cyperaceae).

Pucciniomycotina

Microbotryomycetes

Microbotryales

15. (!) *Sphacelotheca hydropiperis* (Schumach.) de Bary. Ha *Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre (Polygonaceae).

Pucciniales

16. *Aecidium viburni* Henn. & Shirai, I. Ha *Viburnum burejaeticum* Regel & Herder (Viburnaceae).
17. *Chrysomyxa rhododendri* (DC.) de Bary, II. Ha *Rhododendron mucronulatum* Turcz. (Ericaceae).

18. *Coleosporium cimicifugatum* Thüm., II. Ha *Actaea acuminata* Wall. ex Royle (Ranunculaceae).

19. *Coleosporium campanulae* (Pers.) Tul., II. Ha *Adenophora pereskifolia* (Fisch. ex Schult.) G. Don (Campanulaceae).

20. *Coleosporium neocalaliae* Saho, II. Ha *Parasenecio auriculatus* (DC.) J.R. Grant и *P. hastatus* (L.) H. Koyama (Asteraceae).

21. *Coleosporium pedunculatum* S. Kaneko, II. Ha *Saussurea grandifolia* Maxim. (Asteraceae).

22. *Coleosporium phellodendri* Dietel, II. Ha *Phellodendron amurense* Rupr. (Rutaceae).

23. *Cronartium pini* (Willd.) Jørst., III. Ha *Paeonia* sp. (Paeoniaceae).

24. *Gymnosporangium* sp., 0. Ha *Prunus* sp. (Rosaceae).

25. *Melampsorella elatina* (Alb. & Schwein.) Arthur (= *Melampsorella caryophyllacearum* (DC.) J. Schröt.), II. Ha *Stellaria bungeana* Fenzl (Caryophyllaceae).

26. *Nothopucciniastrum coryli* (Kom.) P. Zhao & L. Cai (= *Pucciniastrum coryli* Kom.), II. Ha *Corylus heterophylla* Fisch. ex Trautv. и *C. mandshurica* Maxim. (Betulaceae).

27. *Nothopucciniastrum tiliae* (Miyabe) P. Zhao & L. Cai (= *Pucciniastrum tiliae* Miyabe), II. Ha *Tilia mandshurica* Rupr. (Tiliaceae).

28. *Puccinia caricis-pseudololiaceae* Homma, II, III. Ha *Carex vesicata* Meinsh. (Cyperaceae).

29. *Puccinia coronata* Corda, II, III. Ha *Festuca extremiorientalis* Ohwi (Poaceae).

30. *Puccinia diarrhenae* Miyabe & S. Ito, II (III). Ha *Neomolinia mandshurica* (Maxim.) Honda (Poaceae).

31. *Puccinia dieteliana* P. Syd., II, III. Ha *Lysimachia clethroides* Duby (Primulaceae).

32. *Puccinia pygmaea* Erikss., II, III. Ha *Calamagrostis brachytricha* Steud. (Poaceae).

33. *Puccinia violae* (Schumach.) DC., II. Ha *Viola* sp. (Violaceae).

34. *Pucciniastrum agrimoniae* (Dietel) Tranzschel, II. Ha *Agrimonia pilosa* Ledeb. (Rosaceae).

35. (!) *Pucciniastrum nipponicum* (Hirats. f.) Jørst., II. Ha *Galium davuricum* Turcz. ex Ledeb. (Rubiaceae).

36. *Pucciniastrum rubiae* (Kom.) Jørst., II. Ha *Rubia chinensis* Regel & Maack и *R. cordifolia* L. (Rubiaceae).

37. *Thekopsora areolata* (Fr.) Magnus (= *Pucciniastrum areolatum* (Fr.) G.H. Otth), II. Ha *Padus avium* Mill. (Rosaceae).

38. *Quasipucciniastrum potentillae* (Kom.) M. Scholler & U. Braun (= *Thekopsora potentillae* (Kom.) Aime & McTaggart), II. Ha *Potentilla* sp. (Rosaceae).

Знаком (!) отмечены виды, отсутствующие в списке грибов Уссурийского заповедника [1], знаком (#) – виды, обнаруженные на новом растении-хозяине. Для ржавчинных грибов приведены номера стадий: 0 – спермогонии, I – эции, II – урединии, III – телии.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова.

Список литературы

1. Азбукина З. М., Бардунов Л. В., Безделева Т. А. и др. Флора, растительность и микобиота заповедника «Уссурийский». Владивосток: Дальнаука, 2006. – 299 с.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РОДА *PHOMA* SACC. В ЦЕНТРАЛЬНОМ И ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

Асылбек А.М., Рахимова Е.В., Кызметова Л.А., Сыпабеккызы Г.
Институт ботаники и фитоинтродукции, Алма-Ата

Род *Phoma* всегда считался одним из крупнейших родов грибов, в котором описано более 3000 внутривидовых таксонов [1], большая часть которых географически широко распространена и встречается в многочисленных экологических нишах [2, 3]. Представители рода могут быть как сапротрофами, так и фитопатогенами, энтомопатогенами, паразитами человека и животных, других грибов, лишайников и оомицетов [4]. Несмотря на большое количество описанных видов и постоянный интерес исследователей к роду *Phoma*, он до сих пор остается слабо изученным [4]. В настоящее время проблемами являются: установление пределов рода, филогенетических связей внутри рода и с близкородственными родами, а также обеспечение быстрой идентификации видов рода *Phoma*.

Целью нашей работы являлось выявление видового состава грибов рода *Phoma* на территории Центрального и Юго-Восточного Казахстана.

Материалом для статьи послужили собственные сборы авторов на территории Центрального и Юго-Восточного Казахстана, а также гербарные образцы, хранящиеся в микологическом гербарии Института Ботаники и фитоинтродукции. Названия грибных таксонов приведены по базе данных MycoBank [5].

В результате исследований в Центральном и Юго-Восточном Казахстане выявлен 51 вид грибов рода *Phoma* (Табл.1), шесть образцов идентифицированы только до рода.

Обнаруженные 51 представитель рода *Phoma*, а также 6 образцов, идентифицированных до рода, выявлены на 73 видах питающих растений (14 образцов определены только до рода), которые относятся к 30 семействам (Табл. 1, Рис. 1). Виды рода не всегда узко специализированы. В частности, *Phoma salsa* отмечен на *Bassia prostrata* и *Oreosalsola laricifolia* из семейства Chenopodiaceae; а *Phoma herbarum* зарегистрирован на *Megacarpa megalocarpa* и *Sisymbrium polymorphum*

из семейства Brassicaceae, на *Cousinia* sp. из семейства Asteraceae, и на *Scutellaria titovii* из семейства Lamiaceae.

Интересно отметить вид *Phoma aceris-negundinis* Arcang., впервые найденный на *Acer negundo* L. несколько лет назад.

К числу наиболее поражаемых семейств относятся: Rosaceae, на представителях которого зарегистрированы 6 видов рода *Phoma* и два идентифицированных до рода образца (Рис. 1), Fabaceae (5 видов), Chenopodiaceae (5 видов, из которых 1 – идентифицирован до рода), Brassicaceae (4 вида). На представителях семейств Apiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Caryophyllaceae и Poaceae обнаружено по три вида рода *Phoma*, причем на видах семейства Caryophyllaceae два представителя рода *Phoma* идентифицированы до рода.

Максимальное количество видов грибов этого рода (53 таксона) отмечено в Юго-Восточном Казахстане, тогда как данные по Центральному Казахстану (11 таксонов) пока малочисленны в связи с тем, что исследования в этом регионе проводились крайне недостаточно.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы BR23591088 «Создание кадастра растений Улытауской области как реализация задач закона РК «О растительном мире» для устойчивого использования ботанических ресурсов региона».

Список литературы

1. Monte E., Bridge P.D., Sutton B.C. (1991). An integrated approach to *Phoma* systematics. Mycopathologia 115: 89–103.
2. Sutton B.C. (1980). The Coelomycetes. Fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stromata. 1st edn. Commonwealth Mycological Institute, U.K.
3. Aveskamp MM, Gruyter J de, Crous PW (2008). Biology and recent developments in the systematics of *Phoma*, a complex genus of major quarantine significance. Fungal Diversity 31: 1–18.
4. Гомжина М.М., Ганнибал Ф.Б. (2017) Современная систематика грибов рода *Phoma* sensu lato. Микология и фитопатология 51: 268–275.
5. <https://www.mycobank.org>

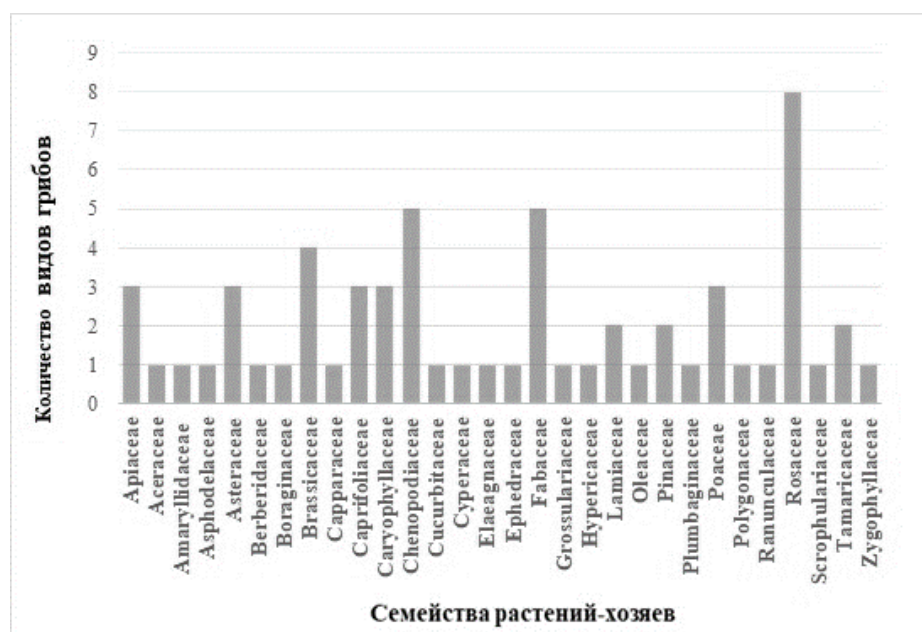


Рисунок 1. Распределение грибов рода *Phoma* по семействам питающих растений.

Таблица 1. Виды грибов рода *Phoma* на территории Центрального и Юго-Восточного Казахстана (виды Центрального Казахстана отмечены*).

Семейство растения-хозяина	Виды растений хозяев	Виды <i>Phoma</i>
Apiaceae Lindl.	<i>Angelica decurrens</i> (Ledeb.) B. Fedtsch.	<i>Phoma punctoidea</i> P. Karst.
	<i>Heracleum</i> sp.	<i>Phoma subcomplanata</i> Cooke & Massee
	* <i>Seseli aemulans</i> Popov	* <i>Phoma seseli</i> Hollós
Aceraceae Juss.	<i>Acer negundo</i> L.	<i>Phoma aceris-negundinis</i> Arcang.
Amaryllida-ceae J.St.-Hil.	<i>Allium atrosanguineum</i> Schrenk <i>Allium caesium</i> Schrenk <i>Allium</i> sp.	<i>Phoma alliicola</i> Sacc. & Roum.
Asphodelaceae Juss.	<i>Eremurus fuscus</i> (O. Fedtsch.) Vved. <i>Eremurus robustus</i> (Regel) Regel * <i>Eremurus</i> sp.	<i>Phoma eremuri</i> Zaprom.
Asteraceae Bercht. & J.Presl	<i>Artemisia dracunculus</i> L. <i>Artemisia oliveriana</i> J. Gay ex DC. <i>Artemisia sublessingiana</i> (Keller) Krasch. ex Poljakov <i>Artemisia vulgaris</i> L. * <i>Artemisia</i> sp.	<i>Phoma artemisiae</i> Kalchbr. & Cooke
	<i>Centaurea virgata</i> subsp. <i>squarrosa</i> (Willd.) Gugler <i>Centaurea scabiosa</i> L.	<i>Phoma centaureae</i> G. Boyer & Jacz.
	<i>Cousinia</i> sp.	<i>Phoma herbarum</i> Westend.
Berberidaceae Juss.	<i>Berberis heteropoda</i> Schrenk	<i>Phoma</i> sp. 6
Boraginaceae Juss.	<i>Heliotropium arguzioides</i> Kar. & Kir.	<i>Phoma heliotropii</i> Tassi
Brassicaceae Burnett	<i>Sisymbrium polymorphum</i> (Murray) Roth	<i>Phoma herbarum</i> Westend.
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	<i>Phoma gregaria</i> P. Syd.
	<i>Lepidium affine</i> Ledeb.	<i>Phoma piptoderma</i> Tassi
	* <i>Megacarpaea megalocarpa</i> (Fisch. ex DC.) Schischk. ex B. Fedtsch.	* <i>Phoma herbarum</i> Westend.
Capparaceae Juss.	<i>Capparis spinosa</i> var. <i>herbacea</i> (Willd.) Fici	<i>Phoma</i> sp. 4
Caprifoliaceae Juss.	<i>Lonicera tatarica</i> L.	<i>Phoma minutula</i> Sacc.
	<i>Lonicera altmannii</i> Regel & Schmalh.	<i>Phoma viventis</i> Cooke
		<i>Phoma xylostei</i> Cooke & Harkn.
Caryophylla-ceae Juss.	<i>Gypsophila</i> sp.	<i>Phoma gypsophilae</i> Hollós
	<i>Dichodon cerastoides</i> (L.) Rchb.	<i>Phoma</i> sp 1.
	<i>Thylacospermum caespitosum</i> (Cambess.) Schischk.	<i>Phoma</i> sp. 2
Chenopodia-ceae Vent.	<i>Haloxylon ammodendron</i> (C. A. Mey.) Bunge ex Fenzl	<i>Phoma haloxylicola</i> Kravtzev
	<i>Bassia prostrata</i> (L.) Beck	<i>Phoma salsa</i> Sacc.
	* <i>Camphorosma monspeliaca</i> subsp. <i>lessingii</i> (Litv.) Aellen	* <i>Phoma camphorosmatis</i> Szembel
	* <i>Kalidium schrenkianum</i> Bunge ex Ung.-Sternb.	* <i>Phoma kalidii</i> Byzova
	* <i>Oreosalsola laricifolia</i> (Litv. ex Drobow) Akhani	* <i>Phoma salsa</i> Sacc.
Cucurbitaceae Juss.	<i>Cucumis sativus</i> L.	<i>Phoma cucumeris</i> Bedlan
	<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>melo</i> L.	
Cyperaceae Juss.	<i>Carex songorica</i> Kar. & Kir.	<i>Phoma caricicola</i> Brunaud
Elaeagnaceae Juss.	* <i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	<i>Phoma elaeagnella</i> Cooke
Ephedraceae Dumort.	* <i>Ephedra distachya</i> L. <i>Ephedra</i> sp.	<i>Phoma ephedricola</i> Brunaud

Семейство растения-хозяина	Виды растений хозяев	Виды <i>Phoma</i>
Fabaceae Lindl.	<i>Astragalus alpinus</i> L.	<i>Phoma astragali-alpini</i> Oudem.
	<i>Astragalus alatavicus</i> Kar. & Kir. <i>Astragalus</i> sp.	<i>Phoma astragalicola</i> Hollós
	<i>Caragana halodendron</i> (Pall.) Dum.Cours.	<i>Phoma galini</i> Gucevič
	<i>Oxytropis almaatensis</i> Bajtenov <i>Oxytropis merkensis</i> Bunge <i>Oxytropis</i> sp.	<i>Phoma leguminum</i> Westend.
	<i>Medicago falcata</i> L. <i>Medicago sativa</i> L.	<i>Phoma roseola</i> Desm.
Grossulariaceae DC.	<i>Ribes meyeri</i> Maxim. <i>Ribes nigrum</i> L. <i>Ribes</i> sp.	<i>Phoma ribicola</i> Sacc. & P. Syd.
Hypericaceae Juss.	<i>Hypericum perforatum</i> L.	<i>Phoma hyperici</i> Brunaud
Lamiaceae Martinov	<i>Scutellaria titovii</i> Juz.	<i>Phoma scutellariae</i> Sävul. & Sandu. <i>Phoma herbarum</i> Westend.
Oleaceae Hoffmanns. & Link	<i>Fraxinus sogdiana</i> Bunge	<i>Phoma scobina</i> Cooke
Pinaceae Spreng. ex F.Rudolphi	<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	<i>Phoma abietis</i> Briard ex Sacc.
	<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. & C.A. Mey.	<i>Phoma eguttulata</i> P. Karst.
Plumbaginaceae Juss.	<i>Goniolimon speciosum</i> (L.) Boiss. * <i>Limonium gmelini</i> (Willd.) Kuntze <i>Limonium michelsonii</i> Lincz.	<i>Phoma statices</i> Tassi
Poaceae Barnhart	<i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng <i>Phleum pratense</i> L.	<i>Phoma culmicola</i> Schwein.
	<i>Festuca rubra</i> L.	<i>Phoma festucina</i> Thüm.
	<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn. <i>Calamagrostis</i> sp. <i>Melica transsilvanica</i> Schur.	<i>Phoma graminis</i> Westend.
Polygonaceae Juss.	<i>Calligonum acanthopterum</i> I.G. Borshch.	<i>Phoma atraphaxis</i> Kalymb.
Ranunculaceae Juss.	<i>Clematis orientalis</i> L. <i>Clematis songorica</i> Bunge	<i>Phoma vitalbae</i> Pass.
Rosaceae Juss.	<i>Sorbus tianschanica</i> Rupr.	<i>Phoma aucupariae</i> Bres.
	<i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim. <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	<i>Phoma crataegi</i> Sacc.
	<i>Cotoneaster melanocarpus</i> G. Lodd.	<i>Phoma</i> sp. 5
	<i>Spiraea hypericifolia</i> L.	<i>Phoma leucostoma</i> Lévl. <i>Phoma spiraeina</i> Pass.
	<i>Potentilla multifida</i> L. <i>Potentilla</i> sp.	<i>Phoma potentillica</i> Allesch.
	<i>Rubus idaeus</i> L.	<i>Phoma rubicola</i> Ripart bis
	<i>Prunus griffithii</i> (Boiss.) C. K. Schneid.	<i>Phoma</i> sp. 3
Scrophulariaceae Juss.	* <i>Dodartia orientalis</i> L.	* <i>Phoma dodartiae</i> Szembel
Tamaricaceae Link	<i>Myricaria bracteata</i> Royle	<i>Phoma myricariae</i> Henn.
	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb. <i>Tamarix</i> sp.	<i>Phoma tamaricina</i> Thüm.
Zygophylla-ceae R.Br.	* <i>Zygophyllum pinnatum</i> Cham. & Schltdl. <i>Zygophyllum</i> sp.	<i>Phoma zygophylli</i> Szembel

РАЗНООБРАЗИЕ МАКРОМИЦЕТОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «БУНГАРАПСКО-АЖЕНДАРОВСКИЙ»

Филиппова А.В.

Кемеровский государственный университет

Государственный природный заказник «Бунгарапско-Ажандаровский» расположен в Кемеровской области на левом берегу р. Томь в Беловском и Крапивинском районах.

Территория заказника находится на стыке двух геоморфологических провинций – равнинных пространств Западно-Сибирской низменности и горных сооружений Алтае-Саянской системы. В физико-географическом отношении территория располагается в пределах Кузнецкой котловины Кузнецко-Салаирской провинции Алтае-Саянской горной области. Здесь протекают крупнейшие реки Кемеровской области – Томь, Иня и их притоки (Бунгарап, Мунгат). Для заказника характерен низкогорный таежный ландшафт, и лишь северная часть занята Кузнецкой лесостепью с березо-осиновыми колками.

Богатство флоры и фауны определяется расположением заказника на границе трех ландшафтных образований – пойменно-долинных ландшафтов (р. Томь, Иня), лесостепей Кузнецкой котловины и горных темнохвойных лесов Кузнецкого Алатау. Поэтому на территории заказника сочетаются виды, относящиеся к разным эколого-географическим комплексам. Лесные сообщества во многих местах заказника имеют черты вторичности, так как на прирусловых территории р. Томь производилась сплошная вырубка леса. Основной облик формируют смешанные леса с участием пихты и мелколиственных пород, либо мелколиственные леса из березы и осины. Среди лесных сообществ преобладают осиново-пихтовые и пихтово-осиновые, осиновые и березовые насаждения. Незначительная доля в сложении лесных фитоценозов принадлежит сосновым лесам, в том числе искусственного происхождения. Луговая растительность представлена пойменными, суходольными и лесными лугами, доля которых невелика. Также имеются антропогенно нарушенные территории, представленные урочищами.

Комплексное экологическое обследование заказника проводилось с целью актуализации материалов кадастра особо охраняемых природных территорий (ООПТ) регионального значения. Одной из задач являлось исследование разнообразия макромицетов.

Сбор образцов грибов и идентификация видов проводились в соответствии со стандартными методиками. Учитывались оригинальные и литературные данные: Филиппова (2010), Красная книга Кузбасса (2021); Филиппова, Агеев, Большаков (2024).

В результате первичной обработки собранных материалов на территории заказника удалось выявить 62 вида макромицетов, принадлежащих к 6 классам, 17 порядкам, 34 семействам отделов Ascomycota (8 видов) и Basidiomycota (56 видов).

Самыми многочисленными порядками являются Polyporales, Agaricales, Russulales. На их долю приходится 64,2 % выявленного видового разнообразия. При этом наибольшее количество видов (84,1 %) приходится на класс Agaricomycetes. Остальные классы насчитывают от 1 до 3 видов. Конечно же, в видовом разнообразии

значительное количество видов относится к базидиомицетам.

Поскольку значительные территории Бунгарапско-Ажандаровского заказника заняты лесными сообществами, максимальное видовое разнообразие отмечено именно в лесах. Лишь незначительная часть видов предпочитает открытые пространства. Таков вид *Calvatia gigantea* (Batsch) Lloyd, однако и его возможно обнаружить в разреженных лесах.

В основном макромицеты являются деревообитающими, многие из них селятся как отмершей древесине, так и на живых ослабленных деревьях. Этих видов чуть больше половины. Так *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov может поражать осину на небольших участках. В этом случае необходимо проводить санитарные рубки для предотвращения распространения инфекции. Более трети видов обитают на почве и в подстилке. Среди них есть микоризообразователи (10 видов), подстилочные и гумусовые сапротрофы (18 видов).

Выявлено 3 вида, занесенных в Красную книгу Кузбасса: *Chlorophyllum rhacodes* (Vittad.) Vellinga, *Phallus impudicus* L., *Calvatia gigantea* (Batsch) Lloyd. Сокращение местообитаний указанных видов связано со значительной антропогенной нагрузкой на некоторые биоценозы.

Ниже приведен алфавитный список видов заказника «Бунгарапско-Ажандаровский», который может быть использован для пополнения кадастра ООПТ новыми данными.

Agaricus campestris L., *Aleuria aurantia* (Pers.) Fuckel, *Aleurodiscus amorphus* (Pers.) J. Schröt., *Artomyces pyxidatus* (Pers.) Jülich, *Auriscalpium vulgare* Gray, *Bjerkandera adusta* (Willd. ex Fr.) Karst., *Calocera cornea* (Batsch) Fr., *Calvatia gigantea* (Batsch) Lloyd, *Cantharellus cibarius* Fr., *Ceriporus leptcephalus* (Jacq.) Zmitr., *Ceriporus squamosus* (Huds.) Quél., *Chlorociboria aeruginascens* (Nyl.) Kanouse, *Chlorociboria aeruginosa* (Oeder) Seaver, *Chlorophyllum rhacodes* (Vittad.) Vellinga, *Collybiopsis confluens* (Pers.) R.H. Petersen, *Craterellus cf. lutescens* (Fr.) Fr., *Craterellus cornucopioides* (L.) Pers., *Craterellus undulatus* (Pers.) E. Campo & Papetti, *Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schröt., *Elaphomyces granulatus* Fr., *Exidia nigricans* (With.) P. Roberts, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Fomitiporia hartigii* (Allesch. & Schnabl) Fiasson & Niemelä, *Fomitopsis betulina* (Bull.) B.K. Cui, M.L. Han & Y.C. Dai, *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P.Karst., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat., *Gymnopus dryophilus* (Bull.) Murrill, *Hirschioporus abietinus* (Pers. ex J.F. Gmel.) Donk, *Humaria hemisphaerica* (F.H. Wigg.) Fuckel, *Hydnoporia tabacina* (Sowerby) Spirin, Miettinen & K.H. Larss., *Infundibulicybe gibba* (Pers.) Harmaja, *Ischnoderma benzoinum* (Wahlenb.) P. Karst., *Lachnellula calyciformis* (Batsch) Dharne, *Lactarius torminosus* (Schaeff.) Pers., *Lactarius trivialis* (Fr.) Fr., *Leccinum aurantiacum* (Bull.) Gray, *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray, *Leccinum versipelle* (Fr.) Snell, *Lentinellus cf. ursinus* (Fr.) Kühner, *Leucoagaricus nymphaeum* (Kalchbr.) Bon, *Marasmiellus candidus* (Fr.) Singer, *Mycena pura* (Pers.) P. Kumm., *Nectria cinnabarina* (Tode) Fr., *Neolentinus cyathiformis* (Schaeff.)

Della Magg. & Trassin., *Paxillus involutus* (Batsch) Fr., *Phaeoclavulina abietina* (Pers.) Giachini, *Phallus impudicus* L., *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov, *Plicaturopsis crispa* (Pers.) D.A. Reid, *Russula delica* Fr., *Russula foetens* Pers., *Schizophyllum amplum* (Lév.) Nakasone, *Scutellinia scutellata* (L.) Lambotte, *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers., *Suillus granulatus* (L.) Roussel, *Thelephora palmata* (Scop.) Fr., *Trametes betulina* (L.) Pilát, *Trametes gibbosa* (Pers.) Fr., *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd, *Trametes versicolor* (L.) Lloyd, *Tricholomopsis rutilans* (Schaeff.) Singer, *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer.

Анализ показал, что 8 видов зафиксированы не только на территории заказника, но и впервые указаны для Кемеровской области. К ним относятся: *Cerioporus squamosus* (Huds.) Quél., *Craterellus cf. lutescens* (Fr.) Fr., *Craterellus cornucopioides* (L.) Pers., *Craterellus undulatus* (Pers.) E. Campo & Papetti, *Exidia nigricans* (With.) P. Roberts, *Lentinellus cf. ursinus* (Fr.) Kühner, *Marasmiellus candidus* (Fr.) Singer, *Thelephora palmata* (Scop.) Fr.

Таким образом, впервые получены данные о видовом разнообразии макромицетов государственного природного заказника «Бунгарапско-Ажендаровский» и пополнен список видов для Кемеровской области. На текущий момент видовое разнообразие макромицетов

Кемеровской области составляет 696 видов. Однако стоит помнить, что данные одного полевого сезона не могут в полной мере отображать истинное разнообразие микобиоты той или иной территории. Для пополнения списка видов ООПТ необходимы дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Красная книга Кузбасса. Том I. 3-е из., пер. – Кемерово: «Вектор-принт», 2021. 240 с.

2. Филиппова А. В. Новые местонахождения видов грибов, занесенных в Красную книгу Кемеровской области. Флора и растительность антропогенно нарушенных территорий. Кемерово: Ирбис, 2010. Т. 6. С. 178-179.

3. Филиппова А.В. и соавт. Макромицеты Кемеровской области. КГУ: Кемерово, 2024. 210 с.

АНАЛИЗ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА ГРИБОВ ВЕРХОВОГО БОЛОТА, ВЫПОЛНЕННЫЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МЕТАБАРКОДИНГА

Филиппова Н.В., Звягина Е.А.
Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

Летом 2022 и 2023 годов были проведены отбор проб для секвенирования тотальной ДНК грибов на верховом болотном массиве «Мухрино» (средняя тайга Западной Сибири, г. Ханты-Мансийск). Объектом исследования были разные функциональные группы: сообщество в торфе (на поверхности), сообщество в глубине торфяной залежи (в стратиграфической колонке), грибы на опаде болотных растений, грибы микоризных окончаний болотных деревьев и грибы древесных субстратов, а также загрязненные участки болот (разливы нефти и хлоридных вод). Отбор проб производился так, чтобы охватить разные местообитания, растения – хозяева, сезон и разнообразие микро-условий. Всего отобрано 244 пробы с учетом нескольких десятков параметров

среды (табл. 1). Для секвенирования был выбран регион ITS2 ядерной рибосомальной ДНК с помощью праймеров fITS7(Ihrmark et al., 2012) и ITS4 (White et al., 1990) В результате секвенирования получено около 40 млн прочтений фрагментов тотальной ДНК грибов, от 1,5K до 250K ридов на один образец. Пайплайн обработки ридов представлен в работе Т. Ф. Ишманова и соавторов (2024).

Полученные последовательности обрабатывались с использованием QIIME2 (Quantitative Insights Into Microbial Ecology 2, версия 2023.9). Сырые чтения (архивы FastQ и таблица метаданных) были загружены в NCBI Sequence Reads (номер биопроекта PRJNA1007262)

Таблица 1. Схема отбора проб для метабаркодинга сообщества грибов верхового болота «Мухрино».

Тип Субстрата/ Параметр среды	Торф с поверхности	Глубинный торф	Опад растений	Древесный субстрат	Микоризные окончания	Торф с загрязненных участков
Пространственные реплики	3 образца на расстоянии 500 м	2 колонки в каждом местообитании (гряды, мочажина)	3 образца на рас- стоянии 500 м		10 образцов на расстоянии 10 м	5-15 образцов по трансектам
Географические реплики	1 локалитет	1 лок.	1 лок.	1 лок.	2 лок.	3 лок.
Глубина торфа	5 глубин	20 глубин от -50 до -300 см				
Местообитания	2 местообита- ния (топь, рям)	2 местооб. (топь, рям)				2 местооб. (верховое, мезотрофное)
Растение – хозяин	6 видов сфагно- вых мхов		6 видов болотных растений	3 вида древе- сины	2 вида деревьев (сосна, кедр)	
Сезон	4 даты экстрак- ции	1 дата экстр.	3 даты экстр.	10 дат экстр.	2 даты экстр.	
Тип загрязнения						нефть, хлоридная вода
Всего проб	46	36	28	60	40	34

и представлены в виде обработанной матрицы OTU на портале GBIF (Filipova et al., 2024).

Полученные данные легли в основу анализа состава и структуры сообщества с помощью общепринятых статистических методов оценки биоразнообразия, ординации и построения дендрограмм. Анализ сообществ выполнен в среде Google Colab с использованием пакетов для обработки данных (pandas, numpy, scipy), визуализации (matplotlib, seaborn), биоинформатики (scikit-bio) и мониторинга прогресса (tqdm), а также других вспомогательных библиотек.

Микробное (грибное) сообщество верхового болота «Мухрино» (по всем пробам в сумме) характеризуются средним таксономическим богатством (медиана 55 OTU/пробу) и сбалансированной структурой (Shannon 3.8, Simpson 0.9). Широкий разброс в богатстве (55±45 OTU/пробу) отражает гетерогенность проб. Кумулятивные индексы, полученные для всех проб в сумме, показаны в первом столбце таблицы 2. Индекс Шэннона показывает экстремально высокое разнообразие; эффективность выборки равна 88% (3049/2695), что говорит о хорошем покрытии.

Видовое богатство (кол-во OTU) отличается по субстратам: наибольшее значение в торфе на месте нарушений, сообществе на опаде растений и в верхних слоях оочеса/торфа. Самое низкое разнообразие в микоризных корнях. Парные сравнения показали достоверные различия между 11ю парами (и четыре недостоверны). Близкие значения (недостоверные различия) видового богатства наблюдаются между четырьмя парами: опад и нарушенный торф, опад и

верхний торф, деревянный субстрат и глубокий торф, микориза и глубокий торф.

Также по субстратам проанализировали значения разнообразия (индекс Шэннона) сообщества. Ранжирование разных субстратов показано на графике (рис. 1). Все субстраты демонстрируют высокое микробное разнообразие (значения >3.0), что характерно для природных экосистем. Особенно высокое разнообразие отмечено в нарушенном торфе (медиана 4.6). Широкий разброс значений возможно объясняется неустойчивой средой в зоне нарушения. Высокое разнообразие на опаде растений (медиана 4.5) сопровождается также большой вариабельностью (std 1.03), связанной возможно с неоднородностью растительного опада. Сообщества верхнего слоя торфа и древесины показали стабильно высокое разнообразие с меньшим разбросом. Торф из глубоких слоев (-50 до -300 см) показывает наименьший разброс, однородность среды. Сообщество микоризы (медиана 3.43) демонстрирует минимальное среди групп разнообразие, что отражает селективную среду для микоризных грибов. Тест Крускал-Уоллеса показал общую значимость различий разнообразия Шэннона между субстратами. Парные сравнения с поправкой Бенджамини-Хохберга показали значимость различий между 12ю парами из 15ти.

Степень выявления видового богатства в кумулятивном сообществе и по отдельным субстратам оценили с помощью индекса Chao1 и экстраполяции (рис. 2). Наибольшую степень выявления показало сообщество глубокого торфа, нарушенного торфа и древесины (88-99%), наименьшее выявление в сообществе растительного опада (65%).

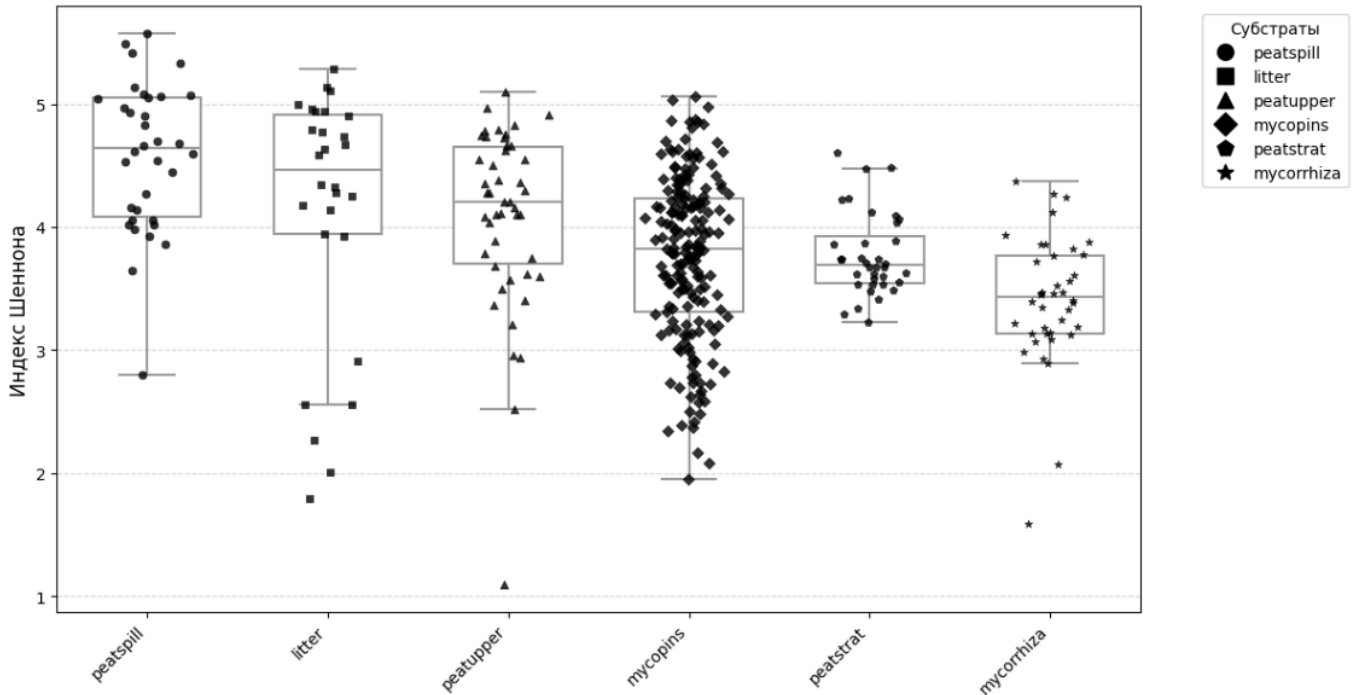


Рисунок 1. Статистики индекса Шеннона для сообществ грибов по субстратам: litter – опад растений, мусорpins – древесина, mycorrhiza – микоризные окончания, peatspill – загрязненный торф, peatstrat – глубинный торф, peatupper – верхний торф.

Таблица 2. Общие значения разнообразия для всей выборки проб и по пробам.

Индексы разнообразия	Кумулятивные индексы по всей выборке	Статистики индексов по пробам				
		Медиана	Среднее	Std	Минимум	Максимум
Observed OTUs	2695	55.0	67.2	45.6	3.0	285.0
Shannon	6.9	3.8	3.8	0.7	1.1	5.5
Simpson	1	0.9	0.9	0.0	0.6	1.0
Chao1	3049	68.0	91.2	74.1	3.0	474.5

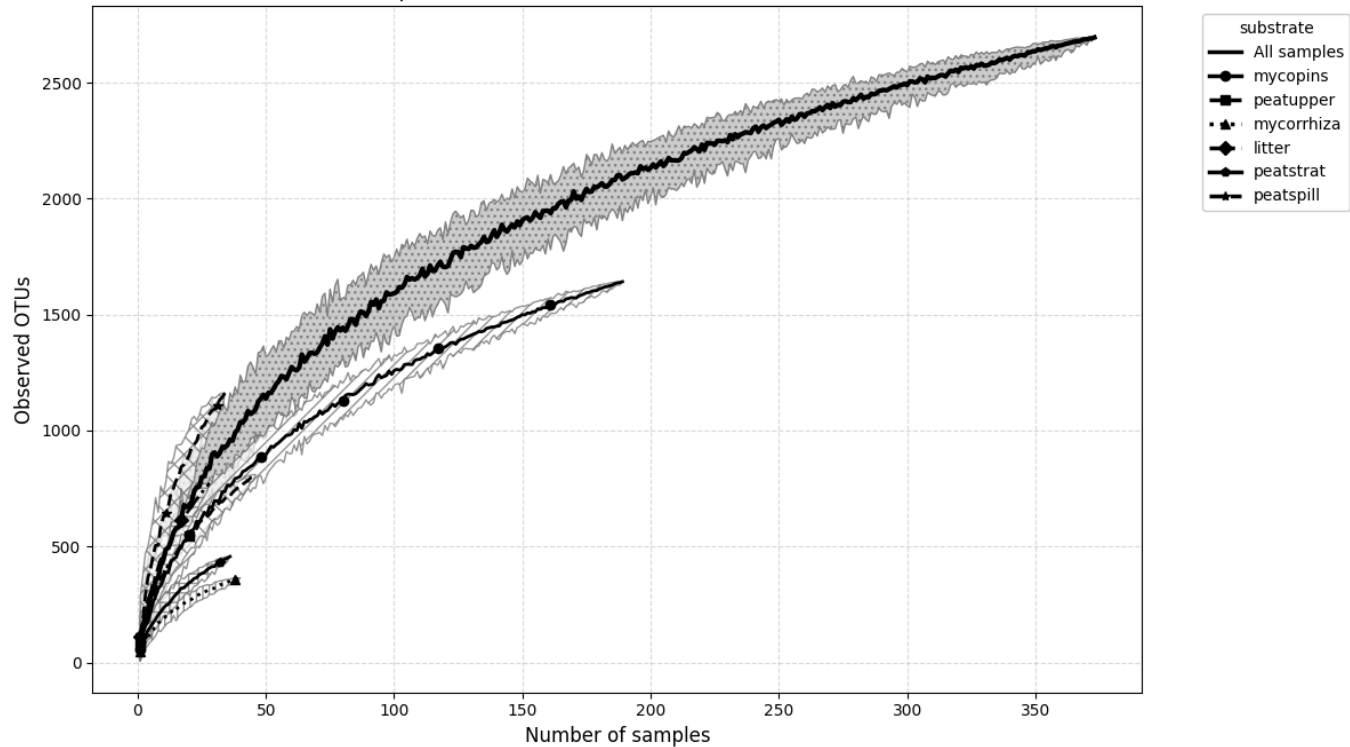


Рисунок 2. Кривые видового богатства, построенные для общего числа проб и по разным субстратам (обозначения легенды как в рис. 1).

Анализ сообществ методом ординации (PCoA) по субстратам показал значимые различия между всеми сообществами (рис. 3). Парные сравнения между субстратами и пермутационный вариационный анализ выявили статистически значимые различия ($p < 0.001$) между всеми парами субстратов. Высокое значение критерия Фишера свидетельствует о том, что тип субстрата является ключевым фактором, формирующим структуру сообщества. Наибольшие различия ($F > 20$) наблюдались между микорризой и другими субстратами, что отражает специализирован-

ный характер этих сообществ. Низкие значения между сообществом растительного опада и верхней торфяной залежи могут указывать на переходные зоны и схожие условия органики.

Для детальной визуализации сходства между пробами и по типам субстратов была построена общая дендрограмма на основе расстояний Брея-Кертиса. В ней выделяется 3 кластера первого уровня (все смешанные по субстратам), и шесть кластеров второго уровня (пять из них почти чисто представлены уникальным

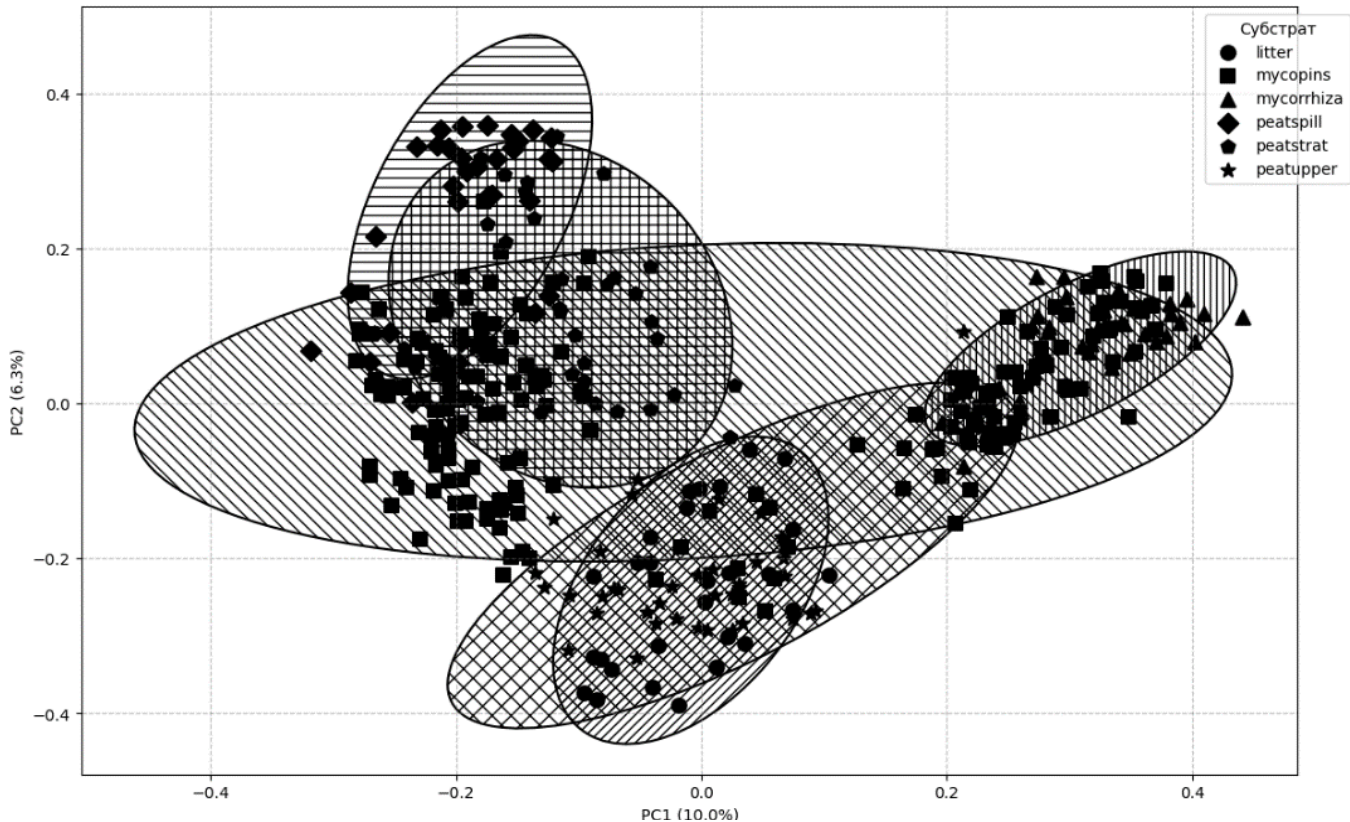


Рисунок 3. Ординация всего сообщества грибов (PCoA) по субстратам (обозначения легенды как в рис. 1).

субстратом, а шестой – смесью сообщества опада растений и верхних слоев торфа).

Для анализа сообщества грибов древесины использовали два параметра: время разложения (всего 14 точек отбора проб) и 3 типа древесины. Пермутационный вариационный анализ показал влияние фактора времени разложения и отсутствие влияния фактора типа древесины.

Анализ сообщества микоризных окончаний показал статистическую значимость фактора вида растений (болотная сосна, кедр). Вторым значимым параметром оказался фактор локалитета (для сосны), где играют роль не учтенные параметры локалитетов. Фактора сезона (отбор корней в июне и сентябре) оказался не значимым при текущем времени отбора проб.

Сообщество верхнего слоя торфяной залежи зависит от типа болота (открытая топь или залесенное болото – рям) и не зависит от глубины отбора проб (0, 5, 15, 30 см). Вероятно, в целом аэрируемый верхний слой торфяной залежи достаточно однородный до текущей глубины. Сезон отбора проб также показал значимое влияние.

Сообщество торфяной залежи с глубины 50 см до 3 м показало полную однородность и по глубине, и по типу местообитания (для топи и рям) (нет значимых различий ни по одному параметру).

В результате анализа сообщества грибов на опаде шести растений (отобранный в разные месяцы) значимым оказался как фактор растения – хозяина, так фактор сезона. При этом, попарные различия между растениями показали значимые различия для девяти пар растений из пятнадцати (табл. 3); близкими по сообществу грибов оказались вересковые кустарнички между собой, а также андромеда и пушица, андромеда и морошка.

Таблица 3. Парное сравнение сообществ грибов на опаде шести видов болотных растений.

Группа 1	Группа 2	F_value	p_value	N образцов
<i>A. polifolia</i>	<i>C. calyculata</i>	1.0	0.32	9
<i>A. polifolia</i>	<i>E. vaginatum</i>	1.7	0.10	9
<i>A. polifolia</i>	<i>L. palustre</i>	1.1	0.35	10
<i>A. polifolia</i>	<i>R. chamaemorus</i>	1.3	0.21	10
<i>A. polifolia</i>	<i>S. palustris</i>	2.1	0.01*	10
<i>C. calyculata</i>	<i>E. vaginatum</i>	2.3	0.03*	8
<i>C. calyculata</i>	<i>L. palustre</i>	0.8	0.45	9
<i>C. calyculata</i>	<i>R. chamaemorus</i>	1.0	0.46	9
<i>C. calyculata</i>	<i>S. palustris</i>	3.6	0.00*	9
<i>E. vaginatum</i>	<i>L. palustre</i>	2.4	0.01*	9
<i>E. vaginatum</i>	<i>R. chamaemorus</i>	2.5	0.02*	9
<i>E. vaginatum</i>	<i>S. palustris</i>	3.9	0.01*	9
<i>L. palustre</i>	<i>R. chamaemorus</i>	1.4	0.21*	10
<i>L. palustre</i>	<i>S. palustris</i>	3.4	0.01*	10
<i>R. chamaemorus</i>	<i>S. palustris</i>	3.7	0.01*	10

Таким образом, впервые на примере одного болотного массива проведен анализ состава и структуры сообщества с учетом параметров среды (субстрата, местообитания, сезона, нарушений, и других специфичных характеристик каждого субстрата) на основе данных метабаркодинга региона ITS2. Анализ будет перепроверен и уточнен после курируемой классификации OTU (ручная перепроверка

классификации по разным базам данных). Результаты будут подробнее представлены в будущей публикации.

Список литературы

1. Filippova N, Zvyagina E, Rudykina EA, et al. DNA-based occurrence dataset on peatland fungal communities studied by metabarcoding in north-western Siberia. Biodiversity Data Journal 2024? 12: e119851. <https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e119851>

2. Ihrmark K, B deker IT, Cruz-Martinez K, et al. New primers to amplify the fungal ITS2 region--evaluation by 454-sequencing of artificial and natural communities. FEMS Microbiol Ecol. 2012; 82(3):666-77. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01437.x>

3. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR Protocols: a Guide to Methods and Applications. Academic Press. New York. 1990. P. 315–322.

4. Ишманов ТФ, Звягина ЕА, Рудыкина ЕА, и др. Пайплайн для обработки данных метабаркодинга грибов природных сообществ . Биоинформатика регуляции и структуры геномов / системная биология: Четырнадцатая международная мультikonференция: тез. докл. (Россия, Новосибирск, 5–10 авг. 2024 г.). С. 1395-1399. <https://doi.org/10.18699/bgrs2024-8.2-03>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КСИЛОМИКОБИОТЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ АЗЕРБАЙДЖАНА

Гасанова В.Я.¹, Алибейли Н.С.², Гасанова А.Р.³¹ Институт Микробиологии МНО Азербайджанской Республики, Баку² Азербайджанский Государственный Педагогический Университет, Баку³ Сумгаитский Государственный Университет

Разнообразие всех живых организмов и экосистем на нашей планете тесно связано с лесами. Таким образом, леса, которые являются основной средой обитания примерно $\frac{3}{4}$ всех видов животных, растений, бактерий, грибов и других живых организмов на Земле, представляют собой функциональную экосистему[1]. Хотя в формировании лесных экосистем участвуют представители всех таксономических и экологических групп живых существ, роль растений, особенно деревьев, заслуживает большего внимания. В лесных экосистемах деревья поглощают CO_2 , выделяемый в окружающую среду в результате дыхательных процессов животных и человека, а также деятельности промышленных предприятий, обогащая атмосферу кислородом, необходимым для жизни. Кроме того, многие деревья дополнительно улучшают окружающую среду, выделяя в атмосферу фитонциды, которые подавляют развитие патогенных организмов[2].

К организмам, наносящим вред основным биоконпонентам лесов, относятся в основном бактерии, вирусы, насекомые и грибы. Среди упомянутых организмов грибы особенно выделяются как по количеству вызываемых ими патологий, так и по масштабам наносимого ими ущерба. Итак, 70–80 % заболеваний, наблюдаемых у растений, вызываются именно патогенными грибами, воздействие которых приводит как к ослаблению роста растений, так и к значительному снижению урожайности[3]. В то же время фитотоксины, синтезируемые фитопатогенными грибами, вызывают у растений увядание, пятнистость, задержку роста и т. д. Они играют ключевую роль в развитии таких заболеваний. Кроме того, в последнее время в результате воздействия других абиотических и биотических факторов на леса, являющиеся одним из основных компонентов биосферы, плотность деревьев в них постепенно снижается, что приводит к сокращению их площади[4]. Именно с этих позиций цель представленной работы посвящена изучению сравнительного анализа ксиломикобиоты лесных экосистем Азербайджанской Республики.

В качестве территории исследования были взяты леса, расположенные в Азербайджанской части Большого Кавказа и Талышских горах. В ходе исследования использовались методы спланированного маршрута и постоянного наблюдения. Образцы были взяты в основном в мае-июне и сентябре-октябре года. Иногда, когда на одном дереве наблюдались плодовые тела и симптомы болезней, принадлежащие нескольким грибам, регистрировались все виды, присутствующие на каждом растении. Идентификацию полученных плодовых тел и получение из них чистых культур проводили по общеизвестным методам[5]. Однако идентификацию микромицетов проводили на основании признаков, определяемых по их макро- и микроструктурным элементам, наблюдаемым в чистой культуре, физиологическим показателям и симптомам вызываемых ими заболеваний. При выделении образцов в чистую культуру для макромицетов использовали среду Сусло-агар (2-3°Б), а для микромицетов – среду Сабуро, агаризованную Чапека, Картофельный агар и Сусло-агар (2-4°Б). Идентификацию собранных образцов проводили

с использованием светового микроскопа и стандартных идентификаторов[6-7].

В ходе микологических исследований, проведенных в лесах Большого Кавказа, охватывающих северную и северо-восточную части Азербайджана, и в лесах Гирканского Национального Парка, расположенного в Талышских горах, охватывающего юго-восточную часть Азербайджана, первоначально было определено количество основных лесообразующих видов деревьев, участвующих в формировании леса, на единицу площади отдельных лесных массивов, то есть при определении плотности было установлено, что в среднем из 100 деревьев доля *Quercus castaneifolia*, *Carpinus betulus* L. и *Fagus orientalis* составляет в ГНП-е 78,7%, а в Большом Кавказе – 80,1%. Конкретнее, показатель по обоим лесным экосистемам составляет 79,4%, а оставшиеся 20,6% приходятся на *Parrotia persica*, *Tilia cordata*, *Populus alba*, *Fraxinus excelsior* L. и другие виды деревьев. В лесах, расположенных на территории ГНП, в большем количестве представлены *Parrotia persica* и *Quercus castaneifolia*, а в БК – *Carpinus betulus* L. и в ходе исследований установлено, что это обусловлено различными природно-климатическими условиями территорий и антропогенной нагрузкой на леса. В результате в качестве объектов исследования были приняты основные лесообразующих видов деревьев: *Carpinus betulus* L., *Fagus orientalis*, *Quercus castaneifolia*, *Tilia cordata*, *Parrotia persica*, *Populus alba*, *Fraxinus excelsior* L., с которых на следующих этапах исследований были отобраны образцы.

На следующем этапе исследования нами установлено, что в формировании микобиоты основных лесообразующих видов деревьев, зарегистрированных на начальном этапе, принимают участие 86 видов грибов, все из которых относятся к настоящим грибам. 96,5% зарегистрированных видов грибов относятся к отделу *Ascomycota* и *Basidiomycota*, а оставшиеся 3,5% — к отделу *Mucormycota*. Как видно из таблицы 1, среди зарегистрированных грибов доминирует отдел *Basidiomycota* и это связано с их способностью распространяться в древесных растениях.

В ходе исследования также было установлено, что зарегистрированные грибы также характеризуются различным количеством видов в формировании микобиоты изученных древесных растений. Наибольшее число видов среди них принадлежит видам рода *Phellinus*. Тот факт, что в исследованных лесах отмеченные грибы представлены разным числом видов, обусловлен тем, что они характеризуются разнообразием выполняемых ими экологических функций, а также эколого-трофических связей, типы гнили вызываемого ими в естественных условиях, строением гифальных систем и другими подобными аспектами.

На следующем этапе исследования были изучены количественные характеристики видов грибов, присутствующих в микобиоте исследуемых деревьев, и установлено, что *Populus alba* имеет более богатую микобиоту, а у *Parrotia persica* и *Fraxinus excelsior* L. имеют более слабую микобиоту. Только в формировании микобиоты *Populus alba* участвует 21 вид грибов вызывающих в природных условиях белую или бурую гнили. Основной

причиной этого является именно нарушение его биологической устойчивости в последнее время.

Таблица 1. Общая характеристика видов грибов, зарегистрированных на деревьях, участвующих в лесообразовании в БК и ГНП Азербайджана.

№	Отделы	Виды грибов	Доля в общей микобиоте (%)
1	Mucormycota	<i>Mucor</i> (2), <i>Rhizopus</i> (1)	3,5
2	Ascomycota	<i>Alternaria</i> (1), <i>Ascochyta</i> (2), <i>Cercospora</i> (2), <i>Clithris</i> (1), <i>Conostroma</i> (1), <i>Cylindrocarpon</i> (1), <i>Cytospora</i> (1), <i>Erysiphe</i> (2), <i>Gloeosporium</i> (4), <i>Hysterographium</i> (1), <i>Marssonina</i> (1), <i>Microsphaera</i> (1), <i>Mycosphaerella</i> (1), <i>Naemospora</i> (1), <i>Nectria</i> (1), <i>Penicillium</i> (4), <i>Phyllactinia</i> (1), <i>Septoria</i> (2), <i>Stigmina</i> (1), <i>Taphrina</i> (1), <i>Verticillium</i> (1), <i>Uncinula</i> (1)	37,2
3	Basidiomycota	<i>Abortiporus</i> (1), <i>Armillaria</i> (1), <i>Bjerkandera</i> (2), <i>Cerrena</i> (1), <i>Climacodon</i> (1), <i>Daedalea</i> (1), <i>Daedaleopsis</i> (1), <i>Fomes</i> (1), <i>Fomitopsis</i> (4), <i>Fuscoporia</i> (1), <i>Ganoderma</i> (3), <i>Inonotus</i> (4), <i>Laetiporus</i> (1), <i>Lentinus</i> (1), <i>Lenzites</i> (1), <i>Melampsora</i> (2), <i>Panus</i> (1), <i>Phaeolus</i> (1), <i>Phellinus</i> (6), <i>Pholiota</i> (1), <i>Pleurotus</i> (1), <i>Polyporus</i> (2), <i>Porodaedalea</i> (1), <i>Pycnoporus</i> (1), <i>Schizophyllum</i> (1), <i>Spongipellis</i> (1), <i>Stereum</i> (2), <i>Trametes</i> (4), <i>Trametopsis</i> (1), <i>Trichaptum</i> (1), <i>Vuilleminia</i> (1)	59,3

Как видно из таблицы 2, число видов грибов, участвующих в формировании микобиоты деревьев, распространенных на территории ГНП больше.

В ходе исследования также было установлено, что 75 видов зарегистрированных грибов причастны к возникновению различных патологий. Из полученных грибов 6 видов способны вызывать мучнистую росу, 2 вида ржавчины, 24 вида пятнистостей и 43 вида различных цветных гнилей. При проведении оценки по указанным болезням было выявлено, что 55,6% болезней приходится на пятнистости, оставшиеся 2,1% – на мучнистую

росу, 0,8% – на ржавчину и 41,5% – на гниlostные заболевания. Из этого следует, что пятнистость распространена более широко.

Таблица 2. Количество видов грибов участвующих в формировании микобиоты исследованных деревьев.

№	Виды деревьев	Количество видов грибов (число)	
		БК	ГНП
1	<i>Carpinus betulus</i> L.	33	37
2	<i>Populus alba</i>	42	45
3	<i>Fagus orientalis</i>	30	32
4	<i>Quercus castaneifolia</i>	29	31
5	<i>Tilia cordata</i>	26	25
6	<i>Parrotia persica</i>	-	16
7	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	14	15
Итого		64	70

Таким образом, в результате исследований, проведенных в лесных экосистемах, расположенных в БК и ГНП Азербайджана, установлено, что хотя по ряду показателей леса существенно не отличаются друг от друга, различия в экологических условиях и антропогенной нагрузке приводят к наблюдению некоторых специфических особенностей и эти различия проявляются как в плотности деревьев, участвующих в формировании лесов, так и в числе видов грибов, участвующих в формировании их микобиоты, и в распространенности патологий.

Список литературы

1. Чураков Б.П., Чураков Д.Б. Лесоведение: учебник. Ульяновск: УлГУ, 2018, 259 с.
2. Липка О. Н. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата. Лесоведение, 2021, № 5. -с. 531–546
3. Li J. et al. Phylogenomic evolutionary surveys of subtilase superfamily genes in fungi. Sci. Rep., -2017, 7:45456. DOI: 10.1038/srep45456
4. Proctor R.H. et al. Evolution of structural diversity of trichothecenes, a family of toxins produced by plant pathogenic and entomopathogenic fungi. PLoS Pathog., -2018, 14:e1006946. DOI: 10.1371/journal.ppat.1006946
5. Методы экспериментальной микологии. Под. ред. Билал В.И. К.: НД, 1982, 500с.
6. Бондарцева М. А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. СПб: Наука, 1998, 2, 391
7. Phillips D.K., Burdekin D.A. Diseases of forest and ornamental trees. UK: Palgrave Macmillian, 1982, 463 p.

LECCINELLUM CROCIPODIUM В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

Ивойлов А.В.
НИМГУ им. Н.П. Огарева, Саранск

В процессе мониторинга за краснокнижными грибами Мордовии летом 2009 г. был найден макромицет *Leccinellum crocipodium* (Letell.) Della Magg. & Trassin., 2014 – обабок шафраноножковый, относящийся к отделу Basidiomycota R.T. Moore, 1980, подотделу Agaricomycotina, Doweld, 2001, классу Agaricomycetes, Doweld, 2001, подклассу Agaricomycetidae (Locg., 1984) Parmasto, 1986, порядку Boletales E.-J. Gilbert, 1931, семейству Boletaceae Chevall., 1826, роду *Leccinellum* Bresinsky & Manfr. Binder [1]. Это была первая находка вида в Республике Мордовия [2]. В последующие годы он не встречался. Летом 2023 г. был отмечен новый локалитет гриба. Этот макромицет представляет несомненный интерес для микологов как адвентивный вид в связи с

потеплением климата и расширением ареалов грибов, ранее произрастающих лишь в южных регионах России, что и послужило основанием для данного сообщения.

Род *Leccinellum* до 2003 г. входил в обширный род *Leccinum* Gray, который включал около 75 видов [3], а в России – свыше 10 видов. Использование молекулярных методов для установления филогенетической связи между различными таксонами привело к номенклатурным изменениям и выделению из рода *Leccinum* нового рода *Leccinellum*. В настоящее время в этот род кроме *Leccinellum crocipodium* (из 24 видов нового рода, в основном растущих в Китае, Индии, Северной Америке) включены также встречающиеся в России *L. pseudoscabrum*, *L. griseum*, *L. lipidum*

Leccinellum crocipodium [Syn.: *Leccinum crocipodium* (Letell.) Watling, 1959–60; *Leccinum nigrescens* Singer, 1947] – обабок (лекцинеллум, подосиновик либо подберезовик) шафраноножковый, или обабок чернеющий – микоризный симбионт дуба (*Quercus* sp.) и бука (*Fagus* sp.). Он встречается в горных лесах четырех регионов Кавказа, в Крыму, в Пензенской, Ульяновской и Саратовской областях [4, 5, 6]. Всюду редок. Этот гриб произрастает на Украине, в Болгарии, Польше, Княжестве Лихтенштейн, Франции, Словении, Чехии, Германии (Рейланд-Пфальц) и даже на юге Норвегии. В большинстве этих стран он отмечен под статусом VU (уязвимый вид) либо под угрозой исчезновения.

В Республике Мордовия гриб был обнаружен в 2009 г. в 1,5 км восточнее пгт. Ялга Октябрьского района г.о. Саранск в дубовой приовражной лесополосе (на ее краю, обращенном к югу). Был найден один гриб с диаметром шляпки 90 мм, высотой ножки 65 мм и 35 мм (рисунок 1, а). Определен был как подосиновик чернеющий (*Leccinum nigrescens*) благодаря окрашиванию мякоти сначала в розово-коричневый, потом в черный цвет.



а) 21.07.2009 г., N 54,115266
E 45,163088

б) 09.08.2003 г., N 54,139044
E 45,108358

Рисунок 1. *Leccinellum crocipodium* (Letell.) Della Magg. & Trassin. (фото автора).

Несмотря на мониторинг, в течение последующих лет новых находок плодовых тел макромицета в этом локалитете не было зафиксировано.

В 2023 г. было отмечено новое местонахождение обабка шафраноножкового (рисунок 1, б). Было найдено одно плодовое тело западнее пгт. Ялга Октябрьского района г.о. Саранск (кв. 263 Саранского лесничества) в широколиственном лесу с *Quercus robur* L., *Tillia cordata* Mill., *Acer platanoides* L. и с подлеском из *Euonymus verrucosa* Scop. Гриб рос на земле, среди лесной подстилки, рядом с дубом. Найденное плодовое тело имело шляпку диаметром 55 мм, ножку высотой 77 мм с диаметром в толстой его части 24 мм. Спустя 15 дней, 24.08.2023 г., на том же локалитете был зафиксирован еще один экземпляр обабка шафраноножкового (шляпка 65 мм в диаметре, ножка высотой 76 мм и 15 мм диаметром). В 2024 г. плодовые тела обабка шафраноножкового не наблюдались.

Таким образом, к настоящему времени в Республике Мордовия известны всего два локалитета *L. crocipodium*. Необходим поиск новых местообитаний этого макромицета и мониторинг известных местонахождений.

Гриб является кандидатом для включения в 3-е издание Красной книги Республики Мордовия как вид с неопределенным статусом.

Список литературы

1. База данных названий микологических таксонов Index Fungorum: [сайт]. URL: <http://www.indexfungorum.org/Name/Names.asp> (дата обращения 30.03.2024).
2. Ивойлов А.В., Большаков С.Ю. Макромицеты Республики Мордовия. 2. Агарикоидные грибы. Порядки Boletales, Polyporales, Russulales // Вестник Мордовского университета. 2011. № 4. С. 162–166.
3. Kirk P.M., Cannon P.E., Minter D.W., Stalpers J.A. (2008) Dictionary of the Fungi (10th ed.). Wallingford: CAB International.
4. Иванов А.И. Агарикомицеты Приволжской возвышенности. Порядок Boletales. Пенза : РИО ПГСХА, 2014. 178 с.
5. Bolshakov S., Kalina L., Palomozhnykh E. et al. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country-scale checklist of scientific names based on literature data. Biological communications. 2021. V. 66 (4). P. 316–325. <https://doi.org/10.21638/spbu.03.2021.404>.
6. Саркина И.С. Макромицеты буковых лесов Горного Крыма // Экосистемы. 2020. № 24(54). С. 5–26. <http://ekosystems.cfu.ru>.

ПЕРВАЯ НАХОДКА *DESARMILLARIA ECTYPA* (AGARICALES, BASIDIOMYCOTA) В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Капитонов В.И.

Тобольская комплексная научная станция УрО РАН

Род *Desarmillaria* (Herink) R.A. Koch & Aime, недавно выделенный из надвидового комплекса *Armillaria sensu lato* на основании молекулярно-филогенетических данных, в настоящее время включает в себя три вида агарикоидных грибов, из которых *Desarmillaria ectypa* (Fr.) R.A. Koch & Aime является редким в пределах видового ареала представителем евразийской болотной микобиоты (Koch et al., 2017; Koch, Herr, 2021). На территории России вид встречается в лесной зоне европейской части (Республика Карелия, Санкт-Петербург, Ленинградская, Московская, Тульская области, Республика Коми) и Западной Сибири (Томская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) (Bolshakov et al., 2021; Паламарчук, 2024; Finnish..., 2025). Обитает на минеротрофных болотах, где развивается на отмерших частях болотных мхов и трав. В связи с узкой экологической приуроченностью вида и высокой требовательностью к гидрохимическому режиму болот *D. ectypa* является уязвимым видом и нуждается в специальных мерах охраны (Svetasheva, 2015).

Занесен в новое издание Красной книги Российской Федерации как сокращающийся в численности и/или распространении вид (Красная книга..., 2024).

В Тюменской области произрастание *D. ectypa* впервые обнаружено в 2022 году. Этикеточные данные находки: Тюменская область, Уватский район, окрестности с. Горнослинкино (58.75358° с.ш., 68.78359° в.д.), травяно-зеленомошное минеротрофное болото, на моховом покрове *Hamatocaulis vernicosus*, 21.06.2022, собр. и опр. В.И. Капитонов. Образец хранится в гербарии ТХНС УрО РАН (ТОВ 1790432). Собранный образец идентифицирован путем изучения его макроскопических и микроскопических характеристик с помощью бинокля МСП-1 вар. 22 и светового микроскопа Axioplan 2 imaging, оснащенного универсальной цифровой камерой Axiocam 208 color, а также с использованием определительных ключей (Termorshuizen, 1995; Vesterholt, 2012). В указанном локалитете выявлена группа из трех плодовых тел. У самого крупного из них шляпка диаметром 3 см, жел-

товато-коричневая, в центре более темная от вросших чешуек, край слегка волнистый; ножка длиной 7 см и толщиной около 1 см, слабо волокнистая, без кольца; пластинки слабо нисходящие, светло кремовые с розоватым оттенком. По данным микроскопирования, гифы кожицы шляпки цилиндрические, шириной (3.7) 5.1 – 12.0 (13.4) мкм (n=30), некоторые с коричневой пигментацией, без пряжек; базидии 4-х споровые, размером (31.1) 37.1 – 48.0 (55.7) × (7.1) 8.0 – 9.4 (9.6) мкм (n=60), булавовидные, с утолщенной стенкой, некоторые с одной или двумя поперечными перегородками; споры размером (6.6) 6.7 – 8.0 (9.3) × (5.0) 5.1 – 6.2 (6.3) мкм, в среднем 7.3 × 5.6 мкм, коэф. Q = (1.15) 1.21 – 1.45 (1.60), в среднем 1,30 (n=40); пряжки отмечены на гифах пластинок.

В ландшафтном отношении местонахождение *D. ectypa* находится на участке низинного травяно-зелено-мошного минеротрофного болота, расположенного на второй надпойменной террасе р. Иртыш. В травяном ярусе сообщества доминируют *Menyanthes trifoliata* L. (обилие 70%) и *Thelypteris palustris* Schott (25%), а в моховом ярусе – *Hamatocaulis vernicosus* (Mitt.) Hedenaes (65%) и *Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T. Кор. (10%). Древесно-кустарниковый ярус представлен одиночными деревьями *Betula pubescens* Ehrh. (2%) и отдельными кустами *Betula nana* L. (2%).

Наряду с *Desarmillaria ectypa* на Горнослинкинском болоте выявлено обитание еще одного редкого болотного вида *Bovista paludosa* Lév., занесенного в Красную книгу Российской Федерации, а также целого ряда охраняемых на региональном и федеральном уровне видов сосудистых растений: *Corallorhiza trifida* Chatel., *Cypripedium guttatum* Sw., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Hammarbya paludosa* (L.) Kuntze, *Liparis loeselii* (L.) Rich., *Saxifraga hirculus* L. Данный болотный комплекс игра-

ет важную роль в сохранении редких и охраняемых видов растений и грибов, в связи с этим может быть рекомендован для включения в региональную сеть особо охраняемых природных территорий в качестве памятника природы.

Список литературы

1. Koch R.A., Wilson A.W., Séné O., Henkel T.W., Aime M.C. 2017. Resolved phylogeny and biogeography of the root pathogen Armillaria and its gasteroid relative, Guyanagaster. BMC Evolutionary Biology. 17 (33): 1–16. DOI: 10.1186/s12862-017-0877-3.

2. Koch R.A., Herr J.R. 2021. Global Distribution and Richness of Armillaria and Related Species Inferred From Public Databases and Amplicon Sequencing Datasets. Front. Microbiol. 12:733159. DOI: 10.3389/fmicb.2021.733159.

3. Bolshakov S., Kalinina L., Palomozhnykh E. et al. 2021. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country-scale checklist of scientific names based on literature data. Biological Communications. 66(4): 316–325. DOI: 10.21638/spbu03.2021.404.

4. Паламарчук М.А. 2024. Новые сведения об агарикоидных грибах (Basidiomycota) национального парка «Койгородский» (Республика Коми, Россия). Новости систематики низших растений. 58(2): F15–F28. DOI: 10.31111/nsnr/2024.58.2.F15.

5. Finnish Biodiversity Information Facility. 2025. TUR Fungus collections of the Turku University. Occurrence dataset DOI: 10.15468/m8tggx accessed via GBIF.org on 2025-03-30. DOI: www.gbif.org/occurrence/3713379331

6. Svetasheva T. 2015. Armillaria ectypa. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T75097245A75098379. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T75097245A75098379.en. Accessed on 30 March 2025.

7. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.]; ответственный редактор: доктор биол. наук Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. Москва: ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.

8. Termorshuizen A.J. 1995. Genus Armillaria (Fr.: Fr.) Staude. In: Bas C., Kuyper T.W., Noordeloos M.E., Vellinga E.C. (Eds.). Flora Agaricina Neerlandica. Vol. 3. Rotterdam: Balkema. P. 34–39.

9. Vesterholt J. Armillaria (Fr.: Fr.) Staude. 2012. In: Knudsen H., Vesterholt J. (Eds). Funga Nordica. Copenhagen: Nordsvamp. P. 324–326.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ И ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС КСИЛОТРОФНЫХ ГРИБОВ
В ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ АБХАЗИИ

Хачева С.И.
Абхазский Государственный университет, Сухум
Институт экологии АН Абхазии, Сухум

Устойчивость растительного сообщества непосредственно связана со структурным строением не только биогеоценоза, но и микоценоза. Грибная биота – цено-тическая структура лесного сообщества, обладающая морфологическим, экологическим и функциональным строением наряду с фитоценозом и формирующаяся вместе с ним по определенным законам совместной динамики развития [1].

Широколиственные леса Абхазии произрастают от берега моря до высоты 600–650 м. и в типологическом отношении лесные биогеоценозы представляют исключительную сложность и пестроту [2]. Исследования проводились в течение вегетационных периодов с мая по октябрь 2014-2024 гг. в лесах Мюссерской возвышенности, состоящих из каштана (*Castanea sativa* Mill.), граба (*Carpinus caucasica* Grossh.), бука (*Fagus orientalis* Lipsky) и дуба (*Quercus iberica* Stev.) (кв. 1: 43°09'45.92" с. ш., 40°27'50.32" в. д.; кв. 2: 43°09'41.69" с. ш., 40°27'52.09" в. д.; кв. 3: 43°09'11.30" с. ш., 40°26'31.83" в. д.) и в нагорных дубравах (Лидзавская часть Пицунда-Мюссерского заповедника) с небольшой примесью граба (43°11'52.42" с. ш., 40°19'01.14" в. д.). Количественный учет грибов проводился по шкале обилия Гааса (1953).

В результате проведенных исследований выявлено 113 видов ксилотрофных грибов, приуроченных к основным лесообразующим породам. Ксилотрофные грибы в зависимости от типа субстрата (пень, валеж, живое дерево) относятся к разным экологическим группам. Большая часть выявленных видов утилизируют отмершую древесину и являются сапротрофами (108 видов / 95,6 %), на живых ослабленных деревьях отмечено 5 видов (4,4 %) (табл. 1).

Таблица 1. Патогены, отмеченные на живых деревьях.

Вид	Лиственная порода
<i>Pseudoinonotus dryadeus</i> (Pers.) T. Wagner et M. Fisch.	дуб
<i>Fomitiporia robusta</i> (P. Karst.) Fiasson et Niemelä	дуб
<i>Fistulina hepatica</i> (Schaeff.) With.	дуб
<i>Inocutis rheades</i> (Pers.) Fiasson et Niemelä	дуб
<i>Inonotus hispidus</i> (Bull.) P. Karst.	дуб

Все выявленные патогены проявляют узкую избирательность, встречаясь на живых усыхающих дубах с обилием 2 балла. Необходимо отметить, что исследо-

ванные лесные формации подвержены неконтролируемым рубкам, в результате которых освобождаются значительные пространства и наблюдается массовое развитие ксилотрофных грибов, местами периодически возникают локальные пожары, однако в дубравах происходит естественное возобновление дуба и формирование древостоев. На живом грабе выявлен только один вид: *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.

Часть видов является факультативными сапротрофами, так как начинают свое развитие в древесине живого дерева, после гибели которого отмечаются на валежных ветках, пнях и сухостое: *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With., *Ganoderma applanatum*, *G. lucidum* (Curtis) P. Karst., *G. resinaceum* Boud., *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Phellinus igniarius* (L.) Quél.

Ксилотрофные грибы дубово-грабовых лесов в большей массе представлены широко распространенными видами, не имеющими трофических предпочтений в выборе субстрата. Видами, встречающимися на разных стадиях разложения крупномерного и среднего валежа являются: *Trichaptum biforme* (Fr.) Ryvarden, *Stereum subtomentosum* Pouzar, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat., *Phlebia tremellosa* (Schrad.) Nakasone et Burds., *Steccherinum ochraceum* (Pers.) Gray, *Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schröt., *Chondrostereum purpureum* (Pers.) Pouzar, *Trametes versicolor* (L.) Lloyd и др. На мелких веточках отмечены: *Auricularia auricula-judae* (Bull.) Quél., *Xylodon flaviporus* (Berk. et M. A. Curtis ex Cooke) Riebesehl et Langer, *Tremella fuciformis* Berk., *T. mesenterica* (Schaeff.) Pers., *Antrodiella romellii* (Donk) Niemelä и др. Виды, отмеченные только на древесине *Carpinus caucasica* следующие: *Cubamyces lactineus* (Berk.) Lücking, *Crustomyces subabruptus* (Bourdot et Galzin) Jülich, *Cerioporus squamosus* (Huds.) Quél., *Daedaleopsis tricolor* (Bull.) Bondartsev et Singer, *Fomitiporia punctata* (P. Karst.) Murrill, *Fuscoporia contigua* (Pers.) G. Cunn. и др.

КСИЛОТРОФНЫЕ ГРИБЫ АБХАЗИИ КАК БИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕСУРС (ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ, ЛЕКАРСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ)

Хачева С.И.

Абхазский Государственный университет, Сухум
Институт экологии АН Абхазии, Сухум

Ксилотрофные грибы в лесных биогеоценозах рассматриваются с нескольких позиций: это и функциональный вклад в структуру сообщества, связанный с топическим и трофическим распределением, большая часть группы является сапротрофами и утилизирует отмершую растительную массу, многие виды являются паразитами, участвуют в поражении и отпаде из состава древостоя необходимого биогеоценозу количества деревьев и переводу их в структуру древесного отпада со скоростью, соизмеримой с темпами наращивания фитоценозом биомассы [1]. Как биологический ресурс грибы являются источниками пищевых продуктов для человека, продуцентами лекарственных препаратов и биологически активных веществ, используются в пищевой промышленности и т. д.

Целью настоящей работы являлось определение ресурсного потенциала видов ксилотрофных грибов Абхазии. Объектами исследований являлись грибы отдела *Basidiomycota*, классов *Agaricomycetes*, *Dacrymycetes*, *Tremellomycetes*. Изучение грибов проводилось в лесах

На валеже и сухостое *Quercus iberica* отмечены следующие виды: *Cellulariella warnieri* (Durieu et Mont.) Zmitr. et Malysheva, *Hapalopilus croceus* (Pers.) Donk, *Daedalea quercina* с обилием 5 баллов, *Hymenochaete rubiginosa* (Dicks.) Lév. с обилием 4-5 баллов, *Stereum gausapatum* (Fr.) Fr. с обилием 3 балла, *Fistulina hepatica* с обилием 3 балла. На сопутствующих породах (каштан и бук) развиваются широко распространенные виды, перечисленные ранее.

Таким образом, биота ксилотрофных грибов в функционировании широколиственных формаций выполняет главную биосферную функцию – утилизации отмершей биомассы через ее разложение с выделением продуктов ксилолиза древесины [3]. Но процесс деструкции осуществляется определенным видовым составом и с определенной скоростью, со сменой доминирующих и сопутствующих видов на разных стадиях деструкции, вплоть до гумификации, где иногда встречаются подстилочные сапротрофы: *Clavaria fumosa* Pers., *Clavulina cinerea* (Bull.) J. Schröt., *C. coralloides* (L.) J. Schröt. Роль патогенов не менее важна, в коренных лесах они выполняют функцию регулятора, ослабляя уязвимые деревья для дальнейшего выпада в валежную группировку, тем самым обеспечивается отбор наиболее выносливых экземпляров и формируется устойчивое во времени лесное сообщество.

Список литературы

1. Стороженко В. Г., Быков А. В., Бухарева О. А., Петров А. В. Устойчивость лесов. Теория и практика биогеоценотических исследований. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 171 с.
2. Бебия С. М. Леса Абхазии. Монография. – Сухум: АКАДЕМИЯ. 2022. 589 с.
3. Стороженко В. Г. Микоценоз и микоценология. Теория и эксперимент. – Тула: Гриф и К. 2012. 192 с.

Республики Абхазия маршрутным методом с 2014 по 2024 г. Особенностью растительного покрова является вертикальная поясность его распространения, которая характерна для территорий с горным рельефом в связи с изменением комплекса условий среды с высотой над уровнем моря [2].

В результате проведенных исследований выявлено 252 вида ксилотрофных грибов, которые относятся к 153 родам, 54 семействам, 16 порядкам. Названия видов приводятся в соответствии с номенклатурной базой данных *Index Fungorum* (дата обращения 05.04.25).

Вкусовые качества и питательная ценность грибов зависят в первую очередь от химического состава их плодовых тел. Сухое вещество плодовых тел грибов богато белками, составляющими в среднем 70% от всего количества азотистых соединений, оставшиеся 30% приходится на промежуточные продукты белкового обмена [3].

Грибы характеризуются наличием витаминов А, группы В, D, РР, С. Из минеральных веществ больше

всего в них калия, фосфора, меньше натрия, кальция, железа [4]. В настоящей работе видами, имеющими пищевую ценность в качестве источника белка грибного происхождения, углеводов, жиров, микроэлементов, являются: *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm., *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink (съедобные грибы хорошего качества), *Cantharellus cibarius* Fr. (съедобна, отличается высоким содержанием витаминов B₁ и PP), *Cerionporus squamosus* (Huds.) Qué. (условно съедобный гриб, употребляемый только в молодом возрасте), *Clavulina cinerea* (Bull.) J. Schröt., *Craterellus cornucopioides* (L.) Pers., *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer, *Auricularia auricula-judae* (Bull.) Qué., *Kuehneromyces mutabilis* (Schaeff.) Singer et A. H. Sm. (съедобные грибы), *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With. (съедобный в молодом возрасте гриб), *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray (съедобный, редкий вид, включен в Красную книгу во многих регионах России), *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. (съедобный, редкий вид, включен в Красную книгу), *Hydnum repandum* L. (съедобный в молодом возрасте гриб), *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill (съедобный гриб со специфическим вкусом), *Ramaria aurea* (Schaeff.) Qué. (съедобный гриб низкого качества, употребляется в пищу в свежем виде), *R. flava* (Schaeff.) Qué. (съедобный в молодом возрасте гриб), *R. subbotrytis* (Coker) Corner (съедобный гриб низкого качества, употребляется в пищу в свежем виде), *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr. (съедобный, редкий вид, включен в Красную книгу), *Tremella mesenterica* (Schaeff.) Pers. (съедобный гриб, содержит незаменимые аминокислоты и витамины группы B).

Базидиальные грибы обладают и лекарственными свойствами, содержат полисахариды, биологически активные низкомолекулярные соединения, на основе которых разрабатываются лекарственные препараты против целого ряда заболеваний: сердечнососудистых, онкологических, вирусных и т. д. [5; 6]. Среди базидиальных грибов Абхазии известны виды, уже с давних пор применяемые как в народной медицине, так и культивируемые в ряде стран биотехнологическими методами, для создания медицинских препаратов на основе биологически активных веществ грибов [7]. Базидиальные грибы Абхазии, имеющие лекарственное значение следующие: *Tremella fuciformis* Berk. – из культурального мицелия получают препарат тремелластин, обладающий противоопухолевой активностью, *Polyporus tuberaster* (Jacq. ex Pers.) Fr. – использовался при лихорадке, плодовое тело содержит эргостерол [6], *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. – содержит более 130 фармакологически активных тритерпеноидов, проявляющих цитотоксический эффект в отношении различных форм рака, препараты на его основе используются при неврастениях, гепатитах, коронарной сердечной недостаточности, гипертонии и др. заболеваниях; ганодеран А и Б – глюканы из плодового тела *G. lucidum* понижают уровень сахара в плазме [7], *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray – содержит полисахариды с противоопухолевым действием, используется при ожирении, гормональных нарушениях у женщин, как противовирусное в отношении ВИЧ и хронического гепатита В [6], также обладает антидиабетическим действием [7], *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat. – антибактериальное, противоопухолевое действие, используют для повышения общего тонуса организма [8], *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill – иммуномодулирующее действие, применялся для лечения опухолей молочной и предстательной желез [8]. Антибактериальное действие установлено для грибов рода *Trametes*, способных образовывать антибиотик кориолин [7]:

Trametes gibbosa (Pers.) Fr. – противовирусная, противоопухолевая, противовоспалительная активность [6], *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd – использовался при легочных заболеваниях, для снятия жара, ускорения регенерации мышечной ткани [8], *Trametes versicolor* (L.) Lloyd – продуцент биологически активных веществ и антибиотиков, из различных штаммов гриба в Японии получают препарат «Крестин», обладающий противоопухолевым действием [8], также был выделен препарат кореолин (β-глюкан, связанный с белком), показавший высокую активность при экспериментальном диабете [7], *Schizophyllum commune* Fr. – антибактериальное действие проявляется в ингибировании роста *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* [7]. Далее: *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. – используется при лихорадке, желтухе, дизентерии, как кровоостанавливающее средство, обладает противовоспалительным действием [8], *Gloeophyllum sepiarium* (Wulfen) P. Karst. – антимикробная активность, выявлены антибиотики, подавляющие рост грибов и микобактерий, *Coltricia perennis* (L.) Murrill, *Cerrena unicolor* (Bull.) Murrill – выявлены вещества, обладающие противоопухолевой активностью, *Cerionporus squamosus* (Huds.) Qué. – культивируется глубинным способом для получения мицелия, используются мази для лечения воспалительных процессов в суставах, при остеохондрозах, при варикозном расширении вен, *Ischnoderma benzoinum* (Wahlenb.) P. Karst. – противовирусная активность, *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. – применялся при хроническом нефрите, при раке желудка, пищевода, простаты, молочной железы, *Trametes pubescens* (Schumach.) Pilát – иммуномодулирующая, противоопухолевая активность. Препараты, полученные на основе гриба: трамелан – нетоксичен, сертифицирован как пищевая добавка, положительно влияет на липидный обмен, снижает высокое содержание холестерина и т.д. [8], ветеринарный препарат Леван-2, обладающий противовоспалительным, противотуберкулезным и антибактериальным действием [9].

Таким образом, ресурсный потенциал ксилотрофных грибов Абхазии определяется наличием видов, обладающими как пищевой ценностью, так и лекарственным значением. Перспективность исследований в этом направлении очевидна, т. к. расширение базы лекарственных препаратов из грибов напрямую связано с поиском и изучением новых видов в естественных экосистемах, и уже затем в камеральных условиях. Однако, в условиях республики пока нет возможности с помощью биотехнологических методов получать биологически активные вещества, которые можно использовать как иммуностимуляторы, регуляторы биоритмов сердечной деятельности, антиоксиданты и т. д.

Список литературы

1. Стороженко В. Г. Микоценоз и микоценология. Теория и эксперимент. – Тула: Гриф и К. 2012. 192 с.
2. Экба Я. А., Дбар Р. С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. – Сочи: «Папирус-М-Дизайн», 2007. 324 с.
3. Дудка И. А., Вассер С. П. Грибы. Справочник миколога и грибника [АН УССР, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного]. – К: НД, 1987. 534 с.
4. Переведенцева Л. Г. Микология: грибы и грибоподобные организмы: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. 272 с.
5. Белова Н. В., Шамолина И. И. Некоторые перспективные направления биотехнологии базидиомицетов. Микология и фитопатология. 2013. Т. 47, Вып. 2. С. 73-82.
6. Теплякова Т. В., Косогова Т. А. Высшие грибы Западной Сибири – перспективные объекты для биотехнологии лекарственных препаратов. – Новосибирск, 2014. 298 с.

7. Феофилова Е. П., Алехин А. И., Гончаров Н. Г., Мысякина И. С., Сергеева Я. Э. Фундаментальные основы микологии и создание лекарственных препаратов из мицелиальных грибов. М.: Национальная академия микологии, 2013, 152 с.

8. Переведенцева Л. Г. Лекарственные грибы Пермского края. – Пермь: ООО «Проектное бюро Рейкьявик», 2011. 146 с.

9. Чхенкели В. А., Горяева Н. А., Мартынова А. Ю., Чхенкели Л. Г., Алексеев М. И., Барыкина Т. И. Препараты на основе грибов из рода *Trametes* и их использование в ветеринарии. Иммунопатология, Аллергология, Инфектология. 2010. №1. С. 273-274.

РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ

Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Перминова Е.М.
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Микроскопические грибы отличаются широким спектром адаптивных возможностей и способны преодолевать различные стрессовые воздействия, благодаря уникальным биохимическим механизмам (Озерская и др., 2008; Кирцидели и др., 2010; Власов, 2011). Широкий спектр защитных реакций и повсеместное распространение грибов позволяют им быть прекрасной моделью для исследования закономерностей приспособления микроорганизмов к экстремальным факторам среды (резкие колебания и экстремальные значения температур, крайние значения рН, высушивание, переувлажнение, недостаток кислорода или питательных веществ, воздействие токсических веществ и др.) (Zhang et al., 2016). Экосистемы Арктики характеризуются суровыми природно-климатическими условиями и высокой чувствительностью и уязвимостью к глобальному изменению климата, а так же к антропогенному воздействию. Изменение микробных сообществ в полярных регионах является отражением происходящих климатических изменений и может служить одним из показателей состояния тундровых экосистем (Pastukhov et al., 2022). Кроме этого, структура микробных сообществ может быть показателем антропогенного влияния на природные экосистемы (Марфенина, 2005).

Исследования проводили в подзоне южной тундры (Воркутинский район Республики Коми), которая приурочена к юго-восточной части Большеземельской тундры. Период исследования составляет несколько лет (2004-2022 гг.). Объектами исследования послужили сообщества микромицетов тундровых почв ненарушенных, постагрогенных экосистем и почв, находящихся под воздействием угольных породных отвалов. Описание участков отбора проб приведены в таблице 1.

Из ненарушенных тундровых почв ерниково-ивняковой моховой тундры и пойменного ивняка выделено 49 видов микромицетов из 17 родов и стерильный мицелий. Подавляющее число видов относится к отделу *Ascomycota* – 39 видов из 13 родов. Доминирует по числу видов род *Penicillium* – 19 видов, род *Trichoderma* – 5 видов, род *Talaromyces* – 3 вида. Остальные роды (*Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Emericella*, *Humicola*, *Keithomyces*, *Paecilomyces*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*) представлены 1-2 видами. Отдел *Micoromycota* представлен 10 видами из родов *Mucor* (4 вида), *Mortierella* (2 вида), *Umbelopsis* (3 вида), *Podila* (1 вид). Ненарушенные тундровые почвы водораздельного и пойменного ландшафтов характеризуются обилием стерильного мицелия (светло- и темноокрашенного) в составе сообществ микромицетов.

Таблица 1. Характеристика участков отбора почвенных проб.

Участок	Положение в ландшафте (координаты)	Описание участка
Ерниково-ивняковой моховая тундра	Плоская вершина водораздельного холма (67°53' с.ш., 64°08' в.д.)	Напочвенный покров: мхи, лишайники, осоки. Почва – глеезем криометаморфический.
Ивняк пойменный разнотравно-злаковый	Пойма р. Воркута (67°53' с.ш., 64°03' в.д.).	Травостой разрежен с доминированием злаков. Почва – аллювиальная гумусовая глееватая.
Ивняково-ерниковая кустарничково-моховая тундра	Старая залежь на вершине водораздельного холма (67°53' с.ш., 64°08' в.д.)	Моховый покров сложен зелеными и политриховыми мхами. Почва – глеезем криометаморфический постагрогенный криогенно-ожеженный.
Разнотравно-злаковый луг	Молодая залежь на вершине водораздельного холма (67°53' с.ш., 64°11' в.д.)	В травостое доминируют мятлик луговой, щучка дернистая, лисохвост луговой. В напочвенном покрове широко распространены мхи. Почва – глеезем криометаморфический постагрогенный.
Лисохвостно-мятликовый луг	Залежь на надпойменной террасе (67°53' с.ш., 64°05' в.д.),	В напочвенном покрове высока доля зеленых мхов. Кустарники (ива филиколистная) – единично. Почва – глеезем криотурбированный постагрогенный.
Пойменный разнотравно-злаковый луг	Залежь в пойме реки Воркута (67°53' с.ш., 64°03' в.д.)	В травостое доминируют злаки: кострец безостый, щучка дернистая, лисохвост луговой. Почва – аллювиальная гумусовая глееватая постагрогенная.
Породный отвал	Шахта «Воркутинская».	Действующий отвал. Растительности нет. Шахтные породы имеют углисто-аргиллитовый состав
Ерниково-ивняковая разнотравно-моховая тундра	Импактная зона. 50 м от подножия отвала	Напочвенный покров представлен травянистыми растениями и мхами, местами нарушен. Почва – глеезем криометаморфический с механическими нарушениями.
Ерниково-ивняковая пушицево-моховая тундра	Буферная зона. 700 м от подножия отвала	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют – вороника, голубика, княженика, пушица Шейхцера, овсяница овечья.

В постагрогенных тундровых почвах видовое разнообразие микромицетов выше, чем в почвах ненарушенных экосистем. Всего выделено 72 вида из 25

родов. Род *Penicillium* представлен 22 видами, на втором месте числу видов род *Mucor*, но этот род представлен только 6 видами. Род *Trichoderma* насчитывает 5 видов, род *Talaromyces* – 4 вида, род *Umbelopsis* – 4 вида, род *Aspergillus* – 3 вида, род *Cephalosporium* – 3 вида, род *Cladosporium* – 3 вида, род *Mortierella* – 3 вида. Остальные роды (*Aureobasidium*, *Botrytis*, *Emericella*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Keithomyces*, *Linnemannia*, *Niesslia*, *Neosartorya*, *Paecilomyces*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*, *Podila*, *Spicaria*, *Torula*, *Verticillium*) представлены 1-2 видами. Как и в ненарушенных почвах, комплексы микромицетов постагrogenных почв характеризовались высокой частотой встречаемости и обилием разных форм стерильного мицелия.

На участках, подвергающихся активному антропогенному воздействию, связанному с добычей угля происходят изменения в почвенно-растительном покрове, составе и структуре комплекса микромицетов. Из отвалной породы выделены и идентифицированы виды микромицетов из отделов *Ascomycota*, *Mucoromycota* и *Basidiomycota*. Активно выделялись и доминировали колонии стерильного мицелия. Из отдела *Mucoromycota* к доминантам по относительному обилию относятся *Mucor racemosus* и два вида рода *Mortierella* – *M. alpina* и *M. cephalosporina*. Из отдела *Ascomycota* высоким обилием характеризовались виды: *Cladosporium herbarum*, *Aureobasidium pullulans*, *Stemphylium vesicarium*. В почве импактной зоны отмечается «перерождение» типичного комплекса микромицетов, в результате высоким обилием характеризуются виды, редко встречающиеся или вовсе нетипичные для зональных почв: *Mucor piriformis*, *M. globosum*, *M. circinelloides*, *M. racemosus*, *Mortierella pusilla*, *M. cephalosporina*, *M. turficola*, *Keithomyces*

carneus, *Phialemonium inflatum*, *Penicillium purpurescens*. Отличительной чертой микоценоза почвы импактной зоны является обилие дрожжей. В почве буферной зоны среди доминирующих и частых видов представлены как типичные для тундры *Pseudogymnoascus pannorum*, *Penicillium lanosum*, *Cladosporium herbarum*, *Mortierella alpina*, так и виды, активно развивающиеся в импактной зоне.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: «Микробные сообщества экосистем Севера, их биотехнологический потенциал и технологии его реализации (125021201993-3)».

Список литературы

1. Власов Д. Ю. Микроскопические грибы в экстремальных местообитаниях: биологическое разнообразие и сущность взаимодействий. Биосфера. 2011. Т. 3. № 4. С. 479-492.
2. Озерская С. М., Кочкина Г. А., Иванушкина Н. Е., Князева Е. В., Гиличинский Д. А. Структура комплексов микромицетов в многолетнемерзлых грунтах и криопегах Арктики. Микробиология. 2008. Т. 77. С. 542-550.
3. Кирцидели И. Ю., Власов Д. Ю., Абакумов Е. В., Гиличинский Д. А. Разнообразие и ферментативная активность микромицетов из почв Антарктиды. Микология и фитопатология. 2010. Т. 44. № 5. С. 387-98.
4. Zhang T., Wang N. F., Liu H. Y., Zhang, Y. Q., Yu L. Y. Soil pH is a key determinant of soil fungal community composition in the Ny-Ålesund Region, Svalbard (High Arctic). Frontiers in Microbiology. 2016. Т. 7. С. 227.
5. Pastukhov A., Kovaleva V., Kaverin D. Microbial community structure in ancient European Arctic peatlands. Plants. 2022. V. 11 (20). P. 2704-2714
6. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М: Национальная академия микологии, 2005. 196 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОМИЦЕТОВ В ТАЛЫХ И МЕРЗЛЫХ СЛОЯХ БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Перминова Е.М.
Институт биологии КНЦ УрО РАН, Сыктывкар

Активное освоение Арктики требует пристального внимания к важнейшему и наименее изученному компоненту тундровых ландшафтов – бугристым торфяникам. Они являются уникальными местообитаниями, в которых сочетаются условия функционирования микробиоты в сезонно-талых слоях торфяных бугров и мочажин и в экстремальных условиях сохранения отрицательных температур в течение длительного периода времени (многолетнемерзлые слои торфа). Именно такие болотные экосистемы, развивающиеся в экстремальных условиях криолитозоны, имеют высокий потенциал видового разнообразия почвенных микроорганизмов (Национальный..., 2024; Nikitin et al., 2020), определяющих функционирование болот в глобальном масштабе (Добровольская с соавт., 2015).

За период с 2015 по 2024 гг. нами собран обширный материал, характеризующий численность и видовой состав культивируемых микромицетов, функционирующих в системе «сезонно-талый (СТС) – переходный слой мерзлоты (ПСМ) – многолетнемерзлый (ММП)» слои торфа в бугристых торфяниках Большеземельской тундры. Исследования выполнены на примере 8 ключевых участков, расположенных в различных климатических зонах/подзонах от побережья Баренцева моря до южной границы криолитозоны Европейского Северо-Востока России (ЕСВР) и горных ландшафтов

Приполярного Урала. С использованием классических методов микологии (Методы..., 1991) и методических подходов, позволяющих расширить учет видового разнообразия микроскопических грибов в мерзлых горизонтах (Кочкина с соавт., 2014), определена численность и идентифицированы виды микромицетов, давшие рост на различных средах (Чапек, Гетчинсон, Сабуро, сусло-агар) при разных температурах культивирования посевов (+4, +25 °C). Кроме того, рассчитаны численности спор грибов, длины мицелия и их биомассы методом люминесцентной микроскопии (Лысак с соавт., 2009).

В результате проведенных исследований установлены пределы варьирования длины мицелия и спор грибов в бугристых мерзлотных торфяниках криолитозоны ЕСВР. Показано, что длина мицелия грибов варьирует от нулевых значений до 5400 ± 1900 м/г а.с.п. Мицелий грибов в основном сосредоточен в СТС, однако в торфяниках лесотундры мицелий грибов был зафиксирован не только в СТС, но и в переходном слое мерзлоты (ПСМ до глубины 60-90 см), который периодически оттаивает при аномально теплых погодных условиях, порядка 60-160 м/г а.с.п. Расчет средневзвешенных значений длины мицелия (с учетом мощности СТС) показал отсутствие четко выраженных зональных закономерностей для этого параметра при общей тенденции уменьшения длины мицелия в

направлении от лесотундры к северной тундре. Однако в любой зоне/подзоне в зависимости от экологических условий и специфики формирования болотных комплексов длина мицелия может варьировать в значительных пределах. Это нашло свое отражение в варьирование биомассы мицелия, которая в СТС составляет 186-13200 мкг/г а.с.п, а в ПСМ торфяников – 340-57- мкг/г а.с.п.

Более стабильные показатели получены для спор грибов, численность которых в торфяной залежи болот варьирует от $16,06 \pm 0,22$ до 510 ± 40 млн кл./г а.с.п. Споры грибов сосредоточены в основном в мерзлой толще торфа, где их численность в 1,6-2,3 и 1,8-12,3 раза выше по сравнению с СТС и подстилающими минеральными глеевыми горизонтами соответственно. Однако биомасса спор грибов сравнительно равномерно распределена между слоями СТС-ММП торфяной залежи, особенно в лесотундре и южной тундре, в то время как в более северных регионах она как правило выше в ММП (в 1,2-2,1 раза).

Общий таксономический список культивируемых микромицетов, выделенных из СТС и ММП бугристых торфяников криолитозоны ЕСВР, в настоящее время включает 85 видов из 2 отделов, 17 родов и двух форм стерильного мицелия. К отделу *Mucoromycota* относятся 15 видов (или 18 % от общего числа изолятов), в т.ч. виды рода *Mucor* (4 вида), *Mortierella* (7), *Umbelopsis* (3), *Podila* (1). Отдел *Ascomycota* насчитывает 68 видов из 13 родов. По видовой насыщенности преобладает род *Penicillium* (37 видов или 44 % от общего числа изолятов). Микромицетный комплекс торфяной залежи мерзлых бугристых болот ЕСВР представлен редкими (51 %), случайными (32 %) и частыми (15 %) видами, на долю доминирующих видов приходится около 2 %. В торфяных мерзлотных почвах ЕСВР доминируют: *Penicillium canescens* (72 %), *Mycelia sterilla* светлоокрашенный (61 %), обильны: *Talaromyces funiculosus* (41 %), *Pseudogymnoascus pannorum* (36 %), *Mycelia sterilla* светлоокрашенный (29 %), *Umbelopsis vinacea* (25 %), *Mortierella alpina* (17 %), *Penicillium decumbens* (21 %), *P. spinulosum* (20 %), *P. canescens* (17 %). В СТС торфяников лесотундры обильны: *Penicillium thomii* (14 %), *Mycelia sterilla* c/o (13 %), *Penicillium spinulosum* (13 %), *Penicillium simplicissimum* (13 %); южной тундры – *Talaromyces funiculosus* (21 %), *Mycelia sterilla* светлоокрашенный (15 %), *Umbelopsis vinacea* (14%); северной тундры – *Penicillium decumbens* (23 %), *Penicillium canescens* (17 %), *Penicillium thomii* (13 %). В ММП торфяной залежи болотных комплексов лесотундры обильны: *Penicillium spinulosum* (17 %), *Talaromyces funiculosus* (34 %), *Umbelopsis vinacea*

(15 %); южной тундры – *Pseudogymnoascus pannorum* (30 %), *Mortierella alpina* (28 %); северной тундры – *Pseudogymnoascus pannorum* (80 %). Наибольшим видовым разнообразием грибов характеризуются торфяники лесотундры, из СТС и ММП которых в совокупности выделен 61 вид микромицетов (без учета стерильного мицелия).

С учетом встречаемости микромицетов в торфяных почвах бугристых болот выделены широко распространенные виды (встречаются в торфяных почвах во всех зонах и подзонах), а также приуроченные к торфяникам определенной биоклиматической зоны/подзоны. К широко распространенным видам относятся 18 видов, включая стерильный мицелий (*Penicillium canescens* Sopp, *P. citreonigrum* Dierckx, *P. granulatum* Bainier, *P. lanosum* Westling, *P. simplicissimum* Thom, *P. spinulosum* Thom, *P. thomii* K.M. Zaleski, *Penicillium* sp., *Pseudogymnoascus pannorum* (Link) Minnis & D.L. Lindne, *Umbelopsis vinacea* Arx, *Mortierella alpina* Peyron, *Mortierella* sp., *Mucor hiemalis* Wehmer, *Mucor* sp., *Mycelia sterilla* светлоокрашенный, *Mycelia sterilla* темноокрашенный, *Talaromyces funiculosus* (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad & Seifert, *T. rugulosus* (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad & Seifert).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Микробные сообщества экосистем Севера, их биотехнологический потенциал и технологии его реализации» (Рег. № 125021201993-3).

Список литературы

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: арктическая зона, мерзлотные почвы – будущему России (сельское и лесное хозяйство)» / под редакцией Р.С.Х. Эдельгериева и А.Л. Иванова. Том 4. М.: ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», 2024. 672 с.
2. Nikitin D.A., Lysak L.V., Mergelov N.S. et al. Microbial Biomass, Carbon Stocks and CO₂ Emission in Soils of the Franz Josef Land: High Arctic Tundra or Polar Deserts?. *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53(4). P. 467–484.
3. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю. с соавт. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв. *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1087–1096.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
5. Кочкина Г.А., Озерская С.М., Иванушкина Н.Е. с соавт. Разнообразие грибов деятельного слоя Антарктиды. *Микробиология*. 2014. Т. 83, № 2. Р. 236–244.
6. Лысак Л.В., Лапыгина Е.В., Конова И.А. с соавт. Определение физиологического состояния бактерий в почве с помощью люминесцентного красителя L 7012. *Изв. РАН. Сер. биол.* 2009. Т. 36, № 6. С. 750–754.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИКРОМИЦЕТОВ

Лиховидов В.Е., Асташкин Е.И.

ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии, Оболенск

В результате поиска, выделения, идентификации, культивирования и сохранения грибов в ГНЦПМБ создана коллекция микромицетов Восточной Палеарктики. Общий номенклатурный объем коллекции составляет 1576 штаммов, относящихся к 419 видам 132 родов. Все штаммы грибов паспортизованы. Коллекция микромицетов является составной частью общей государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур «ГКПМ-Оболенск» и служит основой для изучения антагонистических свойств грибов и их использования в биотехнологии [1].

В настоящее время для целей идентификации микромицетов все чаще используют молекулярно-генетические методы, основой которых является полимеразная цепная реакция (метод ПЦР). В качестве объекта исследования используют тотальную ДНК, выделенную из парных объектов, например, стромы и мицелия грибных культур.

Подготовительным этапом для молекулярно-генетического анализа является выделение тотальной ДНК, которая будет использоваться в качестве матрицы в реакциях ПЦР. Использование ДНК в составе грубых

лизатов для этих целей гораздо менее эффективно, особенно при работе с грибами. Прежде всего это объясняется тем, что трудно добиться хорошего лизиса грибной стромы, а наличие большого количества цитоплазматических белков может значительно ухудшить условия проведения полимеразной реакции, особенно при работе со случайными праймерами.

С помощью реакции ПЦР можно подтвердить грибную природу выделенных ДНК. Традиционным эволюционным маркером для грибов является рибосомальная ДНК. Для видовой идентификации используют районы спейсеров грибной рибосомальной ДНК, в частности ITS-область (internal transcribed spacer- внутренний транскрибируемый спейсер). ITS-праймеры к ДНК этого региона будут взаимодействовать только с грибными ДНК.

Следующим этапом анализа является установление идентичности парных грибных объектов с помощью метода RFLP (restriction fragment length polymorphism), изучающего полиморфизм по длинам рестрикционных фрагментов, полученных при гидролизе ампликонов сайт – специфическими эндонуклеазами (рестриктазами). Проведя рестрикцию ITS-ампликонов, можно установить идентичность двух объектов, составляющих пару. Парные объекты будут иметь одинаковые рестрикционные спектры, так как они имеют идентичные по структуре ДНК ITS-ампликоны.

Установить идентичность парных объектов можно также с помощью метода RAPD-PCR (random amplified DNA), который основан на амплификации ДНК организма в реакции ПЦР со случайными короткими (до 10 нуклеотидных оснований) праймерами с последующим фракционированием ампликонов. Полученные спектры ампликонов очень индивидуальны, их также используют при филогенетических исследованиях. Для парных объектов, исследуемых в нашей работе, эти спектры должны быть одинаковыми.

В наших исследованиях в качестве модельных объектов служили следующие виды микромицетов: *Cordyceps militaris*, *C. nutans*, *Beauveria bassiana*, *B. brongniartii*, *Paecilomyces farinosus*, *Lecanicillium muscarium*. В молекулярно-генетических исследованиях были использованы: метод выделения тотальных ДНК из стром и мицелия грибов; ITS-праймеры ДНК (ITS 4 и ITS 5); метод RFLP (restriction fragment length polymorphism) [2]; метод RAPD-PCR (random amplified DNA) [3]. Этот набор методов позволил выявить среди исследуемых модельных объектов грибы, составляющие идентичные пары по сходству ДНК стром и мицелия.

Предложенный набор молекулярно-генетических методов анализа позволил определить среди исследуемых модельных объектов грибов объекты составляющие пары. Принадлежность к определенным парам подтверждена двумя методами (RFLP и RAPD-PCR). Данная схема анализа позволяет определить пару, не имея данных о видовой принадлежности исследуемых грибов.

Используя метод RFLP при изучении ITS-ампликонов грибных культур и имея охарактеризованные референс-штаммы, можно определить видовую принадлежность неизвестных грибных культур.

Основные исследования по использованию молекулярно-генетических методов идентификации микромицетов проводили в плане уточнения видовой принадлежности проблемных видов и штаммов грибов. В настоящей работе приводятся материалы по девяти образцам энтомопатогенных грибов *Clavicipitaceae*.

Из исследуемых образцов грибных стром выделяли тотальную ДНК, которую затем использовали в реакции PCR с ITS 4 и ITS 5 праймерами. В результате этого получали специфичные ITS-ампликоны, которые представляют собой фрагменты ITS-области рибосомальной ДНК, являющейся наиболее консервативной и часто используемой в филогенетических исследованиях. Далее нарабатывали каждый из ампликонов в количестве 3-5 мкг для постановки метода RFLP. В этом методе полученные ITS-ампликоны гидролизуют сайт-специфическими эндонуклеазами (рестриктазами) Tag I, Ava II и Mbo I. Фракционирование рестриктов проводили в 1,5% агарозном геле. Полученные спектры длин рестрикционных фрагментов сравнивали со спектрами референс-штаммов грибов – *Cordyceps militaris* Б-60, *Ophiocordyceps nutans* 440 и *Beauveria amorpha* 1583. Получены электрофореграммы метода RFLP при использовании рестриктазы Tag I для гидролиза ITS-ампликонов. Анализируя полиморфизм длин рестрикционных фрагментов видно, что грибные стромы восьми образцов *Cordyceps* имеют идентичные спектры и они являются сходными со спектром референс – штамма *C. militaris* Б-60. Поэтому исследованные образцы грибов могут быть отнесены к виду *C. militaris*. Спектр образца *Cordyceps* sp. идентичен спектру референс-штамма *Ophiocordyceps nutans*, а значит, этот образец может быть идентифицирован как вид *O. nutans*.

Данные использования в методе RFLP рестриктаз Ava II и Mbo I также показали, что исследуемые грибные образцы могут быть отнесены к виду *C. militaris*, а один образец – к *O. nutans*.

Таким образом, используя метод RFLP с применением рестрикции ITS-ампликонов сайт-специфическими эндонуклеазами Tag I, Ava II и MboI установили, что восемь из исследуемых образцов грибных стром относятся к виду *C. militaris* и один образец – к *O. nutans*.

Вместе с тем, в спектрах длин рестрикционных фрагментов обнаружили различия, говорящие о наличии внутривидовой изменчивости.

Кроме того, исследовали две стромы плодовых тел грибов *Elaphocordyceps ophioglossoides* и строму *Elaphocordyceps*, собранных во время экспедиций, и выделенные из них мицелиальные культуры, чтобы определить являются ли мицелиальные культуры анаморфными формами исследуемых телеоморф и подтвердить их генетическую идентичность.

В результате проведенных исследований установили, что изоляты *E. ophioglossoides* являются анаморфными формами грибов *E. ophioglossoides*, собранных в экспедициях. Исследование третьей пары *E. capitata* показало генетическую неоднородность исследуемых образцов. Следовательно, выделенная мицелиальная культура не могла быть анаморфной формой стромы *E. capitata*, однако спектры рестриктов этой культуры при сравнении их со спектрами штаммов рода *Lecanicillium* оказались идентичны спектрам *L. evansii*. Таким образом, культуру, выделенную из стромы гриба *E. capitata*, идентифицировали как *L. evansii*.

Также RFLP и RAPD-PCR – методами были изучены 4 штамма грибов, предположительно отнесенных к малоизученному роду *Evlachovaea* и выделенных из разных насекомых в различных географических зонах: о. Кунашир и окрестности Херсона (куколки *Lepidoptera*); Астраханский заповедник (имаго ухвертки *Dermaptera*). Спектры рестриктов этих штаммов сравнили со спектрами ДНК типового штамма *E. kintrischica*. Сравнение показало генетическое родство всех штаммов, однако

штамм *Evlachovaea* sp. выделенный из уховертки (Астраханский заповедник) по своим молекулярно – генетическим профилям отличался от образцов *Evlachovaea* из острова Кунашир [4,5]. Всего методами RFLP и RAPD-PCR идентифицировано 116 штаммов микромицетов.

Список литературы

1. Лиховидов В.Е., Александрова А.В., Юскевич В.В. Микромицеты Восточной Палеарктики в коллекции «ГКПМ Оболеск». Современная микология в России. 2020; 8: 39-42.
2. White T.J. et al. Amplification and direct aequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR Protocols. A Guide to Methods and Applications. San Diego: Academic Press. – 1990. – P. 315-322.

3. Мироненко Н.В., Булат С.А. Видоидентификация фитопатогенных грибов методом УП-ПЦР (методическое пособие) – Санкт-Петербург, 2003. – 214 с.

4. Борисов Б.А., Александрова А.В., Тарасов К. Л. Энтомопатогенные грибы анаморфного рода *Evlachovaea*: что известно спустя десятилетие? Микология сегодня, 2011. – М.: Национальная академия микологии – С. 30-44.

5. Борисов Б.А., Володина Л.И., Лиховидов В.Е., Асташкин Е.И., Ковалев Ю.Н., Пачкунов Д.М., Юскевич В.В., Баранов А.М., Тарасов К.Л., Александрова А.В. Энтомопатогенные грибы анаморфного рода *Evlachovaea*: мировые данные и новые результаты оригинальных исследований. Иммунология, Аллергология, Инфектология. – 2009. – №1. – С. 51-52.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОМИЦЕТОВ КАРСТОВОЙ ПЕЩЕРЫ БОЛЬШАЯ НИЖНЕУДИНСКАЯ

Мазина С.Е.^{1,2}, Базарова Е.П.³, Федоров А.С.², Назаров С.И.², Лукьянов Д.А.^{4,5},

Левашова Е.А.¹, Егоров М.И.², Силушкина Э.А.⁶, Вышелесский А.Б.²

¹ НТЦ радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА, Москва

² Российский университет дружбы народов, Москва

³ Институт Земной коры СО РАН, Иркутск

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

⁵ Сколковский институт науки и технологий

⁶ Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск

Карстовые подземные полости, заложенные в гипсовых породах, или имеющие отложения гипсов, обеспечивают уникальные условия для развития микроскопических грибов при стабильных параметрах окружающей среды и высокой влажности. В пещерах первичными продуцентами часто являются хемолитоавтотрофные микроорганизмы, либо используется занесенное с поверхности органическое вещество. Как правило, пути попадания органического вещества в пещеру ограничены и включают занос с водой, часто в периоды паводков, воздушные потоки, внесение вещества с животными и человеком. Антропогенное влияние дает значимый вклад в поступление органического вещества и зачатков микробиоты в пещеры. Развитие микромицетов на отложениях, содержащих гипс, происходит в особых геохимических обстановках, связанных с растворением гипса. Редко посещаемые пещеры, расположенные вдали от промышленных предприятий, автомобильных дорог и иных объектов антропогенного воздействия

Целью данного исследования было выявить видовой состав микромицетов фотической и афотической зон пещеры и определить их антибиотическую активность и устойчивость к воздействию 2,3,7,8-ТХДД и бенз[а]пирена.

Исследование проведено в пещере Большая Нижнеудинская, расположенной на территории Нижнеудинского района Иркутской области России в предгорьях Восточного Саяна. Пещера небольшая, глубиной около 6 метров, общая протяженность ходов около 500м, заложена в толще черных битуминозных известняков удинской свиты, верхнего рифея перекрытых и подстилаемых серыми алевролитами, аргиллитами и песчаниками (Филиппов, 2019). По трещинам в породе, где наблюдается просачивание вод, обнаружены гипсовые отложения, зафиксировано формирование криогенного гипса. Температура в пещере около 4°C.

Были отобраны образцы, которые разделили на 4 категории: вмещающие породы, в том числе с небольшими вторичными отложениями глинистого материала; глинистые отложения без видимых

загрязнений; глинистые отложения с видимыми загрязнениями; сообщества фототрофов с субстратом из фотической зоны пещеры. Выявление микромицетов проводили согласно методике, описанной в работе (Мазина, Концеева, Маннапова, 2018). Оценку устойчивости к воздействию 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-п-диоксина (2,3,7,8-ТХДД) и бенз[а]пирена согласно подходу, описанному в работе (Белинская, Мазина, Зыкова, 2018).

Биоразнообразие микроскопических грибов во всех категориях образцов было низким и составляло от 2 до 8 видов, наибольшее биоразнообразие выявлено в образцах из фотической зоны, граничащей с поверхностью, а наименьшее – на визуально загрязненных субстратах. Всего выделено 18 видов микромицетов.

Дальнейшее исследование проводили с видами, имеющими наибольшую встречаемость в исследованных образцах, всего протестировано 12 штаммов.

Проведено исследование антибиотической активности микромицетов с использованием репортерного штамма *E. coli* (Osterman, Komarova, Shiryaev, et al., 2016), высокочувствительного штамма *E. coli* (IptD) (Orelle Carlson, Kaushal et al., 2013) и дрожжей *Candida albicans*. Репортерный штамм (Osterman, Komarova, Shiryaev, et al., 2016), позволяет определить тип воздействия на микроорганизм, приводящий к его гибели. Высокочувствительный штамм IptD имеет ослабленный механизм синтеза белков, рибосома имеет один rRNA оперон, следовательно, более восприимчив к большинству антибиотиков (Orelle Carlson, Kaushal et al., 2013). Микромицеты культивировали на среде Чапека-Докса в течение месяца. Вырезанные участки агара диаметром 5 мм с соответствующим видом микромицета помещали на чашку Петри с тестовой микробиологической культурой и термостатировали в течение суток при температурах 37°C (*E. coli*) и 26°C (*Candida albicans*). За время культивации микромицетов в среде не было накоплено веществ в количествах, достаточных для проявления антибиотического эффекта на репортерном штамме *E. coli* или дрожжах. Незначительный эффект проявили *Alternaria*

alternata и *Penicillium* spp. на высокочувствительном к антибиотикам штамме IptD. Так как дикий тип *E. coli* имеет гораздо более высокую устойчивость к антибиотикам, а эффект был незначительный, на основании полученных данных невозможно утверждать наличие антибиотической активности у исследованных видов. Можно предположить, что в пещере конкуренция не так велика, чтобы вынуждать виды микромицетов проявлять антибиотическую активность.

Тестирование микромицетов на чувствительность к бенз[а]пирену и 2,3,7,8-ТХДД продемонстрировало их высокую чувствительность. Все выделенные микромицеты при концентрации 1/100 ПДК в среде либо не росли, либо не спороносили, скорость роста по сравнению с контролем была значительно снижена. Это может свидетельствовать о том, что микромицеты не приспособлены к воздействию загрязнителей и эталонности местообитаний пещер.

Авторы благодарят Докучаева А.Г. за отбор образцов в пещере.

МИКСОМИЦЕТЫ ПОДСТИЛОЧНОГО СУБСТРАТНОГО КОМПЛЕКСА В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «НАРОЧАНСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

Мороз Е.Л., Новожилов Ю.К.

Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск
Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

Данное исследование является продолжением работы авторов по изучению видового разнообразия миксомицетов Национального парка (НП) «Нарочанский» (Мороз, Новожилов, 2018, 2019, 2020, 2021, 2024).

НП «Нарочанский» образован в 1999 г. и расположен на территории трех областей Республики Беларусь – Минской, Витебской и Гродненской. Большая часть парка находится на территории Мядельского района Минской области. Площадь НП составляет 87 400 га. Протяженность с севера на юг — 34 км, с запада на восток — 59 км. Отличительной особенностью НП является концентрация на его территории водных экосистем, которые занимают 19,2% территории. Климат умеренно-континентальный.

Национальный парк расположен вблизи переходной полосы от евразийской хвойно-лесной (таежной) к европейской широколиственно-лесной геоботанической области. Лесные экосистемы парка согласно геоботаническому районированию Беларуси входят в состав самостоятельной таксономической единицы — Нарочано-Вилейский район подзоны дубово-темнохвойных лесов. Высоковозрастные древостои занимают только 5% лесопокрытой площади. В составе лесов особую ценность с точки зрения сохранения биоразнообразия представляют лесные сообщества общей площадью 1700 га, среди которых коренные высоковозрастные сосновые леса, коренные высоковозрастные еловые, черноольховые и пушистоберезовые леса, суходольные дубравы, леса с доминированием широколиственных пород (ясени, клена, липы), высоковозрастные бородавчатоберезовые и осиновые леса. (Юргенсон и др., 2012; Юргенсон и др., 2017).

Материалом для публикации послужили образцы, собранные первым автором во время полевых работ в 1984–1995 гг. и в 2017–2024 гг. Сбор образцов спорофоров миксомицетов проводился традиционным полевым маршрутным методом по общепринятым методикам (Новожилов, 1995; Гмошинский и совт., 2021).

Список литературы.

1. Белинская Е.А., Мазина С.Е., Зыкова Г.В. Выявление устойчивости организмов различных трофических уровней к 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-п-диоксину и бенз[а]пирену В сборнике: Медико-биологические аспекты химической безопасности. Сборник трудов III всероссийской научной конференции молодых ученых. Под общей редакцией А.С. Радилова, В.Р. Рембовского. 2018. С. 104–105.
2. Мазина С.Е., Концеева А.А., Маннапова Р.Т. Микромицеты пород и отложений пещеры Риндерлинская и почв в районе расположения пещеры. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 46–60.
3. Филиппов А.Г. Большая и Малая Нижнеудинские пещеры. Атлас пещер России. М., Буки Веди, 2019, с. 549–552.
4. Orelle C; Carlson S; Kaushal B. et al. Tools for characterizing bacterial protein synthesis inhibitors. In Antimicrobial agents and chemotherapy 2013, 57 (12), pp. 5994–6004. DOI: 10.1128/AAC.01673-13.
5. Osterman IA.; Komarova ES.; Shiryayev DI. et al. Sorting Out Antibiotics' Mechanisms of Action: a Double Fluorescent Protein Reporter for High-Throughput Screening of Ribosome and DNA Biosynthesis Inhibitors. In Antimicrobial agents and chemotherapy 2016, 60 (12), pp. 7481–7489. DOI: 10.1128/AAC.02117-16.

Кроме того, нами использован, ставший уже общепринятым, метод «влажных камер», который позволяет более полно выявлять видовой состав миксомицетов различных субстратных групп в не зависимо от времени года (Novozhilov et al., 2017; Гмошинский и совт., 2021). Субстратом в полевых сборах и в опытах с влажными камерами был лиственный опад листьев деревьев и кустарников (включая отпад мелких веточек и плодов кустарников) и опад трав (осоки, злаки и т.д.) на почве, опад хвои (сосны, ели). Камеральная обработка гербарного материала проводилась в лаборатории микологии Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси и в лаборатории систематики и географии грибов Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. Микроморфологические структуры спорофоров изучались с помощью микроскопов Olympus SZ61, Olympus BX 51, Zeiss Axio Imager A1 и стереомикроскопа Zeiss Discovery V20. Определение собранных образцов проводили на основании изучения морфологических признаков с использованием отечественных и зарубежных определительных пособий (Новожилов, 1993, Гмошинский и совт., 2021, Martin, Alexopoulos, 1969, Poulain et al., 2011a, 2011b). Названия миксомицетов приведены согласно номенклатурной базе Nomenmyx (Lado, 2005–2025). Гербарные образцы спорофоров хранятся в Национальном гербарии НАН Беларуси (MSK-F) и гербарии лаборатории систематики и географии грибов БИН РАН (LE).

В субстратном комплексе было выявлено 83 вида миксомицетов из них 61 вид – при полевых сборах. Это: *Amaurochaete comata* G. Lister & Brändza, *Amaurochaete tubulina* (Alb. & Schwein.) T. Macbr., *Angioridium sinuosum* (Bull.) Grev., *Arcyria affinis* Rostaf., *A. cinerea* (Bull.) Pers., *A. congesta* (Sommerf.) Berk. & Broome, *A. denudata* (L.) Wettst., *Badhamia foliicola* Lister, *Collaria arcyrionema* (Rostaf.) Nann.-Bremek. ex Lado, *Craterium aureum* (Schumach.) Rostaf., *C. leucocephalum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Ditmar, *C. minutum* (Leers) Fr., *Cribraria microcarpa* (Schröd.) Pers., *Cr. violacea* Rex, *Diachea leucopodia* (Bull.) Rostaf., *D. obovata*

(Peck) J.M. García-Martín, J.C. Zamora & Lado, *Diderma deplanatum* Fr., *D. testaceum* (Schrad.) Pers., *Didymium anellus* Morgan, *D. clavus* (Alb. & Schwein.) Rabenh., *D. crustaceum* Fr., *D. difforme* (Pers.) Gray, *D. dubium* Rostaf., *D. laxifilum* G. Lister & J. Ross, *D. listeri* Massee, *D. melanospermum* (Pers.) T. Macbr., *D. minus* (Lister) Morgan, *D. nigripes* (Link) Fr., *D. serpula* Fr., *D. spongiosum* (Leyss.) J.M. García-Martín, J.C. Zamora & Lado, *D. squamulosum* (Alb. & Schwein.) Fr. & Palmquist, *Echinostelium minutum* de Bary, *Fuligo intermedia* T. Macbr., *F. septica* (L.) F.H. Wigg., *Heterotrichia oerstedii* (Rostaf.) Yatsiuk, Leontyev & Schnittler, *Lamproderma arcyrrioides* (Sommerf.) Rostaf., *Leocarpus fragilis* (Dicks.) Rostaf., *Licea operculata* (Wingate) G.W. Martin, *L. pygmaea* (Meyl.) Ing, *Metatrichia vesparia* (Batsch) Nann.-Bremek. ex G.W. Martin & Alexop., *Nannengaella contexta* (Pers.) J.M. García-Martín, J.C. Zamora & Lado, *N. leucopus* (Link) J.M. García-Martín, J.C. Zamora & Lado, *Oligonema favogineum* (Batsch) García-Cunch., J.C. Zamora & Lado, *Ophiotheca chrysosperma* Curr., *Paradiacheopsis fimbriata* (G. Lister & Cran) Hertel ex Nann.-Bremek., *P. solitaria* (Nann.-Bremek.) Nann.-Bremek., *Perichaena depressa* Lib., *Physarum album* (Bull.) Chevall., *P. cinereum* (Batsch) Pers., *P. diderma* Rostaf., *P. flavicomum* Berk., *P. leucophaeum* Fr. & Palmquist, *P. luteolum* Peck, *P. notabile* T. Macbr., *P. vernum* Sommerf., *P. virescens* Ditmar, *P. viride* (Bull.) Pers., *Polyschismium chailletii* (Rostaf.) A. Ronikier, J.M. García-Martín, A. Kuhnt, J.C. Zamora, M. de Haan, Janik & Lado, *Stemonitis axifera* (Bull.) T. Macbr., *S. fusca* Roth, *S. splendens* Rostaf., *Symphytocarpus confluens* (Cooke & Ellis) Ing & Nann.-Bremek., *Trichia botrytis* (J.F. Gmel.) Pers.

Двадцать два вида, найдены только во влажной кампоре: *Arcyria globosa* Schwein., *A. marginoundulata* Nann.-Bremek. & Y. Yamam., *Clastoderma debaryanum* A. Blytt, *Craterium concinnum* Rex, *Cribraria lepida* Meyl., *Diachea subsessilis* Peck, *Diderma effusum* (Schwein.) Morgan, *D. hemisphaericum* (Bull.) Hornem., *Didymium annulisporum* H. W. Keller & Schokn., *D. iridis* (Ditmar) Fr., *Fuligo gyrosa* (Rostaf.) E. Jahn, *Hemitrichia minor* G. Lister, *H. pardina* (Minakata) Ing, *Macbrideola rutilipedata* (H. Marx) G. Moreno, Seraoui, Mar.Mey. & López-Vill., *Oligonema schweinitzii* (Berk.) G.W. Martin, *Ophiotheca calongei* (Lado, D. Wrigley & Estrada) García-Cunch., J.C. Zamora & Lado, *Paradiacheopsis longipes* Hooff & Nann.-Bremek., *Perichaena liceoides* Rostaf., *P. quadrata* T. Macbr., *Physarum bitectum* G. Lister, *Trichia munda* (Lister) Meyl., *T. papillata* Adamonyte.

ПЕРВОЕ СООБЩЕНИЕ О НАХОЖДЕНИИ *VOLVARIELLA BOMBYCINA* (SCHAEFF.) SINGER В УЗБЕКИСТАНЕ

Мустафаев И.М., Иминова М.М.

Ташкентский ботанический сад им. Ф.Н. Русанова при Институте ботаники АН РУз

Космополитный род базидиомицетов *Volvariella* Speg. включает около 50 видов [1]. Этот род изначально был отнесен к семейству Amanitaceae, затем — к семейству Agaricaceae, а в современной систематике род *Volvariella* относится к семейству Pluteaceae (Agaricales, Hymenomycetidae, Eubasidiomycetes, Basidiomycotina, Eumycota) [2].

На территории Узбекистана до настоящего времени были зафиксированы единичные находки только двух видов из рода *Volvariella*: *V. gloiocephala* (DC.) Boekhout & Enderle и *V. volvacea* (Bull.) Singer [3, 4, 5].

V. gloiocephala была впервые обнаружена Т.С. Панфиловой в 1954 году в предгорьях Западного Тянь-Шаня, на территории Ахангаранского района Ташкентской области, и определена как *Volvariella speciosa* (Fr.) P. Kumm. В 1976 году Кууло Каломеэс обнаружил данный вид в

В результате наших исследований идентифицированные виды миксомицетов, относятся к 28 родам, 14 семействам, 8 порядкам.

Список литературы

1. Мороз Е. Л., Новожилов Ю. К. Миксомицеты (Мухомусеты) национального парка «Нарочанский». Ботаника (исследования): / Сб. науч. тр. Вып. 47 / Ин-т эксп. бот. НАН Беларуси. – Минск: Колоград, 2018. С. 123–135.
2. Мороз Е. Л., Новожилов Ю. К. Новые и редкие слизевики (Мухомусеты) национального парка «Нарочанский» (Республика Беларусь). Новости систематики низших растений. 2019. Т. 53, № 2. С. 307–314.
3. Мороз Е. Л., Новожилов Ю. К. Миксомицеты (Мухомусеты) сосновых лесов национального парка «Нарочанский». Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. – Минск: Колоград, 2020. Вып. 49. С. 207–219.
4. Мороз Е. Л., Новожилов Ю. К. Миксомицеты (Мухомусеты = Мухогастрея) листового опада черноольшаников национального парка «Нарочанский» (Республика Беларусь). Микология и фитопатология. 2021. Т. 55, № 6. С. 431–439.
5. Мороз Е. Л., Новожилов Ю. К. Биота Миксомицетов (Мухомусеты) лесных формаций национального парка «Нарочанский». Ботаника (исследования): / Сб. науч. тр. Вып. 53 / Ин-т эксп. бот. НАН Беларуси. – Минск: Колоград, 2024. С. 220–239.
6. Юргенсон Н. А., Шушкова Е. В., Шляхтич Е. А., Устин В. В. Особо охраняемые природные территории Беларуси. Справочник / ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам». Минск: ГУ «БелИСА», 2012. 204 с.
7. Юргенсон Н. А., Устин В. В., Шушкова Е. В., Груммо Д. Г. 50 уникальных заповедных территорий Беларуси. – Минск: Беларусь. Энцикл. Имя П. Броўкі, 2017. 400 с.
8. Новожилов Ю. К. Класс Миксомицеты. Определитель грибов России: отдел Слизевики; вып. 1. СПб., 1993. 288 с.
9. Гмошинский В. И., Дунаев Е. А., Киреева Н. И. Определитель миксомицетов Московского региона. М.: АРХЭ, 2021. 388 с.
10. Novozhilov Y. K., Erastova, D. A., Shchepin O. N. et al. Myxomycetes associated with monsoon lowland tropical forests in southern Vietnam. Nova Hedwigia. 2017. Vol. 104 (1–3). P. 143–182.
11. Martin G. W., Alexopoulos C. J. The Myxomycetes. Iowa City: Iowa Univ. Press, 1969. 561 p.
12. Poulain M., Meyer M., Bozonnet J. Les Myxomycètes. Tome 1, guide de détermination. Sévrier. 2011a. 568 p.
13. Poulain M., Meyer M., Bozonnet J. Les Myxomycètes. Tome 2. Fédération mycologique et botanique Dauphiné-Savoie: Sévrier France. 2011b. 544 p.
14. Lado (2005–2025). An on line nomenclatural information system of Eumycetozoa. <http://www.nomen.eumycetozoa.com>. (Date of access: 15 III 2025).

урочище Сармишсай на территории Навоийской области, и на текущий момент этот образец хранится в коллекции ТААМ в Эстонии [4].

Volvariella volvacea была впервые отмечена в 1989 году М.М. Халиковой при изучении макромицетов Ташкентской области [4]. В 2009 году М.М. Иминова обнаружила данный вид в Ферганской долине в ходе исследования макромицетов этого региона [5].

В результате микологических исследований в Нуратинском заповеднике нами был обнаружен новый для микобиоты Узбекистана вид – Вольвариелла шелковистая (*Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer).

Нуратинский заповедник был создан в 1975 году с целью сохранения и восстановления исчезающего вида ахара (баран Северцова), а также охраны редкого вида деревьев – грецкого ореха. Заповедник расположен в



Рисунок 1. *Volvariella bombycina*: А, В — общий вид гриба в молодом возрасте и его разрез; С, D, Е — зрелые плодовые тела гриба (фото И.М. Мустафаева).

центральной части хребта Нуратау, на высотах от 530 до 2169 метров над уровнем моря. Площадь заповедника составляет 17 552 га. Горы Нуратау представляют собой периферийные северо-западные отроги Памиро-Алайской горной системы, которые глубоко вдаются в пустыню Кызылкум. Климат региона умеренно-континентальный, полусухой, со средней годовой температурой 14°C и среднегодовым количеством осадков 300–400 мм. Флора гор Нуратау включает 1289 видов сосудистых растений, из которых 34 являются местными эндемиками. Флора Нуратинского заповедника включает 820 видов, принадлежащих 385 родам и 81 семейству [6].

V. bombycina был обнаружен в дупле греческого ореха на высоте примерно 3–4 метра в долине речки Карисай в Нуратинском заповеднике. (40°30'4.08»С, 66°47'55.91»В). Следует отметить, что второе местонахождение данного гриба было зафиксировано нами в Ташкентском ботаническом саду имени академика Ф.Н. Русанова, где был найден единственный экземпляр на дупле американского клена (*Acer negundo* L.).

V. bombycina был впервые описан в 1774 году немецким натуралистом Якобом Кристианом Шефером под названием *Agaricus bombycinus*. Современное наименование – *V. bombycina* – было присвоено ему в 1951 году немецким ученым, одним из самых известных микологов XX века, Рольфом Зингером [7].

Вольвариелла шелковистая характеризуется наличием на поверхности шляпки белых шелковистых волосков, а ее край несколько выступает за пластинки. Молодые грибы полностью закрыты общим покрывалом, которое затем разрывается, оставляя заметную мешковидную вольву. Шляпка гриба крупная, от конической до плоской формы, с закругленным бугорком, а ножка – белая или желтовато-кремовая. Растет чаще одиночно, реже – в виде сростков, состоящих из 2–3 экземпляров (Рис. 1). У гриба приятный запах.

Таким образом, впервые на территории Нуратинского заповедника был обнаружен новый для микобиоты Узбекистана вид гриба – *V. bombycina*.

Вольвариелла шелковистая занесена в Красные книги пяти регионов России: Астраханской, Воронежской, Липецкой, Новосибирской и Рязанской областей, а также Краснодарского края. Этот вид включен в Красные списки (Red List) ряда стран, включая Венгрию, Германию (земля Рейнланд-Пфальц), Данию, Латвию, Македонию, Польшу, Словению, Швейцарию, Швецию и Черногорию. Этот гриб является малоизвестным съедобным, который лучше всего использовать для приготовления первых и вторых блюд в сочетании с другими грибами. Кроме того, имеется информация о наличии в нем соединений с антибактериальными свойствами [7].

Следует отметить, что данный гриб является крайне редким. На территории Нуратинского заповедника зафиксировано лишь одно его местонахождение. На наш взгляд, необходимо рассмотреть вопрос о включении данного гриба в Красную книгу Республики Узбекистан. Образцы гербария *V. bombycina*, собранные на территории Нуратинского заповедника, хранятся в микологической гербарной коллекции TASM Института ботаники АН РУз.

Список литературы

1. Justo A, Castro ML, 2010. An annotated checklist of *Volvariella* in the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Mycotaxon* 112: – P. 271–273.
2. Ajana M., Ouabbou A., El kholfy S., Nmichi A, Ouazzani Touhami A., Benkirane R. et Douira A. Some new observations on the *Volvariella* genus Speg. 1898. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, Vol-2, Issue-2, 2017, – P. 940–945. Doi:10.22161/IJEAB/2.2.48
3. Панфилова Т. С., Гапоненко Н. И. Микофлора бассейна р. Ангрен. Ташкент: Фан, 1963. – С. 68–168
4. Халикова М.М. Макромицеты Ташкентской области (анализ микофлоры, экология, практическое использование). Автореф. дис... канд. биол. наук. Ташкент. 1989: 20 с.
5. Иминова М. М. Макромицеты Ферганской долины (в пред. Рес. Узбекистан). Автореф. дис... канд. биол. наук. Ташкент. 2009: 20 с.
6. Tojibaev K. Sh., Beshko N. Yu., Popov V. A., Jang, C. G., Chang, K. S. 2017. *Botanical Geography of Uzbekistan*. Pocheon: 250 p.
7. <https://cyberleninka.ru/article/n/shyolkovyy-grib/viewer>

CORTINARIACEAE В РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ

Нагуманов Ш.З.
Национальный парк «Марий Чодра», Красногорский

Национальный парк «Марий Чодра» находится в Среднем Поволжье, на юго-востоке Республики Марий Эл.

Цель нашей работы – изучить видовой состав, фенологию, эколого – трофические группы семейства Cortinariaceae на территории национального парка «Марий Чодра».

Микологические исследования ведутся нами на территории национального парка «Марий Чодра» с 2003 г. по 2023. г. (Нагуманов...,2005). Маршрутным методом была обследована территория парка с целью выявления видового состава макромицетов парка. Маршруты прокладывались с учетом погодно-климатических условий, особенностью плодоношения и охвата различных фитоценозов.

Таблица 1. Местобитания грибов семейства Cortinariaceae в лесных фитоценозов национального парка «Марий Чодра».

Типы фитоценозов	<i>Cortinarius armillatus</i>	<i>C. pholideus</i>	<i>C. albobviolaceus</i>	<i>C. anomalis</i>	<i>C. purpurascens</i>	<i>C. violaceus</i>	<i>C. brunneus</i>	<i>C. castaneneus</i>	<i>C. armenias</i>	<i>C. triumphans</i>	<i>C. semisanguines</i>
Сосняк лишайниковый									*	*	
Сосняк лишайнико-злаковый								*	*	*	
Сосняк разнотравно-мятликовый	*				*	*			*	*	
Сосняк зеленомошно-разнотравный	*				*	*					
Березняк разнотравный	*		*	*				*			
Березняк бруснично-осоковый	*		*	*				*			
Осинник разнотравный		*		*		*					
Липняк разнотравный	*		*								
Ельник разнотравный							*				
Ельник мшисто-разнотравный		*					*				*

С использованием маршрутного метода мы прокладывали маршруты в различных лесных фитоценозов парка, для выявления микобиоты искомых видов. Согласно методике Б. П. Василькова (Васильков,1969) нами были заложены постоянные пробные площадки в различных фитоценозах парка, размером 20 x 20 м., в период массового плодоношения макромицетов. Применяя общепринятую методику геоботанических ис-

следований (Полевой экологический практикум, 2000) определяли типы фитоценозов произрастания грибов.

Наиболее полные данные о микобиоте определенных территорий, особенностей произрастания грибов в лесных фитоценозах, дают сочетания маршрутного метода с стационарными наблюдения. Видовой состав, фенология и характер плодоношения макромицетов в значительной степени определяется фитоценотической средой.

Согласно данным таблицы 1: наибольшее количество макромицетов мы обнаружили в сосняке разнотравно – мятликовым – 5 видов; наименьшие количество 2 вида в сосняке лишайниковом, ельнике разнотравном; по 4 вида грибов встречается в березняке-разнотравном, в березняке бруснично-осоковом, ельнике мшисто-разнотравном;3 макромицета в сосняке лишайниково-злаковом, в сосняке зеленомошно-разнотравном, осиннике разнотравном, липняке разнотравном

Найденные в национальном парке «Марий Чодра» грибы семейства паутинниковых по эколого-трофическим группам относятся к микоризообразующим грибам растениями-симбионтами чаще всего являются хвойные (ель, сосна), береза, осина и реже липа.

Таблица 2. Фенология плодоношения грибов семейства Cortinariaceae национального парка «Марий Чодра».

Виды грибов	Появление плодовых тел		Исчезновение плодовых тел	
	средняя дата	крайняя дата	средняя дата	крайняя дата
<i>Cortinarius armillatus</i> (Fr.) Fr.	1.07±2	17.06-10.07	25.09±3	01.10-02.10
<i>C. brunneus</i> (Pers.) Fr.	07.06±2.	28.05-10.06	07.09±2.	28.09-18.10
<i>C. pholideus</i> (Lilj.) Fr.	21.06±4	26.05-03.06	29.09±4	18.09-26.09
<i>C. albobviolaceus</i> (Pers.) Fr.	23.06±5	27.05-02.06	16.09±5	21.09-28.09
<i>C. anomalis</i> (Fr.) Fr.	10.06±2	1.06-01.08	10.09±2	28.09-17.10
<i>C. castaneneus</i> Peck.	6.06±6	19.05-5.06	18.09±5	23.09-07.10
<i>C. armenias</i> Rob. Henry.	11.06±2	17.06 – 8.07	29.09±2	31.09-01.10
<i>C. elatior</i> Fr.	20.06±6	16.06 – 7.09	13.09±3	27.09-31.09
<i>C. purpurascens</i> Fr.	17.07±3	19.07-4.08	21.08±2	15.08-10.09
<i>C. triumphans</i> Fr.	8.06±6	19.05-5.06	18.09±5	23.09-07.10
<i>C. violaceus</i> (L.) Gray.	14.06±2	17.05 – 8.06	29.06±2	31.09-07.10
<i>C. semisanguines</i> E. Horak.	23.06±6	16.06 – 7.07	3.09±3	07.10-09.10
<i>Rozites caperatus</i> (Pers.) P. Karst.	27.06±3	20.07-4.08	21.09±2	5.09-10.10

Согласно данным таблицы 2, самое раннее появление плодовых тел в национальном парке выявлено у

Cortinarius pholideus (Lilj.) Fr.– Паутинника браслетчатый– 26 мая, наиболее поздние плодоношение отмечено 20 июля у *Rozites caperatus* (Pers.) P. Karst-Колпак кольчатый. В настоящее время в связи с глобальным изменением климата, мы придерживаемся гипотезы, что наступил период потепления, так как наблюдается увеличение вегетационного периода развития растений и плодоношения макромицетов. Мы встречали плодовые тела *Cortinarius brunneus* (Pers.) Fr. до 18 октября. В полевые сезоны 2010 и 2023 г.г., в связи с жаркими и засушливыми погодными-климатическими условиями плодовые тела семейства Паутинниковых не отмечены.

Следует отметить гипотезы глобальных климатических изменений погоды, которые происходят в последние годы на нашей планете. Глобальное потепление – процесс постепенного увеличения среднегодовой температуры атмосферы Земли и Мирового океана. Научное мнение, выраженное Межгосударственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) ООН, и непосредственно поддержанное национальными академиями наук стран «Большой восьмерки». Одни ученые называют этот период как глобальное потепление, другие в связи с холодной зимой 2009 г., как наоборот, период оледенения. Нами в данной работе не ставились задачи оценки той или иной гипотезы. По отмеченным ниже фактам вегетационный период с положительными суточными температурами в нашем регионе в последние годы увеличивается

В ходе полевых исследований отмечен редкий вид *Cortinarius violaceus* (L.) Gray – Паутинник фиолетовый представитель семейства Паутинниковых, занесен в Красную книгу РФ (Красная...,2008) и Республики Марий Эл (Красная...,2013), а также занесен в Красную Книгу Республики Татарстан (Красная книга РТ,2016) и Красную книгу Чувашии (Красная книга ЧР,2010).

Паутинник фиолетовый образует микоризу с березой и осиной, встречается в национальном парке «Марий Чодра» в смешанных лесах.

Национальный парк «Марий Чодра» является особо охраняемой природной территории России (ООПТ), одной из главных задач которой является сохранения биоразнообразия нашей планеты. В парке запрещена любая хозяйственная деятельность, нарушающая биогеоценозы живых организмов. Результаты исследований необходимы для изучения биоразнообразия национального парка, разработки мер для сохранения редкого краснокнижного вида гриба и предоставления данных для кадастровых сведений о национальном парке «Марий Чодра».

Список литературы

1. Нагуманов Ш.З. Список макромицетов НП «Марий Чодра» / Научные исследования в Национальном парке «Марий Чодра». Вып. 1. Йошкар-Ола. Мар. гос. ун-т.2005. 60–78 с.
2. Васильков Б.П. Методы учета съедобных грибов в лесах СССР.-Л.:Наука, 1968. 68 с.
3. Полевой экологический практикум / Учебное пособие. – Йошкар-Ола: Мар. гос. университет, 2000. Часть.→1. С.112.
4. Красная книга Российской Федерации: Растения и Грибы.-Москва: Министерство природных ресурсов и экологии РФ и Росприроднадзор, 2008-856 с.
5. Красная книга Республики Марий Эл. Том «Растения. Грибы» / сост. Г. А. Богданов, Н. В. Абрамов, Г. П. Урбанавичюс, Л. Г. Богданова. — Йошкар-Ола: МарГУ, 2013.-324 с.
6. Красная книга Республики Татарстан : животные, растения, грибы = Татарстан Республикасы Кызыл китабы : хайваннар, үсемлекләр, гөмбәләр / гл. ред. А. А. Назиров. — Изд. 3-е. — Казань : Идел-Пресс, 2016. — 760 с
7. Красная книга Чувашской Республики. Том 1. Часть 2. Редкие и исчезающие виды животных / Гл. ред. И. В. Исаев, автор-составитель и зам. гл. редактора А. В. Дмитриев. — Чебоксары: ГУП «ИПК «Чувашия», 2010.

ПОЧВЕННАЯ МИКОБИОТА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Никитин Д.А.¹, Корнейкова М.В.³, Мергелов Н.С.⁴, Долгих А.В.⁴, Добрянский А.С.⁴, Горячкин С.В.²

¹ Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

³ Российский университет дружбы народов, Москва

⁴ Институт географии РАН, Москва

Стремительное увеличение среднегодовых температур в Арктике (Rantanen et al., 2021), ускоряет таяние многолетнемерзлых пород и ледников (Мергелов и др., 2023). Это приводит к расконсервации существенных запасов почвенного органического вещества (ОВ), которое может быстро минерализоваться и увеличить выброс парниковых газов из-за активизации почвенных микроорганизмов, в первую очередь грибов – основных деструкторов ОВ (Мергелов и др., 2023; Зазовская и др., 2022). Несмотря на обилие работ по таксономическому составу микроорганизмов наземных экосистем Арктики (Никитин, Семенов, 2022; Nikitin et al., 2024), недостаточно информации об активности и структуре микробной биомассы, от которых зависит скорость минерализации ОВ. Основное внимание большинства работ, касающихся наземных экосистем Арктики, сфокусировано на изучении почвы, поскольку она – основа существования наземных экосистем, а населяющие ее грибы играют ключевую роль в цикле биогенных элементов.

Цель работы – исследование комплексное исследование микобиоты почв западной части Российской Арктики.

Объектами исследования стали почвы Земли Франца-Иосифа (ЗФИ), Новой Земли (НЗ), полуостровов Рыбачий и Кольский.

Структуру биомассы грибов характеризовали методом люминесцентной микроскопии с флуоресцентным красителем калькофлуором белым. Микробиологический посев осуществляли на среду Чапека. Тотальную ДНК из субстратов выделяли с использованием набора DNeasy PowerSoil ProKit. Оценку численности рибосомальных генов (регион ITS) проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени.

Биомасса грибов ЗФИ составляла от 0.020 до 0.883 мг/г субстрата и имела аккумулятивный характер распределения по профилям почв. Максимум грибов отмечен в моховых очесах. Доля мицелия варьировала от 12 до 80%, но для большинства образцов составляла от 53 до 65%. Длина гиф изменялась от 5.95 до 459.71 м/г почвы.

Биомасса грибов НЗ изменялась от 0.022 до 0.372 мг/г почвы и резко уменьшалась вниз по профилям. Длина мицелия варьировала от 1.30 мг/г почвы в минеральных слоях до 166.61 мг/г почвы в органогенных горизонтах.

Значения биомассы грибов в почвах полуострова Рыбачий варьировала от 0.098 до 0.583 мг/г почвы и коррелировала с содержанием ОБ ($r=0.63$; $t=2.31$; $df=8$, $p=0.05$). Активный рост мицелия отмечен в почвах со значительными запасами ОБ и сомкнутым растительным покровом. Длина мицелия изменялась от 14 до 413 мг/г почвы. Наименьшая биомасса грибов отмечена в антропогенно-нарушенных почвах и в криогенном пятне, а наибольшие – в верхнем горизонте подбуров и подзолов.

Биомасса грибов Кольского полуострова варьировала от 0.021 до 0.715 мг/г почвы, однако для большинства (64%) почв не превышала 0.073 мг/г почвы. Длина мицелия грибов варьировала от 1.2 мг/г почвы в подзолах Росляково до 504.22 мг/г почвы в торфяно-глеевых почвах на Печенгском побережье.

Численность копий генов ITS рРНК грибов ЗФИ изменялась от 6.47×10^4 до 8.67×10^{10} /г почвы. Наибольшие значения выявлены в биогенных корках псаммозема острова Алджер. Количество генетического материала всех микроорганизмов резко уменьшалось от поверхностных горизонтов к глубинным и возрастало от естественных почв к антропогенно-нарушенным.

Численность копий генов ITS рРНК грибов НЗ изменялась – от 8.87×10^6 до 7.56×10^9 /г почвы и резко снижается с глубиной. Наименьшие значения характерны для района Ледяной Гавани, а наибольшая – для Русской Гавани.

Численность копий генов ITS рРНК грибов полуострова Рыбачий изменялась от 1.67×10^8 до 1.19×10^{10} /г почвы. Минимум грибов характерен для сухоторфяно-подзола в криогенной трещине кустарничковой тундре, а максимум – для сухоторфяно-подбуря под березовым криволесьем кустарничково-разнотравным.

Численность копий генов ITS рРНК грибов Кольского полуострова варьировало от 4.28×10^7 /г почвы в торфяно-глеевой почве Росляково до 4.46×10^9 /г почвы в луговой почве Печенги. Число копий гена ITS рРНК грибов в подзоле на порядок меньше, чем в торфяно-подзолистой почве, и варьировала от 4.28×10^7 до 4.96×10^8 /г почвы, а в торфяно-глеевой почве – от 1.07×10^8 /г почвы до 4.46×10^9 /г почвы. Наибольшее количество копий рибосомальных генов грибов выявлено в почвах Печенгского побережья, наименьшее – в районе Росляково.

Численность микромицетов ЗФИ уменьшалась с глубиной и варьировала от 3.10×10^1 до 6.56×10^3 КОЕ/г почвы. Из почв ЗФИ выделено 47 видов микромицетов, относящихся к 32 родам из 3 отделов. Отдел *Mucoromycota* представлен родами *Mortierella*, *Mucor* и *Umbelopsis*. Отдел *Ascomycota* – 3 телеоморфными (*Antarctomyces*, *Pseudogymnoascus*, *Thelebolus*) и 18 анаморфными родами. Отдел *Basidiomycota* представлен дрожжами родов *Cryptococcus*, *Glaciozyma*, *Goffeauzyma*, *Leucosporidium*, *Mrakia*, *Phenoliferia* и *Rhodotorula*. Наибольшую численность (до 1.9×10^3 КОЕ/г почвы) имели психротолерантные штаммы характерные для холодных экосистем родов: *Hyphozyma*, *Phoma*, *Antarctomyces* и *Pseudogymnoascus*. Доминанты отмечены лишь для поверхностных органогенных горизонтов. Значения индекса Шеннона варьировали от 1.01 в минеральных горизонтах до 2.67 в органогенных слоях. Оценка β -разнообразия показала, что структура

сообществ микромицетов существенно различалась только в пределах верхнего 5-см слоя.

Численность микромицетов НЗ изменялась от 2.5×10^2 КОЕ/г почвы в надмерзлотных горизонтах до 1.5×10^4 КОЕ/г почвы в поверхностных органогенных слоях. Из почв НЗ выделено 49 видов микромицетов, относящихся к 24 родам из 3 отделов. Отдел *Mucoromycota* представлен родами *Mortierella*, *Mucor*, *Rhizopus* и *Umbelopsis*. Отдел *Ascomycota* – 2 телеоморфными (*Antarctomyces*, *Thelebolus*) и 18 анаморфными родами. Отдел *Basidiomycota* представлен дрожжами *Goffeauzyma*, *Mrakia* и *Rhodotorula*. По численности (от 8.5×10^2 до 3.5×10^3 КОЕ/г почвы) и обилию (от 18 до 31%) доминировали представители сапротрофных и характерные для холодных экосистем родов: *Antarctomyces*, *Cadophora*, *Goffeauzyma*, *Penicillium*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*, *Thelebolus*. Почти все доминанты имели большое обилие лишь в поверхностных органогенных горизонтах.

Численность микромицетов полуострова Рыбачий колебалась от 5.3×10^2 до 13.9×10^3 КОЕ/г почвы. В подбурях наибольшее количество микромицетов (13.9×10^3 КОЕ/г почвы) отмечено в верхнем горизонте, которое более чем в 50 раз ($t = 2.5$, $p = 0.05$) снижалось в минеральных горизонтах. В подзолах КОЕ было меньше, чем в подбурях, и уменьшалось более чем в 40 раз вниз по профилю. Свойства почв, антропогенное вмешательство и смена типа растительности привели к изменению структуры сообщества микроорганизмов.

Таким образом, биомасса грибов почв западной части Российской Арктики уменьшается с глубиной и от естественных почв к антропогенно-нарушенным. Количество генетического материала грибов резко снижается от поверхностных к глубинным горизонтам почв, но возрастает в ряду от естественных почв к антропогенно-нарушенным. Для почв западной части Российской Арктики характерны: структура сообществ микроорганизмов с малым количеством доминантов, имеющих притом высокое обилие; доминирование психротолерантных штаммов; преобладание мицелиальных грибов в сухих, а дрожжей – в переувлажненных биотопах; представленность царства грибов преимущественно отделом *Basidiomycota*. Антропогенное нарушение ландшафтов приводит к обогащению таксономического разнообразия почвенных микромицетов, однако за счет рудеральных инвазивных таксонов, которые активны лишь при повышенных температурах (+25°C) не характерных для Арктики.

Список литературы

1. Rantanen M., Karpechko A., Lipponen A., et al. The Arctic has warmed four times faster than the globe since 1980. 2021.
2. Мергелов Н.С., Горячкин С.В., Зазовская Э.П., и др. Супрагляциальные почвы и почвоподобные тела: разнообразие, генезис, функционирование (обзор). Почвоведение. 2023. №12. С.1522–1561. DOI: 10.31857/S0032180X23601494
3. Зазовская Э.П., Мергелов Н.С., Шишков В.А., и др. Криокониты как факторы развития почв в условиях быстрого отступления ледника Альдегонда, Западный Шпицберген. Почвоведение. 2022. №3. С.281–295. DOI: 10.31857/S0032180X22030157
4. Никитин Д.А., Семенов М.В. Характеристика микобиоты почв Земли Франца-Иосифа методами микробиологического посева и ПЦР в реальном времени. Микробиология. 2022. №91(1). С.62–74. DOI: 10.31857/S0026365622010098
5. Nikitin D.A., Manucharova N.A., Dobryansky A.S. Microbiome of Soils and Supraglacial Objects in Background and Oil-Polluted Ecosystems of Hayes Island, Franz Josef Land// Eurasian Soil Science. 2024. V.57(2). P.251–265. DOI 10.1134/S1064229323602767

КОМПЛЕКСЫ ТЕРМОФИЛЬНЫХ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ В ПЕРВИЧНЫХ ПОЧВАХ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА

Николаев Н.С.¹, Кирцидели И.Ю.¹, Ильюшин В.А.¹, Власов Д.Ю.¹

¹ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

В последнее время все более актуальной становится тема экстремальных местообитаний и адаптированных к ним сообществ живых организмов, в том числе микроскопических грибов. Микроскопические грибы способны расти на разнообразных субстратах и встречаются в различных местообитаниях от Арктики и Антарктики, до пустынь и высокогорных систем, от антропогенно загрязненных и антропогенно образованных субстратов до кратеров вулканов (Kirtsideli et al., 2018, 2020; Vlasov et al., 2019, 2020; Iliushin et al., 2022, 2024). Эта проблема может быть связана и со способностью живых организмов адаптироваться к экстремальным природным условиям обитания, в том числе развиваться в антропогенно видоизмененной среде и быть источником нетипичных ферментов и биологически активных веществ.

Целью наших исследований является изучение комплексов микроскопических грибов при формировании первичных почв и грунтов, образующихся при выбросах на склонах Авачинского вулкана (Камчатка).

Были исследованы комплексы микроскопических грибов, в образцах каменистых субстратов и почв. Выделено 4 зоны исследования: 1) термальное поле кратера вулкана с температурой грунта до 60-70°C, 2) внутренняя часть кратера с температурой грунта до 15-20°C, 3) термальное поле, серная фумарола с температурой грунта до 20-30°C, 4) внешняя часть кратера с температурой грунта до 5-10°C. Использовали метод выделения чистых культур на агаризованные питательные среды, проводилась идентификация видов по культурально-морфологическим признакам и молекулярная идентификация по регионам ITS.

Нами были исследованы показатели численности и видового разнообразия микроскопических грибов в процессе формирования первичных почв и грунтов.

Численность микроскопических грибов при температуре инкубации 45°C составляла в почвах термального поля кратера вулкана 26 КОЕ/г; во внутренней части кратера – 11 КОЕ/г, на термальном поле с серными фумаролами – 4 КОЕ/г, а во внешней части кратера падала до 0,2 КОЕ/г.

При температуре инкубации 35°C численность микроскопических грибов в почвах термального поля кратера вулкана составляет 22 КОЕ/г; во внутренней части кратера – 13 КОЕ/г, в термальном поле с серными фумаролами – 65 КОЕ/г, а во внешней части кратера – 9 КОЕ/г. При снижении температуры инкубации до 35°C отмечено резкое увеличение численности в почвах термального поля с серными фумаролами и во внешней части кратера, в термальном поле и во внутренней части кратера вулкана изменения численности незначительны.

Это можно рассматривать как признак формирования стабильных сообществ термофилов, в том числе микроскопических грибов, в условиях повышенных температур. Для термального поля с серной фумаролой, по-видимому, адаптация сообществ микроскопических грибов происходит не только к температурному фактору, но и к низкому рН среды.

В результате исследования было выделено 7 видов микроскопических грибов, способных расти при

температуре 35°C и выше. Это виды *Verruconis* sp., *Acidomyces* sp., *Talaromyces helices*, *Penicillium velutinum*, *Alternaria alternata*, *Simplicillium aogashimaense*, *Daldinia loculata*. К термотолерантным видам способным расти при температуре 45°C относятся изоляты 5 видов – *Verruconis* sp., *Acidomyces* sp., *Talaromyces helices*, *Penicillium velutinum*, *Simplicillium aogashimaense*. Из них только *Verruconis* sp. показал способность к росту при температуре более 50°C, но, при 52,5°C рост сильно замедлялся. Температурный оптимум для этого вида составил 35-45°C.

Изоляты *Acidomyces* sp. являются как термофильными видами с температурой роста более 45°C, так и способны расти при низких значениях рН (1-3). Устойчивость к различным факторам окружающей среды (повышенные температуры и низкий рН) позволяет микромицетам существовать в такой экстремальной экосистеме, как термальные кратеры вулкана.

Наши исследования показали, что изученные субстраты характеризуются низким видовым разнообразием термофильных видов, адаптированных к данным условиям. Полученные данные свидетельствуют о наличии сообществ термофильных и термотолерантных микроскопических грибов даже в экстремальных условиях крайне бедных субстратов термальных полей кратеров вулкана и термальных полей серных фумарол.

Список литературы

1. Iliushin V.A., Kirtsideli I.Y., Vlasov D.Y. Diversity of culturable microfungi of coal mine spoil tips in Svalbard. Polar Science. 2022. 32. 100793 DOI: doi.org/10.1016/j.polar.2022.100793
2. Iliushin V.A., Kirtsideli I.Y. Thermophilic and thermotolerant microfungi of coal mine spoil tips beyond the Arctic Circle. Bol. Soc. Argent. Bot. 2024. 59(4): 1-13. DOI: 10.31055/1851.2372.v59.n4.44478
3. Kirtsideli I. Yu., Vlasov D. Yu., Abakumov E.V., Novozhilov Yu.K., Barantsevich E.P.
4. Assessment of Anthropogenic Influence on Antarctic Mycobiota in Areas of Russian Polar Stations. Contemporary Problems of Ecology. 2018. 11 (5): 449-457. DOI: 10.1134/S1995425518050074
5. Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Ильюшин В.А., Новожилов Ю.К., Зеленская М.С., Чуркина И.В., Баранцевич Е.П. Оценка антропогенной инвазии микроскопических грибов в арктические экосистемы (архипелаг Шпицберген). Гигиена и санитария. 2020. 99(2): 145-151. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-2-145-151
6. Vlasov D. Yu., Kirtsideli I. Yu., Abakumov E.V., Novozhilov Yu.K., Zelenskaya M.S., Barantsevich E.P. Anthropogenic Invasion of Micromycetes to Undisturbed Ecosystems of the Larsemann Hills Oasis (East Antarctica). Russian Journal of Biological Invasions. 2020. 11(3): 208-215. DOI: 10.1134/S2075111720030121
7. Власов Д.Ю., Тешебаев Ш.Б., Зеленская М.С., Кирцидели И.Ю., Рябушева Ю.В. Микологические поражения материалов в помещениях как фактор риска для здоровья полярников. Гигиена и санитария. 2019. 98(1): 17-21. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-17-21

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОБИОТЫ В РАЙОНЕ СТАЦИОНАРА ААНИИ НА АРХИПЕЛАГЕ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

Панин А.Л.¹, Кирцидели И.Ю.², Соколов В.Т.¹, Гончаров А.Е.³,
Краева Л.А.^{4,5}, Сбойчаков В.Б.⁵, Власов Д.Ю.^{2,6}

¹ Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург

² Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

³ СЗГМУ имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург

⁴ НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург

⁵ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург

⁶ Санкт-Петербургский государственный университет

Исследования микробиоты арктических территорий в последние годы привлекает повышенное внимание в силу ряда причин. Прежде всего, это связано с происходящими климатическими изменениями, а также растущим антропогенным влиянием на полярные экосистемы. Данные обстоятельства отражаются на составе и структуре микробных сообществ, особенно в районах арктических поселений. Особый интерес в этой связи представляют микромицеты, которые преобладают в почвах и грунтах Высокой Арктики. Изучение этой группы организмов в районах активной хозяйственной деятельности позволяет оценить степень антропогенного влияния на экосистемы Арктики.

Научно-исследовательский стационар ААНИИ «Ледовая база «Мыс Баранова» расположен на территории острова Большевик архипелага Северная Земля, где отмечаются весьма суровые климатические условия – короткое холодное лето и продолжительная зима с очень низкими температурами. Оттаивание мерзлоты, которой характеризуются полярные пустыни, происходит на глубину 15–30 см. Минусовые температуры почвы сохраняются здесь более 9 месяцев в году (Большаков Д.Ю., Макеев В.М., 1995). В таких условиях почвенная микробиота может включать психрофильные и психротолерантные микроорганизмы. При этом микробное разнообразие (бактерии и микромицеты) в почвах и грунтах архипелага Северная Земля до последнего времени было изучено весьма фрагментарно. Исследования микробиоты проводилось преимущественно на антропогенных субстратах, привнесенных в арктические экосистемы (Кирцидели И.Ю. и др., 2016).

Образцы почв в районе стационара ААНИИ и на прилегающих территориях отбирались в течение ряда лет сотрудником ААНИИ микробиологом Ш.Б. Тешебаевым на территории станции и природного полигона, а затем передавались для исследования в научные центры Санкт-Петербурга. Микромицеты выделялись из почвенных образцов с использованием метода разведений на агар Чапека и агаризованную среду Сабуро. Культивирование грибов проводилось при различных положительных температурах (4–5°, 10–12° и 20–22° С). Идентификация некоторых видов была проведена с использованием молекулярных методов путем анализа участка ДНК, содержащего внутренние транскрибируемые спейсеры ITS1 и ITS2. Часть образцов была проанализирована методом метабаркодинга (в Ресурсном центре СПбГУ «Развитие клеточных и молекулярных технологий»).

Всего было выделено в культуру и идентифицировано 59 видов микроскопических грибов, относящихся к 33 родам. Преобладали аскомицеты, среди которых

выделялся род *Penicillium* (8 видов). Зафиксированы существенные различия по составу и численности микромицетов в антропогенно загрязненных и контрольных (относительно «чистых», на удалении от стационара) почвах. Например, частота встречаемости видов *Pseudogymnoascus pannorum* была существенно ниже в почвах, подверженных антропогенному загрязнению. В то же время встречаемость грибов родов *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium* в антропогенно загрязненных почвах была заметно выше, что вероятно связано с их антропогенной инвазией ряда видов. При этом общая численность микроскопических грибов остается на довольно низком уровне. Наиболее богатым по видовому составу микромицетов оказался поверхностный слой почвы (глубина 0–5 см), где выявлены виды, известные как деструкторы материалов в антропогенной среде.

Результаты молекулярного анализа образцов во многом согласуются с данными, полученными с помощью культурального метода. При этом методом метабаркодинга выявлено значительно большее разнообразие грибов – 50 родов (из 5-ти отделов), тогда как с помощью культурального метода – 33 рода (из 3-х отделов) грибов. Основная часть микобиома приходится на представителей классов *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes* и *Leotiomycetes*. Интересно отметить, что при выделении грибов на питательные среды доля базидиомицетов не превышала 5%, тогда как молекулярный анализ показал более значительную долю этих грибов во всех образцах (до 10,6%).

Важно отметить, что в целом молекулярный анализ подтвердил результаты, полученные культуральным методом, по выделению группы доминирующих видов. В нее вошли грибы из порядков *Capnodiales*, *Chaetothyriales*, *Helotiales*, *Hypocreales* и *Pleosporales*. По мере снижения ранга таксонов увеличивалось количество неидентифицированных геномных последовательностей, что затрудняло дальнейший сравнительный анализ результатов, полученных разными методами.

Примечательно выявление дрожжей из рода *Mrakia*, которые характеризовались значительной долей участия в микобиоме антропогенно загрязненных почв. Эти же дрожжи были выделены в культуру при посеве из почвенных разведений. Виды данного рода, как правило, психрофильны и способны к низкотемпературной ферментации, что делает их потенциально интересными объектами для использования в биотехнологии. Виды рода *Cladophialophora* были выявлены только в контрольных почвах, а род *Pichia* отмечен лишь в образцах загрязненных почв.

В целом, результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о необходимости сочетания

культуральных и молекулярно-генетических методов изучения микробных сообществ почв полярных регионов. При таком сочетании можно составить представление о наиболее активных культивируемых формах микроорганизмов, а также получить наиболее полную характеристику разнообразия микобиоты конкретных местообитаний.

Работа частично выполнена в рамках Государственного задания по плану тем БИН РАН, тема № 124013100829-3.

Список литературы

1. Большаинов Д. Ю., Макеев В. М. Архипелаг Северная Земля. Оледенение, история развития природной среды. 1995. СПб. 216 с.
2. Кирцидели И.Ю., Абакумов Е.В., Тешебаев Ш.Б., Зеленская М.С., Власов Д.Ю., Крыленков В.А., Рябушева Ю.В., Соколов В.Т., Баранцевич Е.П. Микробные сообщества в районах арктических поселений. Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 10. С. 923–929.

КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИХЕНОБИОТЫ СТЕН СОЛОВЕЦКОГО МОНАСТЫРЯ

Пчелкин А.В.

Институт географии РАН, Москва

Стены Соловецкого монастыря сложены из валунной кладки, преимущественно темных оттенков. Развивающаяся на стенах эпилитная лишенобиота создала неповторимый облик монастыря, стены которого сохранили природную основу, в отличие от других монастырей, стены которых сложены кирпичной кладкой и часто покрашены в белый цвет. Колористику стен Соловецкого монастыря определяют доминирующие виды лишайников, окрашенных, в основном, в различные оттенки красного и оранжевого цветов. Именно они формируют колористику стен монастыря, определяя цветовой тон, яркость, насыщенность, хроматичность, тональность и оттенок. Различные оттенки красного и оранжевого, которыми окрашены талломы доминирующих видов: *Xanthoria (Rusavskia) elegans*, *Calogaya decipiens*, *Calogaya saxicola* и в меньшей степени *Athallia scopularis*, формируют общее восприятие стен Соловецкого монастыря: настроение, привлечение внимания, визуальное изменение пропорций, гармоничность, контрастность. Особо следует отметить ассоциативность восприятия доминирующих оттенков, их символизм (в России красный цвет символизирует власть, силу и мужество) в плане того, что Соловецкий монастырь является объектом культурного наследия, входящего в список ЮНЕСКО. Эта проблема возникла в связи с тем, что в 2016 г. часть эпилитного лишайникового покрова была удалена с валунной кладки стен монастыря, что привело к изменению колористического облика памятника архитектуры, стены приобрели мрачноватый оттенок и зачастую вид «новодела». Восстановление эпилитного лишайникового покрова предусматривает и сохранение колористического облика монастырских стен. При проведении мероприятий по реинтродукции лишайников, особое внимание желательно уделять идентичности видового состава. Несмотря на то, что *Xanthoria elegans* и является доминирующим видом на стенах Соловецкого монастыря, свой вклад в золотисто-оранжевую гамму монастыря вносят и другие виды лишайников, которые также пострадали при механической зачистке скальной поверхности (жесткими металлическими щетками и пескоструйным аппаратом) и обработке биоцидом капатоксом. Один из таких видов, нередкий на стенах монастыря, но вследствие меньшей скорости роста и более слабой конкуренции с *Xanthoria elegans*, является *Calogaya decipiens*. Еще один диморфный вид, *Calogaya saxicola* образует довольно большие скопления с внутренней стороны монастырской стены – между тыльной стороной

Успенской башни и Настоятельским корпусом. Эти вид, так же, как и *Xanthoria elegans*, формируют розетки, часто неправильной формы, и нередко сливающиеся в сплошное покрытие. *C. decipiens* образует соредии светлее слоевища, светло-желтые, зернистые. У вида *C. saxicola* часто встречаются апотеции. Кроме того, виды предпочитают известковый субстрат. Оба вида довольно декоративны. Молодые розетки правильной формы напоминают золотые червонцы царской чеканки. Вид *Calogaya decipiens* включен в Красные книги Вологодской области (2015) и Республики Карелия (2007). Виды развивается медленнее, чем *Xanthoria elegans*, менее конкурентны, при совместном произрастании вытесняется ксанторией. Однако они одними из первых поселяются на кирпичных вставках и, в отличие от ксантории, больше предпочитают известковый субстрат. В окрестностях Соловецкого монастыря встречается еще один вид *Xanthoria* – *Xanthoria candelaris* (или, так как в последнее время ее выделяют в род *Polyscauliona*, то *Polyscauliona candelaria*). Этот вид массово произрастает на деревянных перилах возле Святого озера. При массовом развитии *Polyscauliona candelaria*, субстрат, на котором растет этот вид, выглядит так, будто накрыт тканью из золотистого византийского бархата-аксамита. Вид нитрофилен и, хотя рядом с Соловецким монастырем он произрастает в основном на деревянных перилах ограды возле озера, чаще его можно встретить на валунах возле морского берега, в частности, на валунах дамбы на Большую Муксалму, на Филипповых садках. Несмотря на декоративность и легкость сбора, использовать этот вид для восстановления лишайникового покрова на стенах монастыря не рекомендуется: если изначально *Polyscauliona candelaria* не поселилась на каменных стенах Соловецкого монастыря, это означает, что какие-то экологические условия монастырских стен не очень благоприятствуют произрастанию этого лишайника, а поэтому не имеет смысла тратить время и силы на сборы талломов *Polyscauliona candelaria* для реинтродукции. Сам процесс реинтродукции достаточно сложный и в данном случае риск не очень оправдан. Кроме того, если деревянные перила возле Святого озера в конце концов придется менять на новые, то валуны дамбы на о-в Большая Муксалма или Филипповы садки тоже являются культурно-исторической ценностью и собирать лишайники с валунов этих замечательных сооружений нельзя. Из накипных видов имеет смысл отметить виды рода *Candelariella*, в основном *Candelariella vitellina* и *Candelariella aurella*. И хотя эти виды малозаметны на валунах монастырских стен,

именно виды этого рода, поселяясь на лемехах старинных церквей, придают им золотистый оттенок, отчего деревянные купола кажутся покрытыми золотистым налетом. На валунах рва, опоясывающего монастырь с северной и частично западной сторон, развивается диморфный лишайник *Protoparmeliopsis muralis*. Этот диморфный вид образует декоративные талломные розетки зеленоватого цвета. Валунуны, образующие защитный вал с северной и частично западной стороны монастыря, благодаря этому виду имеют очень старинный вид. Экологические условия защитного вала, прежде всего по влажности и освещенности, отличаются от условий на монастырских стенах, где этот вид если и встречается, то единично, преимущественно на стене между Корожной и Никольской башнями. Помимо декоративного лишайника *Protoparmeliopsis muralis*, на валунах отмечены единичные розетки, *Xanthoria elegans*. В северо-западной части вала обычен листоватый лишайник *Parmelia saxatilis* образующий серые розетки. Интересна единичная находка таллома накипного вида *Rhizocarpon geographicum* с диаметром таллома около 3 см. Учитывая, что скорость роста этого вида составляет сотые доли миллиметра в год, можно предположить, что этому таллому не меньше сотни лет. Это исключительно декоративный лишайник. Каменные осыпи, например, на горе Печак, при его массовом развитии, выглядят, как россыпи драгоценного малахита. Особенно эффектно смотрятся камни из светлого гранита, на которых растет *Rhizocarpon geographicum*. Предметы, покрытые малахитом, широко использовались русскими императорами в качестве дипломатических даров. На столе Президента России стоит письменный прибор, покрытый малахитом. Конечно, стены монастыря из малахита выглядели бы, наверное, очень красиво, как малахитовый замок, но

скорость роста и малая конкурентоспособность вида не позволяют на это надеяться. Наиболее богата в видовом составе лишенобиота прясли между Корожной и Никольской башнями. Возможно, это связано с северной экспозицией этой части монастыря. На пряслах обычным видом является *Physcia caesia*, образующая светло-серые, не очень декоративные розетки, различные виды *Aspicilia*, *Rhizocarpon*, *Porpidia*, *Lecanora*, *Lecidea*, *Caloplaca*, *Candelariella*, *Lepraria*, *Cladonia*, *Biatora*, эврибионтный вид *Parmelia sulcata*, а также эпифитные лишайники, которые практически не формируют колористический облик стен Соловецкого монастыря, в отличие от красно-оранжевых *Xanthoria* (*Rusavskia*) *elegans*, *Calogaya saxicola*, *C. decipiens* и произрастающей на деревянных лемехах золотисто-желтой *Candelariella vitellina*. При проведении работ по восстановлению того колористического облика Соловецкого монастыря, с которым он был включен в список объектов культурного и природного наследия ЮНЕСКО, необходимо учитывать особенности развития эпилитной лишенобиоты и, следовательно, ориентироваться на реинтродукцию тех видов, которые сформировали его облик. Колористический облик играет важную роль при восприятии объектов культурного и природного наследия. Именно он создал известность Радужным горам в Перу — геологическому образованию в горной гряде Вильканота, красочным скалам в Национальном геопарке Чжанье Данься (Китай), цветным горам в Аргентине (Орнокаль, Холм семи цветов, горы у Пурмарки) и др. Соловецкий монастырь — уникальный объект культурного и природного наследия, колористический облик которого в значительной степени сформирован эпилитными лишайниками.

ЛИХЕНОБИОТА ПАРКА «ЗАРЯДЬЕ»: ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ, 8 ЛЕТ СПУСТЯ

Пчелкин А.В.

Институт географии РАН, Москва

Трансплантационные методы широко применяют в лишеноиндикации. Почти исключительно для этих целей используют лишайники эпифитной и несколько реже, эпигейной экологических групп и крайне редко эпилитные виды [1]. Это связано, прежде всего с техническими причинами: крайне затруднительно трансплантировать эпилитные лишайники вместе с субстратом. И если отдельные талломы в небольшом количестве еще можно использовать для трансплантации в исследуемые районы, то массовые эксперименты силами отдельных исследователей и даже отдельных институтов практически невозможны. Но если неожиданный случай позволяет это сделать, такой возможностью нужно обязательно воспользоваться. Именно такой случай и представился в 2017 г., когда Правительство Москвы открыло в центре Москвы ландшафтный парк «Зарядье», расположенный на месте бывшей гостиницы «Россия» между Москворецкой набережной и улицей Варварка и который должен включать четыре природные зоны и отражать разнообразие ландшафтов России. Один из таких ландшафтов — «Северный ландшафт», для которого привезли природные камни из Карелии со мхами и лишайниками. Общий вес валунов составляет 360 тонн, некоторые камни весят по восемь тонн. Таким образом

представилась возможность провести эксперимент по трансплантации эпилитных лишайников в условия мегаполиса с повышенным уровнем загрязнения воздуха. Вместе с валунами из Карелии, в парке были высажены растения и можно было надеяться, что вместе с растениями будут трансплантированы эпифитные лишайники из природных зон. К сожалению, только несколько древесных пород были пригодны для исследований, т.к. большинство растений привезены из питомников: например, березы — из немецких питомников, рододендроны — тоже из питомников, поэтому попытка найти эпифитные лишайники оказалась неудачной. Обследование охватывало основные объекты Природно-ландшафтного парка: «Северный ландшафт», «Березовая роща», «Прибрежный лес», отдельные деревья на территории парка. Тем не менее, некоторое количество эпифитных видов найти удалось. На момент нашего обследования парка (17 октября 2017 г.) эпигейных лишайников обнаружено не было. И, хотя, по сообщению некоторых средств массовой информации, на участке «северный ландшафт» был посажен ягель, по другим источникам, высадка ягеля не планировалась (Аргументы недели, 18 сентября 2017 г.). Вскоре после открытия парка, в октябре 2017 г. на территории природно-ландшафтного парка «Зарядье»

было отмечено 86 эпилитных и 13 эпифитных видов лишайников, а также *Athallia pyracea* на аборигенной липе [2]. Обследование 2020 г. показало, что часть видов уже исчезла, в основном, эпифитные виды. Обследование 2022 г. показало исчезновение еще нескольких видов, а в 2024 г. число видов также уменьшилось. Ниже приведен список видов лишайников парка «Зарядье». * – выделены виды, исчезнувшие к 2020 г., ** – виды, исчезнувшие к 2022 году, *** – виды, исчезнувшие к 2024 г.

Эпифитные виды: **Parmelia sulcata* Tayl., **Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg, **Lecidella elaeochroma* (Ach.) M. Choisy, **Lecanora carpinea* (L.) Vain., **Lecanora cateilea* (Ach.) A. Massal., **Lecanora circumborealis* Brodo & Vitik *Athallia pyracea* (Ach.) Arup, Frödén & Söchting, **Graphis scripta* (L.) Ach., **Phlyctis argena* (Spreng.) Flot. **Platismatia glauca* (L.) W.L.Culb. & C.F.Culb., **Evernia mesomorpha* Nyl., ****Melanohalia olivacea* (Nyl.) O. Blanco & al. На стволах сосен (объект «Хвойный лес») и кедровом стланике («Северный ландшафт») лишайники не обнаружены.

Эпилитные виды: **Acarospora badiofusca* (Nyl.) Th. Fr., **Acarospora cervina* (Ach.) A. Massal., **Acarospora veronensis* A. Massal., **Allantoparmelia alpicola* (Th. Fr.) Essl., **Amygdalaria cfr. elegantior* (Magn.) Hertel et Brodo, **Amygdalaria panaeola* (Ach.) Hertel et Brodo, ****Arctoparmelia incurva* (Pers.) Hale, *Arctoparmelia centrifuga* (L.) Hale, ***Aspicilia caesiocinerea* (Nyl. ex Malbr.) Arnold., *Aspicilia cinerea* (L.) Koerb., ****Aspicilia laevata* (Ach.) Arn., *Aspicilia moenium* (Vain.) G. Thor & Timdal, **Aspicilia simoënsis* Räsänen., **Aspicilia myrinii* (Fr.) Hafellner, *Athallia cfr. vitellinula* (Nyl.) Arup, Frödén & Söchting, **Buellia badia* (Fr.) A. Massal., *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr., *Candelariella coralliza* (Nyl.) H. Magn. **Carbonea vorticosa* (Flk.) Her., ***Cetrariella commixta* (Nyl.) Kärnefelt & A. Thell, **Clauzadeana macula* (Taylor) Coppins & Rambold, **Fuscidea mollis* (Wahlenb.) Wirth et Vezda, *Flavoplaca citrina* (Hoffm.) Arup, Frödén & Söchting, **Hymenelia epulotica* (Ach.) Lutzoni, **Hymenelia cyanocarpa* (Anzi) Lutzoni, **Ionopsis ceracea* (Arnold) Hafellner & Türk, **Lecanora atosulphurea* (Wahlenb.) Ach., **Lecanora cenisia* Ach., *Lecanora crenulata* Hook., *Lecanora dispersa* (Pers.) Sommerf., **Lecanora frutulosula* (Dicks.) Ach., *Lecanora intricata* (Ach.) Ach., *Lecanora polytropa* (Ehrh. ex Hoffm.) Rabenh., **Lecanora marginata* (Schaer.) Hertel & Rambold., *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy, *Lecanora rupicola* (L.) Zahlbr., *Lecidea atrobrunnea* (Ramond ex Lam. & DC.) Scgaer., **Lecidea cfr. auriculata* (Kreyer) Kreuer, *Lecidea fuscoatra* (L.) Ach., **Lecidea cfr. inops* Th. Fr., *Lecidea lapicida* (Ach.) Ach., **Lecidea lithophila* (Ach.) Ach., **Lecidea plana* (J. Lahm.) Nyl., *Lecidea praenubila* Nyl., **Lecidea silacea* Ach., ***Lecidea tessellate* Flörke, ****Lepraria neglecta* (Nyl.) Lettau, *Melanelia hepaticizon* (Ach.) A. Thell, *Melanelia stygia* (L.) Essl., ***Miriquidica deusta* (Stenh.) Hertel & Rambold, *Miriquidica garovaglii* (Schaer.) Hertel & Rambold, **Miriquidica leucophaea* (Flk.) Hertel et Rambold, *Miriquidica nigroleprosa* (Vain.) Hertel et Rambold, ****Ochrolechia tartarea* (L.) A. Massal., **Ophioparma ventosa* (L.) Norman, *Orphniospora moriopsis* (A. Massal.) D. Hawksw., ****Parmelia omphalodes* (L.) Ach., ****Parmelia saxatilis* (L.) Ach., *Pheophyscia sciastra* (Ach.) Moberg, ****Physcia caesia* (Hoffm.) Fűrnr., **Porpidia cinereoatra* (Ach.) Hertel & Knoph, *Porpidia crustulata* (Ach.) Hertel & Knoph, **Porpidia flavicunda* (Ach.) Gowan, *Porpidia macrocarpa* (DC.) Hertel & A. J. Schwab, ****Protoparmelia badia* (Hoffm.) Hafellner, *Ramalina polymorpha* (Liljeblad) Ach., ****Rhizocarpon alpicola* (Anzi) Rabenh., *Rhizocarpon badioatrum* (Flörke ex Spreng.) Th. Fr., , ****Rhizocar-*

pon cfr. disporum (Nägeli ex Hepp) Müll. Arg., *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. s.l., ****Rhizocarpon grande* (Flörke in Flot.) Arnold., ****Rhizocarpon hochstetteri* (Körb.) Vain., ***Rhizocarpon obscuratum* (Ach.) Massal., ****Rhizocarpon petraeum* (Wulfen) A. Massal., ***Rhizocarpon cfr. reductum* Th. Fr., ***Rhizocarpon superficiale* (Schaer.) Vain., *Rhizocarpon viridiatrum* (Wulfen) Körb., ****Rhizoplaca chrysoleuca* (Sm.) Zopf, ****Rhizoplaca melanophthalma* (DC.) Leuckert & Poelt, **Ropalospora lugubris* (Sommerf.) Poelt, **Sporastatia testudinea* (Ach.) A. Massal. **Tephromela atra* (Huds.) Hafellner, *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale, *Xanthoparmelia stenophylla* (Ach.) Ahti & D. Hawksw.

Обследование лишенобиоты парка «Зарядье», проведенное 21.03.2025 г. показало, что значительная часть видов исчезла, а некоторые, например, *Rhizocarpon geograaphicum*, доминировавшие при открытии парка, сократили свою численность до единичных талломов. *Candelariella coralliza*, довольно многочисленная в 2017 г., к 2025 г. также найдена в виде единичного таллома. *Phaeophyscia sciastra*, найденная единично в 2017 г., численность не изменила. Диморфный вид *Protoparmeliopsis muralis*, наоборот, несколько увеличил численность – отмечены новые талломы. Отмечено развитие *Candelariella vitellina*. Совершенно неожиданным оказалась сохранность кустистого эпилитного вида *Ramalina polymorpha*, хотя по наблюдениям, талломы лишайника с 2017 года совершенно не выросли. Отмечено заселение субстрата обычными для Москвы видами: *Xanthoria parietina*, (в верхней части кроны посаженных дубов (возле Малого амфитеатра) и на одном из валунов «Северного ландшафта»), *Phaeophyscia orbicularis* – верхняя часть кроны дубов возле Малого амфитеатра. При этом на нижней и средней частях стволах дубов эти же виды, отмеченные в 2017 г. исчезли. Эпилитные лишайники лучше всего сохранились на камнях северной экспозиции, а также в углублениях валунов (например, *Melanelia stygia*), что обеспечивает им определенную защиту от посетителей, которые любят залезать на валуны для фотосъемок. На горизонтальной поверхности валунов численность лишайников уменьшилась, часто остались только следы талломов в виде светлых ореолов.

Работа выполнена по теме Гос. задания FMWS-2024-0007.

Список литературы

1. Бязров Л.Г. 2002. Лишайники в экологическом мониторинге. – М.: Научный мир, 336 с.
2. Пчелкин А.В. 2018 Лишайники природно-ландшафтного парка «Зарядье» (Москва): перспектива мониторинга. Бюл. МОИП. Отд. биол. Т. 123. Вып. 4. С. 44-49

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И КОЛЛЕКЦИОННЫЕ ФОНДЫ
МАКРОСКОПИЧЕСКИХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сазанова Н.А.
Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан

Таксономические списки видов являются фундаментальной основой для реализации научных и прикладных задач и позволяют использовать их в различных направлениях биологии и географии грибов, для анализа экологической и ресурсной составляющей природной среды, для организации баз данных, создания региональных атласов и определителей. Данные о редких видах используются при составлении Красных книг. Инвентаризация видов региональной микобиоты требует много времени, знаний и коллаборации специалистов, исследующих разные таксономические группы.

Изучение разнообразия макроскопических грибов на территории Магаданской области ведется более четырех десятков лет, как на базе Института биологических проблем Севера ДВО РАН, так и специалистами других учреждений. Образцы грибов хранятся в различных коллекционных фондах. Микологическая коллекция Гербария MAG (Магадан) насчитывает более 10 000 образцов и около 800 видов. Образцы некоторых видов переданы в LE (Санкт-Петербург), MW (Москва), VLA (Владивосток), YUR (Ростов на Дону), YSU BC (Ханты-Мансийск). Сборы М.М. Назаровой и Л.Н. Васильевой хранятся в VLA (Владивосток), В.А. Мухина и А.Г. Ширяева – SVER (F) (Екатеринбург).

Была поставлена задача – обобщить литературные и гербарные материалы, данные базы GBIF и свести воедино имеющуюся информацию количественного таксономического разнообразия макроскопических базидиальных грибов Магаданской области.

Литературный обзор опубликованных работ по Магаданской области проанализирован при составлении чек-листа агарикоидных и болетоидных грибов России [1] и на тот момент насчитывал 487 видов. Эту информацию дополняет серия публикаций по новым видам макроскопических грибов региональных микобиот Дальнего Востока [2, 3, 4, 5]. Материалы этих работ публикуются также на платформе GBIF.

По другим группам грибов чек-листы для азиатской части России отсутствуют. Афилофороидные грибы Магаданской области отчасти охарактеризованы в публикациях Н.А. Сазановой [6], В.А. Мухина и др. [7] по дереворазрушителям, ассоциированным с *Pinus pumila*, А.Г. Ширяева в региональных сводках новых видов [5]. В последнее время в базе данных GBIF появляется много информации о ксилотрофных грибах, собранных на территории Магаданской области. Х. Котиранта (Heikki Kotiranta) выкладывает афилофороидные виды по сборам российско-скандинавской транссибирской микологической экспедиции 1995 г. в Финский информационный центр по биоразнообразию (Finnish Biodiversity Information Facility). Грибы хранятся в его персональной коллекции (HK). Виды с ресупинатными базидиомами значительно расширили список базидиальных макромицетов региона.

Немногочисленные виды агарикоидных грибов включены в GBIF из сборов 1995 г. Г. Ларсена (Gary Larsen) в окрестностях г. Магадана. Образцы хранятся в Гербарии Вашингтонского университета (WTU – University of Washington Herbarium), многие определены до рода. *Cortinarius hinnuleus* Fr., *Marasmius delicatus* (G.Stev.) E.Horak, *Neolentinus kauffmanii* (A.H.Sm.) Redhead &

Ginns, *Panaeolus moellerianus* Singer ранее отсутствовали в нашей региональной сводке.

Отдельные виды (данные Е. Parmasto, А. Raitviira, К. Wellsa) представлены в Гербарии Института сельскохозяйственных и экологических наук Эстонского университета естественных наук (TAAM Herbarium – Institute of Agricultural and Environmental Sciences of the Estonian University of Life Sciences).

По программе Глобальные почвенные микробиомы (Global soil microbiomes: A new frontline of biome-ecology research) [8] в базе GBIF указано много для Магаданской области видов, выделенных из почвенных проб на основе секвенирования ДНК. Многие виды Liis Tiirmann указывает как cf. (confer), другие обозначены в качестве вида. Как к этому относиться при составлении списка? С одной стороны вид указан, с другой – не подтвержден находками плодовых тел. Этот вопрос возникает каждый раз при выявлении новых видов и их сверкой в базе GBIF. Следует полагать, что виды, подтвержденные наличием базидиом, должны иметь возможность для опубликования с соответствующей ссылкой на имеющийся сиквенс ДНК.

Ниже представлена таблица, которая включает 19 порядков Гербарии, где хранятся образцы. Современное состояние таксономического разнообразия региональной биоты макроскопических базидиальных грибов Магаданской области насчитывает 989 видов. Списки всегда находятся в работе, информация постоянно обновляется, уточняется и пополняется новыми видами.

Таблица 1. Таксономическая структура и гербарные фонды базидиальных макромицетов Магаданской области

Порядок	Число видов	Гербарии
AGARICALES	513	MAG, VLA, SVER(F), YSU BC, YUR, WTU, TAAM, HK
AMYLOCORTICIALES	7	SVER(F), HK
ATHELIALES	8	HK
AURICULARIALES	12	MAG, SVER(F), TAAM, HK
BOLETALES	77	MAG, LE, VLA, SVER(F), YSU BC, WTU
CANTHARELLALES	26	MAG, WTU, HK
CORTICIALES	4	MAG, HK
DACRYMYCETALES	7	MAG, TAAM
FILOBASIDIALES	4	SVER(F)
GEASTRALES	2	MAG, YUR
GLOEOPHYLLALES	5	MAG, SVER(F), HK, WTU
GOMPHALES	10	MAG, SVER(F), WTU
HYMENochaetales	47	MAG, SVER(F), HK, WTU
JAAPIALES	1	SVER(F)
POLYPORALES	114	MAG, SVER(F), HK, TAAM
RUSSULALES	123	MAG, HK, WTU, TAAM
THELEPHORALES	18	MAG, HK, WTU, TAAM
TRECHISPORALES	7	SVER(F), HK
TREMELLALES	4	MAG
ИТОГО: 19	989	

Список литературы

1. Bolshakov S., Kalinina L., Palomozhnykh E. et al. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country- scale checklist of scientific names based on literature data. *Biological Communications*. 2021. V. 66 (4). P. 316–325. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2021.404>
2. Rebriev Yu. A., Bogacheva A. V., Beker H. J. et al. New species of macromycetes for regions of the Russian Far East. 2. Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 5. С. 318–330. DOI: 10.31857/S002636482105007X.
3. Rebriev Yu. A., Bogacheva A. V., Bulakh E. M. et al. New species of macromycetes for regions of the Russian Far East. 3. Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 4. С. 254–263. DOI: 10.31857/S0026364822040080.
4. Rebriev Yu. A., Bogacheva A. V., Bukharova N. V. et al. New species of macromycetes for regions of the Russian Far East. 4. Микология и фитопатология, 2023, том 57, № 4, с. 281–290. DOI: 10.31857/S0026364823040104

5. Rebriev Yu. A., Shiryayev A. G., Kochunova N. A. et al. New species macromycetes for regions of the Russian Far East. 5. Микология и фитопатология, 2024, том 58, № 5. С. 381–390. DOI: 10.31857/S0026364824050063
6. Сазанова Н. А. Макромицеты Магаданской области. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. 196 с.
7. Mukhin V. A., Knudsen H., Kotiranta H. et al. Wood-decaying Basidiomycetes Associated with Dwarf Siberian Pine in North-east Siberia and the Kamchatka Peninsula. The fourth International Scientific Conference on Ecology and Geography of Plants and Plant Communities, KnE Life Sciences. 2018. P. 125–133. DOI 10.18502/cls.v4i7.3230
8. Vasar M., Davison J., Sepp S. et al. Global soil microbiomes: A new frontline of biome- ecology research. *PlutoF*, 2022. Occurrence dataset <https://doi.org/10.1111/geb.13487> accessed via GBIF.org on 2025-04-04

НАХОДКИ ARCHAEO RHIZOMYCETES В МИКОБИОМЕ СТАРОГО ОТВАЛА ФОСФОГИПСА

Широких И. Г.^{1,2}, Боков Н. А.¹, Широких А. А.¹¹ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, Киров²Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

В экологической структуре грибных сообществ в почвах, подвергнутых техногенному воздействию, часто наблюдается высокий удельный вес грибов, относимых к категории симбионтов [1]. На различных стадиях восстановительных сукцессий экосистем, нарушенных разрывом хозяйственной деятельности, формирование межорганизменных связей между грибами и растениями способствует их большей адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды. По мере проведения рекультивационных мероприятий для восстановления, нарушенных в процессе хозяйственного использования земель, долевое участие симбиотических грибов в микобиомах сокращается за счет увеличения представленности грибов-сапротрофов. Экологическая структура грибного сообщества в целом, или отдельная индикаторная группа грибов может быть использована в роли маркера происходящих при техногенных воздействиях трансформаций почвенной экосистемы. Выявление грибов, пригодных в качестве индикатора, с развитием метагеномных подходов, возможно по результатам высокопроизводительного ампликонного секвенирования выделенной из почвы ДНК.

Среди многочисленных линий грибов, известных только по нуклеотидным последовательностям ДНК из окружающей среды, представители класса Archaeorhizomycetes являются одними из наиболее распространенных и космополитичных. Из-за трудности культивирования археорхизомицеты слабо изучены, однако при использовании метагеномного подхода, последовательности, относящиеся к этой группе, выявляются в природных субстратах достаточно часто. Хотя к настоящему времени выделены в культуру и описаны единичные виды этого рода: *Archaeorhizomyces finlayi*, *Archaeorhizomyces borealis* [2, 3] и *Archaeorhizomyces notokirishimae* sp. nov. И *Archaeorhizomyces ryukyuensis* sp. nov. [4], предполагают, что род Archaeorhizomycetes, в результате адаптации к конкретным экосистемам и местам обитания, обладает высоким видовым разнообразием: не менее 250 филотипов [5], образующих с корневой системой растений ассоциации, роль которых в наземных экосистемах остается неясной. Archaeorhizomycetes и эктомикоризные грибы характеризуются близкими экологическими нишами, но, в отличие от последних, никогда не образуют характерных для них структур в природной среде или в лабораторных микроскомах. Сообщалось, что инокулированные Archaeorhizomycetes

саженцы оставались здоровыми в течение нескольких месяцев, что позволило авторам заключить, что эти грибы, по крайней мере, не являются патогенными [2].

Источниками выделения валидированных видов *Archaeorhizomyces finlayi* и *Archaeorhizomyces borealis* послужили ткани кончиков корней хвойных деревьев, два новых вида изолированы в Японии из эрикоидных микоризных корней *Rhododendron*. На территории России нуклеотидные последовательности археорхизомицетов были выявлены при исследовании метагеномов дерново-подзолистой почвы, корней хвойных деревьев, ризосферы и корней орхидеи *Goodyera repens* [6]. Таким образом, ДНК этого рода неоднократно обнаруживалась в корнях эктомикоризных и эрикоидных микоризных растений и связанных с ними субстратах, что дает основание говорить о важной экологической роли этих грибов как симбионтов растений, с не полностью установленным характером связи.

В данном исследовании, при изучении филогенетического разнообразия грибов методом высокопроизводительного ампликонного секвенирования ITS2 в почве зарастающего разнотравьем старого отвала фосфогипса (южное Подмосковье), 2% всех грибных секвенсов (или 6% всех последовательностей, ассоциированных с Ascomycota) составили представители рода Archaeorhizomycetes (Archaeorhizomycetaceae, Archaeorhizomycetes, Taphrinomycotina, Ascomycota).

Для выяснения родства между представленными ASV таксонами археорхизомицетов, выявленными в работе и ранее известными из литературы, был применен филогенетический анализ. Результаты были визуализированы в виде кладограммы максимального правдоподобия с использованием 1000-кратного бутстрэп-теста, основанного на последовательностях, выровненных в соответствии с MAFFT алгоритмом (рис.).

Все три полученные последовательности, депонированные в GenBank под номерами FG3 PV400847 – FG3 PV400849,

составили общую кладу, четко отделенную от других таксонов. Помимо них, в кладу вошли последовательности вида *Archaeorhizomyces ryukyuensis* EF2435(LC761832.1), выделенного из эрикоидных микоризных корней верескового растения в Японии, некультивируемого археорхизомицета OW846601.1, выявленного в почве Среднего Тянь-Шаня (Китай) и последовательность, обнаруженная в корнях *Picea abies*,

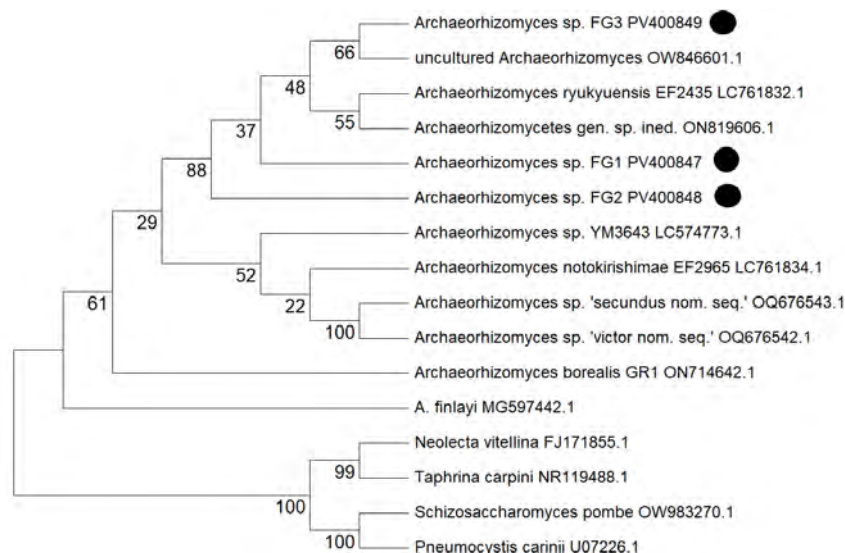


Рисунок 1. Филогения ASV и таксонов археоризомицетов, известных из литературы. Выделены ASV, выявленные в ходе данной работы.

Pinus sylvestris и *Goodyera repens*, произрастающих в Московской области (Россия) [6].

При сравнении с помощью инструмента BLAST полученных в работе сиквенсов с последовательностями, ранее представленными в NCBI, наибольшее сходство (100%) установлено для *Archaeorhizomyces* sp. FG3 PV400849 с некультивируемым археоризомицетом OW846601.1, для сиквенсов FG3 PV400847 и FG3 PV400848 сходство с ним соответственно составило 98,88 и 98,50%. Степень гомологии с последовательностью вида *Archaeorhizomyces ryukyuensis* EF2435(LC761832.1) не превышала 95,24-95,93%, а с сиквенсами *Archaeorhizomyces* ON714642.1, ON819605.1, ON819606.1 и ON819607.1, полученными ранее в Московском регионе, 71, 70, 81 и 64% соответственно. Таким образом, найденные в грибном сообществе старого отвала фосфогипса *Archaeorhizomyces* филогенетически близки между собой, и с некультивируемым археоризомицетом OW846601.1, обнаруженным в горах Среднего Тянь-Шаня.

Более высокое, чем в микобиомах сопряженных почв зонального типа (0-0,02%), доленое присутствие *Archaeorhizomyces* spp. в почве техногенного объекта, хорошо согласуется с высокой долей грибов в этом сообществе, отнесенных автоматическим алгоритмом FUNGuild [7], к экологической категории «сапротроф-симбиотроф». По-видимому, в условиях вторичного фитоценоза, сформированного на техногенно преобразованной почве (техносоли), археоризомицеты могут служить индикатором степени трансформированности почвенной экосистемы.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNWE-2025-0005 Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого и Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5)

Список литературы

1. Roy J., Reichel R., Brüggemann N., Rillig M.C. Functional, not Taxonomic, Composition of Soil Fungi Reestablishes to Pre-mining Initial State After 52 Years of Recultivation. *Microb Ecol.* 2023. V. 86. P. 213–223.
2. Menkis A., Urbina H., James T.Y., Rosling A. *Archaeorhizomyces borealis* sp. nov. and a sequence-based classification of related soil fungal species. *Fungal biology.* 2014. V. 118 (12). P. 943–955.
3. Rosling A., Cox F., Cruz-Martinez K., Ihrmark K., Grelet G.A. et al. *Archaeorhizomycetes*: unearthing an ancient class of ubiquitous soil fungi. *Science.* 2011. V. 333(6044). P. 876–879.
4. Baba T., Hirose D. Two novel *Archaeorhizomyces* species isolated from ericoid mycorrhizal roots and their association with ericaceous plants in vitro. *Fungal Biology.* 2024. V. 128. №. 5. P. 1939–1953.
5. Rosling A., Timling I., Taylor D.L. *Archaeorhizomycetes*: patterns of distribution and abundance in soil. *Genomics of soil- and plant-associated fungi.* 2013. P. 333–349.
6. Bibikov N.M., Voronina E.Y., Kurakov A.V. New Records of *Archaeorhizomycetes* from Russia Revealed by Metagenomic Approach. *Mycology and Phytopathology.* 2023. V. 57. №. 2. P. 79–85.
7. Nguyen N.H., Song Z., Bates S.T., Branco S., Tedersoo L. et al. FUNGuild: an open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild. *Fungal ecol.* 2016. V. 20. P. 241–248.

УТОЧНЕНИЕ В КРАСНЫЕ КНИГИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Шустов М.В.

Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва.

Состояние слоевищ и популяций эпифитного листоватого лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. стали интенсивно изучаться со второй половины XX века в связи с общим сокращением численности и исчезновением данного вида на отдельных участках ареала. К настоящему времени вид находится под угрозой исчезновения во многих странах Европы, Азии и Северной Америки из-за загрязнения атмосферы и уничтожения местообитаний.

В России лишайник *L. pulmonaria* был занесен в Красные книги Российской Федерации (Красная книга

РСФСР, 1988; Красная книга Российской Федерации, 2008), а также 61 субъекта Российской Федерации, в том числе Самарской (Красная книга Самарской области, 2007) и Ульяновской (Красная книга Ульяновской области, 2015) областей.

В центральной части Приволжской возвышенности образцы *L. pulmonaria* были собраны 13. 07. 1945 г. А.М. Семенов-Тянь-Шанской в овраге Малиновый Дол, расположенном в Жигулевском государственном заповеднике на территории современной Самарской области, и определены Е.К. Штукенберг (Семенова Тянь-Шанская

и др., 1991). Данные образцы хранятся в лихенологическом гербарии БИН РАН (LE). А.Н. Гончарова (Гончарова и др., 1978) отмечала, что в 1937 г. данный вид изредка встречался на мхах по главному хребту Жигулей. Следует отметить, что в последующие годы данный вид в Жигулевском заповеднике обнаружен не был, и до настоящего времени вышеуказанные материалы остаются единственным свидетельством того, что лишайник *L. pulmonaria* произрастал на Приволжской возвышенности до середины XX века (Шустов, 1988 а, б, 2002). Сведения о произрастании *L. pulmonaria* в Самарской области были широко использованы в лихенологической литературе, а также при составлении региональных и федеральной Красных книг.

При подготовке Красной книги Российской Федерации (Красная книга Российской Федерации, 2008) автором видовой очерка, посвященного *L. pulmonaria*, была допущена техническая ошибка. В разделе «Распространение», со ссылкой на лихенологический гербарий БИН РАН (LE), была указана Ульяновская область, хотя никаких образцов данного вида, собранных на территории Ульяновской области, не существует. Во время подготовки последнего издания Красной книги Ульяновской области (Красная книга Ульяновской области, 2015) я работал и жил за пределами региона. Представители авторского коллектива издания со мною не связывались. При составлении раздела «Лишайники» были воспроизведены видовые очерки, опубликованные мною в предыдущем издании региональной Красной книги (Красная книга Ульяновской области, 2008), правда с использованием оригинальной систематики. Незвестный автор раздела, посвященного лишайникам, данного издания Красной книги региона постарался исправить возникшую коллизию: в федеральной Красной книге охраняемый лишайник *L. pulmonaria* указан для лихенобиоты области, а в региональной – не отмечен никак. Незвестный автор подошел к решению проблемы творчески – по образцу опубликованных мною видовых очерков был составлен фиктивный очерк, посвященный *L. pulmonaria*, якобы обнаруженной на территории памятника природы «Скрипинские Кучуры». Необходимо подчеркнуть, что на территории Ульяновской области (в том числе в Скрипинских Кучурах) лишайник *L. pulmonaria* обнаружен не был. Для того, чтобы исправить допущенную ошибку и, в тоже время, не усиливать конфликтный потенциал сложившейся ситуации, мною были опубликованы уточненные варианты видовых очерков лишайников, занесенных в Красную

книгу Ульяновской области (Шустов, 2017). В данной статье лишайник *L. pulmonaria* для региона указан не был. Однако, для исправления ошибки этого оказалось недостаточно, появляются публикации, в которых *L. pulmonaria* указывается для территории Ульяновской области, со ссылкой на последнее издание Красной книги региона (Красная книга Ульяновской области, 2015).

Таким образом, в Красной книге Российской Федерации (Красная книга Российской Федерации, 2008) и Красной книге Ульяновской области (Красная книга Ульяновской области, 2015) лишайник *L. pulmonaria* для лихенобиоты области был указан ошибочно. Поскольку в готовящемся издании Красной книги России (после моего обращения к авторскому коллективу) в видовом очерке, посвященном *L. pulmonaria*, будет исключено указание на произрастание вида в Ульяновской области, для окончательного устранения ошибки необходимо в готовящемся издании Красной книги региона исключить очерк, посвященный данному лишайнику.

Список литературы

1. Красная книга РСФСР (растения). 1988. М.: Росагропромиздат: 590 с.
2. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). 2008. М.: Тов-во. научн. изданий КМК: 855 с.
3. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений, лишайников и грибов. Тольятти: ИЭВБ РАН. 2007: 372 с.
4. Красная книга Ульяновской области. М.: Буки Веди. 2015: 550 с.
5. Семенова-Тян-Шанская А.М., Губонина З.П., Мальгина Е.А., Миняев Н.А. 1991. Список лишайников, собранных на территории Жигулевского заповедника в 1945 г.. Самарская Лука: Бюллетень. 1991. № 2. С. 210 – 214.
6. Гончарова А.Н., Золотовский М.В., Плаксина Т.И. Лишайники Жигулевского государственного заповедника. Интродукция, акклиматизация растений и окружающая среда: Межвуз. сб. науч. тр. / Куйбышевский ун-т. Куйбышев, 1978. С. 75 – 85.
7. Шустов М.В. Лишайники Жигулевского государственного заповедника им. И.И. Спрыгина. Бот. журн. 1988 а. Т. 73. №1. С. 75 – 77.
8. Шустов М.В. Лишайники центральной части Приволжской возвышенности. Бот. журн. 1988 б. Т. 73. № 4. С. 522 – 529.
9. Шустов М.В. Лишайники Приволжской возвышенности. Новости сист. низш. раст. СПб.: Наука. 2002. Т. 36. С. 185 – 203.
10. Красная книга Ульяновской области. Ульяновск: «Артишок». 2008: 507 с.
11. Шустов М.В. Очерки лишайников, занесенных в Красную книгу Ульяновской области. Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 2 (2). С. 374 – 392.

ВОЗБУДИТЕЛИ СНЕЖНЫХ ПЛЕСЕНЕЙ В НЕСТАБИЛЬНЫХ ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ И ИХ СИСТЕМАТИКА

Ткаченко О.Б.

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва

Снежными плеснями называются болезни, вызываемые криофильными патогенами, паразитирующими на растениях, активные под снежным покровом (Matsumoto, 2006). Это обычно некоторые грибоподобные организмы (Chromista) отдела оомикота, и настоящие грибы (Fungi) некоторые отделы аскомикота и базидиомикота (Matsumoto, Hsiang, 2006). Снежные плесени являются как облигатными, так и факультативными. У этих возбудителей отмечено четыре способа адаптации к нестабильным условиям холода.

1) Несмотря на то, что у возбудителя факультативной снежной плесени, аскомицета *Microdochium nivale*

(Fr.) Samuels & I.S. Packard нет специфических приемов адаптации к низким температурам, этот грибок, наряду с *M. majus* и *M. seminicola*, являются самыми распространенными в России, благодаря изменению состава жирных кислот, как по количеству, так и по качеству (Tronsmo et al., 2001; Gagkaeva, Orina, Gavrilova, 2020a), что эффективно для поддержания текучести мембран. *M. nivale*, также, в ответ на низкую температуру изменяет свой метаболизм в сторону накопления липидов, а не увеличения ненасыщенных жирных кислот. Кроме того, *Microdochium nivale* внеклеточно выделяет целлюлозу и фруктаны. То же отмечают на геномном уровне и Tvers et al. (2023). Возможно, у *M. seminicola* есть свои спец-

ифические приемы адаптации к холоду, т.к. он является приоритетным возбудителем снежной плесени в Западной Сибири, а еще обнаружен в Альпах и Канаде. Но гриб обнаружен недавно (Gagkaeva, Orina, Andreeva et al., 2020b). Отсутствие специфических механизмов адаптации к холоду объясняет то, что розовая снежная плесень в Полярном климате не обнаруживается.

2) Другой аскомицет *Sclerotinia borealis* Bubák & Vleugel приспособился к зимнему климату за счет осмофилии. Он способен успешно питаться заморозившей питательной средой, в отличие от облигатных возбудителей серой снежной плесени, *Typhula incarnata* Lasch и комплексного вида *T. ishikariensis* I. Imai, рост которых замедляется. А такие грибы, как возбудители снежных плесеней факультативный *M. nivale* и облигатный *Pythium* (*Gloesporangium*) *okanoganense* не растут вовсе (Hoshino, Terami, Tkachenko et al., 2010). Изучение *S. nivalis* показало (I.Saito, O.B.Tkachenko, Sh Runinaga. et al., 2024), что это комплексный вид, и состоит из трех разновидностей: *Sclerotinia borealis* var. *borealis* Bubák & Vleugel (склеротиния снежная), var. *subarctica* I. Saito & O.B. Tkachenko (склеротиния субарктическая) и var. *okhotskana* I. Saito & O.B. Tkachenko (склеротиния охотская). Несмотря на то, что *S. borealis* var. *borealis* в основном поражает посевы хлебных злаков и др. культурные растения, в том числе старые листья of Iridaceae, такие как *Iris* spp. и Amaryllidaceae, такие как лук-батун *Allium fistulosum* L., старых листьев двудольных *Brassica* spp. и *Campanula portenschlagiana* Schult., а также сеянцы сосны первого года (*Pinus sylvestris* L.), гриб отмечен и на диких злаковых растений и на арктическом острове Свальбард. Остальные разновидности (var. *subarctica* и var. *okhotskana*) находили только на диких растениях в арктической зоне. Так, var. *subarctica* был отмечен на Rosaceae в Гренландии, на Камчатке и в Магадане, на осоке шаровидной *Carex globularis* L. в Магадане и *Deschampsia alpine* в Гренландии. Var. *okhotskana* отмечена только у Охотского моря на Камчатке и Магадане на старых листьях *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*, в Магадане, на чесноке (*Allium sativa* L.) и, развивающийся как сапротроф, на опавших листьях *Rubus* sp.

3) Наиболее часто биологические организмы против холода используют антифризные белки (AFP или АФП – антифризные протеины), позволяющие замедлить образование льда в клетке (гистерезис) и придать ему формы, не разрывающие клетки. Антифризные белки отмечены у костистых рыб, членистоногих, круглых червей, растений, бактерий и четырех видов грибов: арктического актиномицета *Antarctomyces psychrotrophicus* Stchigel & Guarro, и базидиомицетов японского гриба суппонуке (*Athelia* sp.), американского возбудителя пушистой снежной плесени (cotton snow mold) *Coprinopsis psychromorbida* (Redhead & Traquair) Redhead, Vilgalys & Moncalvo и возбудителя крапчатой снежной плесени *Typhula ishikariensis* (Bildanova et al., 2012; Hoshino et al., 2022)

Комплексный вид *Typhula ishikariensis*, впервые описанный С. Имаи (Imai, 1930), много раз описывался под различными названиями на разных растениях-хозяевах (Ekstrand, 1955; Remsberg, 1940; Gulaev, 1948; Kuznetzova, 1953; Årsvoll, Smith, 1978; Matsumoto, Tajimi, 1988; 1996). Е.Г. Потатосова, на основании морфологических особенностей, отнесла виды *T. graminearum* Gulaev и *T. humulina* Kuzn. к синонимам *T. idahoensis* Remsberg (Potatosova, 1960). Н. Мацумото сначала на японском (Matsumoto, 1997), потом на английском языке (Matsumoto et al., 2001) разделил *T. ishikariensis*

на два вида: *T. ishikariensis* species I и *T. ishikariensis* species II. В настоящее время проведена таксономическая ревизия комплексного *T. ishikariensis*. *T. ishikariensis* и близкие виды разделены на три биологических вида как по морфологическим и физиологическим характеристикам, так и по результатам секвенирования ДНК и реакций по скрещиванию изолятов (Hoshino et al., 2022). Были выделены 2 новых вида *T. canadensis* sp. nov. и *T. hyperborea* sp. nov., и две разновидности *T. ishikariensis*: *Typhula ishikariensis* var. *ishikariensis* S. Imai и *Typhula ishikariensis* var. *idahoensis* (Remsberg) Årsvoll & J.D. Sm. На побережье Антарктики на острове Короля Георга на мхе *Polytrichum juniperinum* Hedw. был описан новый возбудитель снежной плесени *Typhula* cf. *subvariabilis* (Yajima et al., 2017).

4) Грибоподобные оомицеты, вызывающие снежную плесень рода *Globisporangium* (*Pythium*) не проходят тест замораживание/оттаивание на психрофильность. Тем не менее, грибы *Pythium* spp. широко отмечены в полярных районах на траве луговика антарктического *Deschampsia antarctica* E.Desv. (Bridge et al., 2008) и мхах *Sanionia incinata* Hedw., *Calliergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Kindb. и *Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loevisky (Hoshino et al., 2001). *Pythium ultimum* var. *ultimum* отмечен на прибрежных мхах на острове Свальбард (Hoshino et al., 1999). Изоляты неопisanного гетероталлического гриба *Pythium* spp. постоянно регистрировали в обоих полярных регионах, включая острова Аделаиды, Скромного (Humble) и Короля Георга в Антарктике (Hughes et al., 2003; Bridge et al., 2008; Arenz, Blanchette, 2011) и островах Шпицберген, Гренландия, альпийская Норвегия и Баффинова Земля в Арктике (Hoshino et al., 2000; Hoshino et al., 2006; Tojo et al., 2001). Как в Арктике, так и Антарктике описан гетероталлический оомицет, вызывающий побурение мха *S. incinata* (Tojo et al., 2012, 2021). Было выдвинуто предположение, что гриб сохраняет жизнеспособность в тканях хозяина-криопротектанта (Hoshino et al., 2013), затем оно было доказано (Murakami et al., 2015).

Список литературы

1. Matsumoto N. Snow molds: a group of fungi that prevail under snow. *Microbes Environ.* 2009. V. 24 (1). P. 14-20.
2. Matsumoto N., Hsiang T. Snow Mold. The Battle Under Snow Between Fungal Pathogens and Their Hosts. Singapore: Springer Science + Business Media, 2016.
3. Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Gavrilova O.P. et al. Evidence of Microdochium Fungi Associated with Cereal Grains in Russia. *Microorganisms*. 2020a. Vol. 8. 340 Gagkaeva T., Orina A., Gavrilova O. Biodiversity of Microdochium Fungi Occurring on Small Grain Cereals in Russia. *Mikologiya i Fitopatologiya*. 2020b. V. 54 (5). P. 347-364.
4. Tsers I., Marenina E., Meshcherov A. et al. First genome-scale insights into the virulence of the snow mold causal fungus *Microdochium nivale*. *IMA Fungus*. 2023. V. 14 (2). P. 1-20.
5. Hoshino T., Terami F., Tkachenko O.B. et al. Mycelial growth of the snow mold fungus, *Sclerotinia borealis*, improved at low water potentials: An adaption to frozen environment. *Mycoscience*. 2010. V. 51 (2). P. 98-103.
6. Saito I., Tkachenko O.B., Runinaga Sh. et al. *Sclerotinia borealis* and its varieties, var. *subarctica* var. nov. and var. *okhotskana*, var. nov. *Mycoscience*. 2024. V. 65 (6). P. 317-327.
7. Imai S. On the Clavariaceae in Japan. *Trans. Sapporo Nat. Hist. Soc.* 1930. V. 11(1), 70-77.
8. Ekstrand, 1955; Höstsädens och vallgränsens övervintring. *Statens Växtskyddsanstalt Meddelande* 67, 1-125.
9. Remsberg R.E. Studies in the genus *Typhula*. *Mycologia*. 1940.32, 52-96.
10. Gulaev V.V. Damping off of pine seedlings in forest nurseries. *Proceedings Forestry Tatar Forest Experimental Station, Kazan*. 1948. V. 9. P. 44-49. (in Russ.);
11. Kuznetzova A.P. A new species of the fungus *Typhula humulina* A. Kuzn. on the underground stems of hops. *Botanical materials of the Spore Plant Department of the Botanical Institute of*

the USSR Academy of Sciences. Leningrad. 1953. V. 9. P. 143-145. (in Russ.)

12. Årsvoll K., Smith J.D. *Typhula ishikariensis* and its varieties, var. *idahoensis* comb.nov. and var. *canadensis* comb. nov. Can. J. Bot. 1978. V. 56. P. 348-364.

13. Matsumoto N., Tajimi A. Life history strategy in *Typhula incarnata* and *T. ishikariensis* biotypes A, B, and C as determined by sclerotium production. Can. J. Bot. 1988. V. 66 (12). P. 2485-2490.

14. Yajima Yu., Nojo M., Chen B., Hoshino T. *Typhula cf. subvariabilis*, a new snow mould in Antarctica. Mycology. 2017. V. 107. P. 147-153.

15. Bildanova L.L., Salina E.A., Shumny V.K. The main properties and evolutionary features of antifreeze proteins. Vavilov Journal of Genetic and Breeding. 2012. V. 16 (1). P. 250-270. (In Russ., Engl. abstr.)

16. Hoshino T., Tkachenko O.B., Tojo M. et al. Taxonomic revision of the *Typhula ishikariensis* complex. Mycoscience. 2022. V. 63 (3). P. 118-130.

17. Bridge P.D., Newsham K.K., Denton G.J. Snow mould caused by a *Pythium* sp.: a potential vascular plant pathogen in the maritime Antarctic. Plant Pathology. 2008. V. 57(6). P. 1066-1072.

18. Hoshino T., Tojo M., Kanda H. et al. Ecological role of fungal infections of moss carpet in Svalbard. Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue. 2001. V. 54. P. 507-513.

19. Hoshino T., Tojo M., Tronsmo A.M. *Pythium* blight of moss colonies (*Sanionia uncinata*) in Finmark. Polarflokken. 2000. V. 24. P. 161-164.

20. Hoshino, T., Tojo, M., & Yomoto, I. Blight of moss caused by *Pythium* sp. in Greenland. Danish Polar Center/Museum Tusculanum Press. 2006.

21. Tojo M., van West P., Hoshino T. et al. *Pythium polare*, a new heterothallic oomycete causing brown discoloration of *Sanionia uncinata* in the Arctic and Antarctic. Fungal Biology. 2012. V. 116 (7). P. 756-68.

22. Tojo M., Fujii N., Hironori Y. et al. Identification and Isolation Pattern of *Globisporangium* spp. from a *Sanionia* Moss Colony in Ny-Ålesund, Spitsbergen Is., Norway from 2006 to 2018. Microorganisms. 2021. V. 9 (9):1912. Hoshino T., Xiao N., Yadjima Y. et al. Ecological Strategies of Snow Molds to Tolerate Freezing Stress. In: R. Imai, M. Yoshida, N. Matsumoto (eds.). Plant and Microbe Adaptations to Cold in a Changing World. New York, NY: Springer. 2013.

23. Murakami R., Yajima Y., Kida K.-I et al. Surviving freezing in plant tissues by oomycetous snow molds. Cryobiology. 2015. V. 70. P. 208-210.

АФИЛЛОФОРОИДНЫЕ (ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ) ГРИБЫ В СОСТАВЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЛАГЕРЯ КЕНОЗЕРЬЯ

Заводовский П.Г.

СОШ № 9 им. И.С. Фрадкина, Петрозаводск

Кенозерский национальный парк образован во исполнение Постановления Правительства Российской Федерации 28 декабря 1991 года. Территория Парка представляет собой природный и историко-культурный комплекс площадью 139,6 тыс. га. Кенозерский парк расположен в юго-западной части Архангельской области на стыке Плесецкого и Каргопольского административных районов, его западная граница проходит по границе с Республикой Карелия. По конфигурации территория Парка — вытянутый в меридиональном направлении многоугольник. Максимальное расстояние с юга на север — 72 км, с запада на восток — 27 км.

Кенозерский национальный парк — особо охраняемая природная территория — является эталонной системой исторической среды обитания человека, объектом, сохранившим многовековую историю и культуру Русского Севера. Свидетельство этому — сохранившиеся природные комплексы и объекты, многочисленные памятники материальной и духовной культуры, архитектуры, монументальной живописи, иконописи, археологии, богатый этнографический материал. Историческая память населения придает этим местам глубокое духовное содержание. В 2024 г. Кенозерский парк получил статус объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО [9].

Экологический лагерь Кенозерья (ЭЛК) расположен в самом живописном месте Кенозерского национального парка — деревне Масельга, в 80 км от старинного города Каргополя, в окружении соснового бора и красивейших озер. Это одно из немногих мест в России, где до сих пор сохранилось удивительное сочетание нетронутой природы, уникальной культуры Древней Руси и живых национальных традиций Русского Севера. Экологический лагерь Кенозерья — это не просто лагерь отдыха, это сочетание учебно-исследовательской деятельности с практической природоохранной деятельностью, приобретение туристских навыков и знакомство с традиционными народными промыслами и ремеслами [9].

Первые исследования афиллофороидных грибов на территории Кенозерского национального парка были

проведены О.Н. Ежовым в период с 14 по 19 июля 2014 г. в окрестности озер Лекшмозеро, Масельское и Вильнозеро и с 8 по 16 июля 2015 г. в окрестностях озер Кенозеро, Лекшмозеро, Масельское и Вильнозеро, а также в окрестностях троп Предков, Муравьев и избы «Охотничья заимка». В результате его сборов на территории Кенозерского национального парка было отмечено 107 видов афиллофороидных грибов, относящимися к 63 родам, 32 семействам и 17 порядкам базидиомицетов [7].

В результате дальнейших исследований О.Н. Ежова и Р.В. Ершова на территории Архангельской области было зарегистрировано 590 видов афиллофоровых грибов. Наибольшее число видов отмечено для заповедника «Пинежский» (337 видов), архипелаг Соловецкий — 310 видов, Плесецкий район (Емцовский учебно-опытный лесхоз, окрестности ж/д станции Шелекса) — 279 видов, Шенкурский район — 273 и национальный парк «Кенозерский» — 194 вида [5,6,8].

Опубликованные сведения об афиллофороидных грибах имеются в настоящее время для каждого из 51 административного региона европейской части России. Медианное число видов для всех регионов — 274. Распределение видов, известных для этих регионов, крайне неравномерно. Наиболее изученными регионами, для которых опубликовано более 400 видов, являются Свердловская область — 952 вида, Ленинградская область — 824 вида, Архангельская область — 665, Республика Карелия — 626, Нижегородская область — 607, Республика Коми — 553, Санкт-Петербург — 490, Тверская область — 487, Орловская область — 481, Мурманская область — 479, Пермский край — 462. [1,2].

В результате наших исследований в августе 2024 г. были проведены микологические исследования лесных экосистем вблизи Экологического лагеря Кенозерья (ЭЛК) и деревне Масельга. Также были обследованы лесные экосистемы вблизи оз. Белое, экологическая тропа Предков, оз. Наглимозеро. Лесные экосистемы вблизи Экологического лагеря Кенозерья (ЭЛК) подвергаются

антропогенному влиянию и представлены березняками злаково-брусничными, осинниками, ельниками черничными и сосняками брусничными. В результате предварительных исследований была собрана коллекция из 65 видов афиллофороидных грибов.

Идентификация видов афиллофороидных грибов проводилась по определителям [3,4]. Ведущими по числу семейств являются порядки Stereales, Cantharellales, Hericiales, Thelephorales и Poriales.

По числу родов ведущими являются порядки Poriales, Stereales, Thelephorales, Hymenochaetales, Cantharellales и Hericiales. Преобладающими по числу видов являются порядки Poriales, Stereales, Hymenochaetales, Thelephorales и Cantharellales.

Самыми крупными родами по числу видов являются: *Phellinus*, *Antrodia*, *Oligoporus*, *Polyporus*, *Skeletocutis*, *Trametes*, *Tomentella* и *Ceriporiopsis*. На их долю приходится 35,2 % от общего количества видов. Остальные рода представлены 1–4 видами. Родовой коэффициент, определяющий отношение числа видов к числу родов, составляет 2,1.

Высокая видовая насыщенность таких типично бореальных родов, как *Antrodia*, *Oligoporus* и *Skeletocutis* свидетельствует о бореальных чертах биоты афиллофороидных грибов в лесных экосистемах Экологического лагеря Кенозерья (ЭЛК). На территории района исследований зарегистрировано 3 индикаторных видов для очень старых еловых и сосновых лесов (*Amylocystis lapponica*, *Phlebia centrifuga*, *Fomitopsis rosea*). Следует отметить, что проведенные исследования являются предварительными и в результате дальнейшего изучения территории Экологического лагеря Кенозерья (ЭЛК) список видов афиллофороидных грибов может быть расширен. Плодовые тела собранных грибов помещены в гербарий кабинета биологии МОУ «Средняя школа № 9 им. И.С. Фрадкина» и активно используются в качестве наглядных экспонатов на уроках биологии для школьников согласно системно-деятельностному подходу в образовании в соответствии с ФГОС. Автор выражает большую благодарность администрации и руководству НП «Кенозерский» за возможность проведения мико-

логических исследований на территории Экологического лагеря Кенозерья (ЭЛК): директору А.В. Яковлевой, заместителю директора по научной работе и экологической безопасности А.А. Копытову, начальнику отдела экопросвещения Н. А. Милюеву, методисту А.Д. Швецу.

Список литературы

1. Афиллофороидные грибы европейской части России: аннотированный список видов. Отв. ред. С. Ю. Большаков, С. В. Волобуев. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. 578 с.
2. Большаков С. Ю., Волобуев С. В., Ежов О. Н., Потапов К. О. Чек-лист афиллофороидных грибов Европейской части России: первые результаты // Современная микология в России. Том 6. М.: Национальная академия микология, 2017. С. 120–122.
3. Бондарцева М.А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые; Вып. 2: Семейства альбатрелловые, апорпиевые, болетопсиевые, бондарцевиевые, ганодермовые, кортициевые (виды с порообразным гименофором), лахнокладиевые (виды с трубчатым гименофором), полипоровые (роды с трубчатым гименофором), пориевые, ригидопоровые, феоловые, фистулиновые. СПб.: Наука, 1998. 391 с.
4. Бондарцева М.А., Пармасто Э.Х. Определитель грибов СССР. Порядок Афиллофоровые. Вып. 1: Семейства гименохетовые, лахнокладиевые, кониофоровые, щелелистниковые. Л.: Наука, 1986. 192 с.
5. Ежов О. Н., Руоколайнен А. В. Видовое разнообразие афиллофоровых грибов Валаамского и Соловецкого архипелагов (Архангельская область, Республика Карелия) // Труды Карельского НЦ РАН. 2016. № 1. С. 68–83.
6. Ежов О.Н. Афиллофоровые грибы Архангельской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 276 с.
7. Ежов О.Н. Видовое разнообразие афиллофоровых грибов на территории Кенозерского национального парка // Кенозерские чтения – 2015: «Заповеданное Кенозерье: природа, культура, человек»: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции: [18+] / М-во природ. ресурсов и экологии РФ, Делегация Европ. Союза в РФ, ФГБУ «Нац. парк Кенозерский»; [отв. ред. Е. Ф. Шатковская; сост.: М. Н. Мелютин]. – Архангельск, 2016. – С.9–15.
8. Ежов О.Н., Ершов Р.В. Микологические исследования на территории Архангельской области // Вклад особо охраняемых территорий Архангельской области в сохранение природного и культурного наследия // Материалы докладов межрегиональной конференции (21–23 ноября 2017 г.) / Отв. ред. к.б.н. Ежов О.Н. ФИЦКИА РАН. Архангельск, 2017. С. 102–106.
9. Кенозерские чтения – 2023. Ландшафт человека: исследование Русского Севера на перекрестке наук: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции / сост. М.Н. Мелютин, А.А. Бильченко; отв. ред. А.В. Яковлева; ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский». – Архангельск, 2024. – 532 с.

МИКОЛОГИЧЕСКИЙ ГЕРБАРИЙ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.Л.КОМАРОВА РАН (LE F) – ОДНО ИЗ КРУПНЕЙШИХ ХРАНИЛИЩ ЛИХЕНОФИЛЬНЫХ ГРИБОВ, ГДЕ ПРЕДСТАВЛЕНА ТРЕТЬ ИХ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ

Журбенко М.П., Паломоных Е.А., Калинина Л.Б.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова (БИН РАН), Санкт-Петербург

Лихенофильные грибы – крупная экологическая группа грибов, облигатно обитающих на лишайниках. К настоящему времени известно около 2500 видов этих грибов из 10 классов Ascomycota и Basidiomycota (Diederich et al. 2018, с учетом последующих публикаций), что составляет около 1.5% от всех известных видов грибов (Hyde 2022).

Ваучерные образцы являются основой практически любого научного исследования живых организмов, включая грибы (Agerer et al. 2000). Ваучерные образцы лихенофильных грибов как правило хранятся в виде высушенных гербарных образцов. В Микологическом гербарии Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (LE F) хранится 6123 образца лихенофильных грибов, что ставит его в один ряд с такими крупнейшими

мировыми коллекциями этой группы грибов как гербарии Museum of Evolution, Uppsala University (UPS), около 7750 образцов (личное сообщение М. Westberg, март 2025); Meise Botanic Garden (BR), около 5000 образцов (личное сообщение Р. Diederich, март 2025); Botanische Staatssammlung München (M), около 3800 образцов (About «The Collection of Lichenicolous Fungi at the Botanische Staatssammlung München». 2025); Natural History Museum and Botanical Garden, University of Tartu (TUF), 2278 образцов (личное сообщение А. Suija, март 2025); а также частный гербарий W. v. Brackel, около 4600 образцов (личное сообщение W. v. Brackel, март 2025).

Гербарий LE F включает образцы 745 видов из 210 родов лихенофильных грибов, что охватывает примерно треть видового разнообразия (рис. 1) и примерно

половину родового разнообразия данной группы грибов (Diederich et al. 2018, с учетом последующих публикаций). В гербарии LE F содержатся голотипы, изотипы и неотипы 139 видов лихенофильных грибов, что составляет около 6% от общего числа их видов.

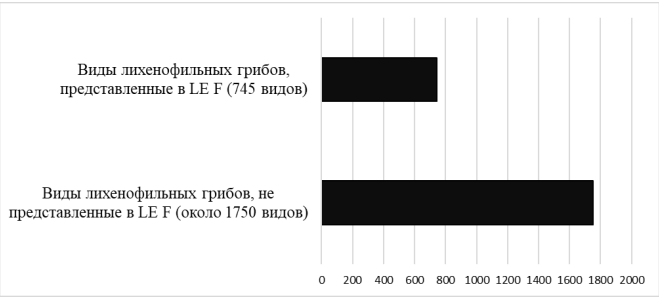


Рисунок 1. Представленность видов лихенофильных грибов в гербарии LE F.

Образцы лихенофильных грибов, хранящиеся в гербарии LE F были собраны в период с 1851 по 2024 гг. Самым старым является образец анаморфы *Pronectria robergei* (Mont. & Desm.) Lowen из гербария С. И. Коржинского, известной в то время как *Illosporium coccineum* Fr. Большинство (73%) образцов было собрано начиная с середины 1990-х гг. (рис. 2), когда было начато целенаправленное изучение этой группы грибов в Российской Федерации (Zhurbenko & Santesson 1996).

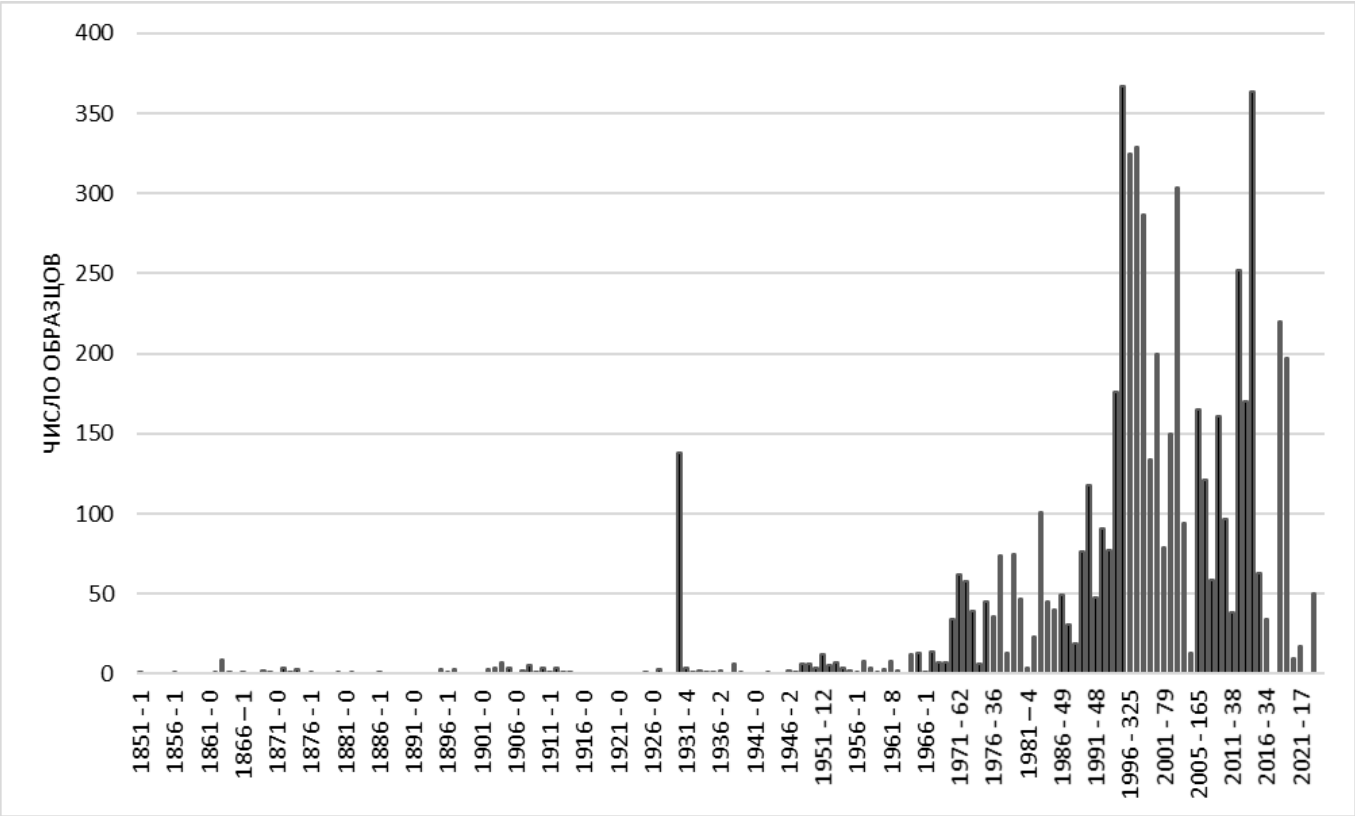


Рисунок 2. Динамика сбора образцов лихенофильных грибов, представленных в гербарии LE F.

Список литературы

1. Diederich P., Lawrey J.D. & D. Ertz. 2018. The 2018 classification and checklist of lichenicolous fungi, with 2000 non-lichenized, obligately lichenicolous taxa. The Bryologist 121: 340–425.
2. Hyde K.D. 2022. The number of fungi. Fungal Diversity 114:1.
3. Agerer R., Ammirati J., Blanz P. et al. 2000. Always deposit voucher specimens. Open letter to the scientific community of mycologists. Nova Hedwigia 71(3–4): 539–543.
4. About “The Collection of Lichenicolous Fungi at the Botanische Staatssammlung München”. Available from <https://www.botanischestaatssammlung.de/DatabaseClients/BSMlichfungicoll/> About.cfm. Accessed 30.03.2025.

Наибольшее число образцов лихенофильных грибов в гербарии LE F было собрано на территории из Российской Федерации (4311 образцов, 70% от общего числа), однако здесь также есть образцы еще из 33 стран, наиболее представленными из которых являются Монголия (419 образцов, 7%), США (371 образец, 6%), Канада (246 образцов, 4%), и Норвегия (150 образцов, 2%). Основными из 364 коллекторов образцов являются М. П. Журбенко (3057 образцов, 50% от общего числа), И. И. Макарова (335 образцов, 5%), Н. В. Матвеева (199 образцов, 3%), Д. Е. Гимельбрант (157 образцов, 3%), и В. П. Савич (130 образцов, 2%).

Достаточная репрезентативность выборки образцов лихенофильных грибов в гербарии LE F позволила сделать крупные обобщения, такие как чек-листы лихенофильных грибов России (Zhurbenko 2007) и Монголии (Zhurbenko et al. 2019), а также аннотированный каталог лихенофильных грибов Российской Метаарктики (Zhurbenko 2025). В последней работе, на основе 2448 проанализированных образцов, в частности, впервые показано, что в Арктике соотношение числа видов лихенофильных грибов к числу видов лишайников-хозяев гораздо выше, чем в мире в целом, и равно 0.3 и 0.1 соответственно. Материалы гербария LE F также являются важным источником информации при работе над мировой Флорой лихенофильных грибов (Diederich et al. 2024).

5. Zhurbenko M.P. & R. Santesson. 1996. Lichenicolous fungi from the Russian Arctic. Herzogia 12: 147–161.
6. Zhurbenko M.P. 2007. The lichenicolous fungi of Russia: geographical overview and a first checklist. Mycologia Balcanica 4: 105–124.
7. Zhurbenko M.P., Enkhtuya O. & S. Javkhlan. 2019. A first synopsis of lichenicolous fungi of Mongolia, with the description of five new species. Plant and Fungal Systematics 64(2): 345–366.
8. Zhurbenko M.P. 2025. Lichenicolous fungi of the Russian Meta-arctic: Detectability, regional activity, and an annotated catalogue. Opuscula Philolichenum 24: 8–114.
9. Diederich P., Ertz D. & U. Braun. 2024. Flora of Lichenicolous Fungi, Vol. 2, Hyphomycetes. National Museum of Natural History, Luxembourg, 544 pp.

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Current Mycology in Russia

Том 11

Выпуск 4.

Паразитизм и симбиоз

Глава 7.

**Взаимоотношения грибов,
бактерий, животных и растений.
Микориза**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.07

Volume 11

Issue 4.

**Fungal parasitism
and symbiosis**

Chapter 7.

**Fungal relations to bacteria,
animals and plants.
Mycorrhiza**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.07

Содержание выпуска 4

Глава 7. Взаимоотношения грибов, бактерий, животных и растений. Микориза

АНТАГОНИСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С МУРАВЬЯМИ <i>LASIUS NIGER</i>	
Алексеева П.А., Иванова А.Е., Закалюкина Ю.В., Бочков Д.А.	150
ЭНДОФИТНЫЕ ГРИБЫ ИНВАЗИВНОГО РАСТЕНИЯ <i>SOLIDAGO CANADENSIS</i>	
Антропов Д.О., Стрембицкая А.Д., Кирсанов Н.И., Малыгин Д.М., Сокорнова С.В.	151
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПО БЛАСТОСПОРАМ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ НОВОГО ДЛЯ РОССИИ ВИДА <i>AKANTHOMYCES UREDINOPHILUS</i> (HYPOCREALES, CORDYCIPITACEAE)	
Черепанова М.А., Судариков В.Г., Митина Г.В., Чоглокова А.А.	152
<i>TRICHODERMA AGGRESSIVUM</i> И ФЕНОМЕН КРУГОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ВЫШИМИ ГРИБАМИ	
Филиппова И.А., Разин А.А., Юшкевич Т.В.	153
ЛИЧИНКИ <i>TENEBRIO MOLITOR</i> (COLEOPTERA) КАК АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ХОСТ-МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВИРУЛЕНТНОСТИ ШТАММОВ ПАТОГЕННЫХ ДРОЖЖЕЙ (НА ПРИМЕРЕ <i>ARXIOZYMA BOVINA</i>)	
Глушакова А.М., Родионова Е.Н., Качалкин А.В.	155
ПРОБЛЕМА АДАПТАЦИИ МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ АГАРИКОМИЦЕТОВ К НОВЫМ МЕСТООБИТАНИЯМ В КОНЦЕ XX И НАЧАЛЕ XXI ВВ.	
Иванов А.И., Потапов К.О.	156
ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ НЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СИМБИОНТОВ КРАСНОГО ТРЮФЕЛЯ <i>TUBER EXCAVATUM</i>	
Малыгина Е.В., Имидоева Н.А., Вавилина Т.Н., Бельшенко А.Ю., Дмитриева М.Е., Моргунова М.М., Аксенов-Грибанов Д.В.	158
О РЕЗУЛЬТАТАХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ НЕКОТОРЫХ ЛИШАЙНИКОВ С РАЗНОЙ АНТРОПОТОЛЕРАНТНОСТЬЮ	
Мейсурова А.Ф., Нотов А.А., Скрыпник Л.Н.	158
АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИИ <i>PANDOREA</i> SP. ПРОТИВ РЕЗИСТЕНТНЫХ ПОЛУЛЯЦИЙ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ И ФИТОПАТОГЕНОВ	
Савицкий С.А., Волынчикова Е.А.	160
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБОВ <i>HIRSUTELLA THOMPSONII</i>	
Саврасов Е.С., Минаков Д.В., Пикаревская Е.Г.	161
ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭНТОМОПАТОГЕННОГО ГИФОМИЦЕТА <i>LECANICILLIUM LECANII</i> R. ZARE & W. GAMS	
Щербакова Т.И.	164
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ <i>RAECIOMYCES FUMOSOROSEUS</i> 16Б-ОК В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ	
Скачкова А.Д., Козлов А.В.	166
КОЛЛЕКЦИЯ ГРИБОВ АРБУСКУЛЯРНОЙ МИКОРИЗЫ: ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ МЕХАНИЗМОВ ИХ СИМБИОТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	
Юрков А.П.	167

Глава 7

Взаимоотношения грибов, бактерий, животных и растений. Микориза

10.14427/cmr.2025.xi.07

АНТАГОНИСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С МУРАВЬЯМИ *LASIUS NIGER*

Алексеева П.А., Иванова А.Е., Закалюкина Ю.В., Бочков Д.А.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Факультет почвоведения, Москва, Россия

Изучение сообществ мицелиальных организмов, ассоциированных с муравьями, представляет большой интерес с точки зрения их многообразия и проявления антагонистической активности, а также для создания коллекции культур, являющихся возможными продуцентами антибиотиков. В симбиозе с насекомыми мицелиальные организмы, продуцируя физиологически активные вещества, защищают хозяина или его пищевые ресурсы от энтомопатогенных микроорганизмов. Подобные взаимоотношения представляют интерес для расширения знаний о биотических связях между организмами, а также для поиска перспективных метаболитов.

Целью исследования являлся анализ особенностей таксономического и функционального разнообразия мицелиальных организмов (микроскопических грибов и актиномицетов). Объектами исследования были почвообитающие муравьи *Lasius niger*, материалы надземных частей их гнезд, контрольные образцы верхнего горизонта почвы, расположенной на участке злаково-разнотравного луга (Новгородская область, Парфинский р-он), и выделенные из них мицелиальные организмы. В задачи исследования входила оценка особенностей разнообразия и численности культивируемых мицелиальных бактерий и микромицетов в муравьях и муравейниках *Lasius niger* по сравнению с окружающей почвой. А также анализ антибиотического потенциала мицелиальных организмов, выделенных из муравьев и муравейников, по отношению к тест-организмам методом диффузии в агар, анализ чувствительности выделенных микромицетов к антимикотическим препаратам широкого спектра действия и анализ взаимного антагонизма между штаммами актиномицетов и микромицетов, выделенными из различных локусов и проявлявшими антибиотическую активность по отношению к тест-организмам. Идентификацию видов микромицетов осуществляли по культурально-морфологическим признакам и на основании молекулярных последовательностей ITS-региона рДНК и ряда других локусов, рекомендованных для конкретных родов грибов.

По результатам исследования было выявлено, что муравьи *L. niger* являются особым местообитанием мицелиальных организмов: на одну рабочую особь приходится, в среднем, 100 КОЕ микромицетов, что в пересчете на 1 г живых особей составляет 25 тыс. КОЕ/г и до 4 раз меньше, чем КОЕ актиномицетов. Приуроченность микромицетов к определенному отделу тела муравья не отмечена. Сравнительный анализ численности грибных КОЕ показал, что в материале гнезд их содержится в 2,2 раза больше, чем в окружающей почве. При этом сходство по набору выявленных видов микромицетов составило 7 совместных видов, то есть всего 9% от суммарного выявленного разнообразия,

что показывает принципиальное отличие муравьиных гнезд от окружающей почвы. Показано, что состав сообществ микромицетов может существенно различаться в муравьях, материале их гнезд и окружающей почве, число общих видов во всех трех локусах составляет всего 2,2%.

Важно отметить, что только в материале муравейников был выявлен как типичный (встречаемость от 30 до 60% образцов) вид *Penicillium camponoti*, который исходно был выделен и описан из местообитания другого вида муравьев – *Camponotus pennsylvanicus*. Наша находка подтверждает его приуроченность именно к муравьиным местообитаниям. Так, возможно, данные о высокой частоте присутствия вида микромицета *Penicillium camponoti* в материале муравейников другого вида муравьев можно воспринимать как возможность использовать этот вид как индикатор на муравьиные местообитания. При этом данный вид не проявил антибиотической активности в отношении тест-культур: штаммов грамположительных бактерий – вида *Bacillus: Bacillus thuringiensis* VKPM B6650, *Paenibacillus alvei* VKM B502 и штаммов: *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptomyces antimycoticus* GF44-1, *Staphylococcus aureus* MRSA, грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* dtolC, *E. coli* lptD, а также в отношении дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae*.

Среди отобранных в рабочую коллекцию 117 штаммов микромицетов, принадлежащих к 89 видам, антагонистическая активность к тест культурам бактерий выявлена у 50 (43%) штаммов. Установлено, что наиболее активными являются штаммы, выделенные из самих муравьев, среди них доля активных составляет 64%, тогда как в числе штаммов, выделенных из материала муравейников, доля активных штаммов – 47%. Среди штаммов микромицетов стоит выделить *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *Fusarium commune*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, *Fusicolla aquaeductuum*, *Penicillium expansum*, *P. clavigerum*, *P. rubens*, *P. olsonii*, *P. trzebinskii*, *P. scabrosum*, *P. polonicum*, *P. crustosum*, *P. brasilianum*, *P. skrjabinii*, *P. onobense*, *Purpureocillium lilacinum*, *Talaromyces kabodanensis*, *T. kendrickii* и *Trichoderma hamatum* как наиболее сильных антагонистов в отношении бактерий на основании ширины зоны задержки роста тест-организма.

Показана высокая устойчивость микромицетов из местообитания муравьев к различным антимикотикам широкого спектра действия. Всего 19% штаммов проявляли чувствительность к нистатину (80 мкг) и 5% к клотримазолу (40 мкг). Определена устойчивость всех штаммов к амфотерицину В (10 мкг).

Установлено, что в наибольшей степени взаимный антагонизм проявляется между штаммами микроорганизмов из разных локусов («муравей-почва»). В то же время для микроорганизмов, изолированных из оди-

наковых локусов («муравей-муравей» или «почва-почва»), наблюдается отсутствие или сравнительно низкая выраженность взаимного антагонизма, что свидетельствует о разграничении эко-ниш – сфер влияния. Такая тенденция также продемонстрирована на примере нескольких видов, штаммы которых были выделены из разных локусов. Показано, что штаммы микромицетов, выделенные из тел муравьев, активно подавляют рост актиномицетов, выделенных из почвы, но не проявляют антагонизма к актиномицетам, выделенным из муравьев, то есть из своего же локуса. И наоборот, штаммы микромицетов, выделенные из почвы, не влияют на актиномицеты, выделенные из почвенного материала, но подавляют рост актиномицетов, выделенных из тел муравьев. При этом есть блок микромицетов, которые не проявляют антагонизм и не подавляются актиномицетами.

Таким образом, тестируемые микромицеты разделились на две группы. В первую группу вошли штаммы, подавлявшие рост актиномицетов. Среди них наиболее активными оказались штаммы 7 видов: *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *Fusarium commune*, *F. oxysporum*, *Penicillium expansum*, *P. rubens* и *Trichoderma hamatum*. Во вторую группу вошли штаммы видов, которые не оказывали влияния на рост актиномицетов и сами не подавлялись актиномицетами. Стоит отметить, что присутствие видов микромицетов (*Penicillium brasilianum*, *P. crustosum*, *P. onobense*, *P. polonicum*, *P. skrjabinii*), вошедших во вторую группу и проявивших нейтральность при взаимодействии со всеми исследованными актиномицетами, были

обнаружены только в материале гнезд муравьев *L. niger*. Именно поэтому выявление причин отсутствия взаимного антагонизма представляет значительный интерес для будущих исследований.

Сохранение и изучение выделенных культур мицелиальных организмов в коллекции создает прочную основу для дальнейших исследований и разработок в различных областях науки и промышленности. Выявленные антагонистические свойства микромицетов и актиномицетов открывают возможности для разработки эффективных методов борьбы с патогенными микроорганизмами. Именно поэтому комплексное изучение взаимодействий между микромицетами и актиномицетами, включая механизмы их химического взаимодействия и устойчивости, представляют собой важное направление современной микробиологии. Эти исследования имеют как фундаментальное значение – для понимания принципов организации микробных сообществ и способности микромицетов противостоять физиологически активным веществам, выделяемым другими микроорганизмами (в первую очередь актиномицетами), – так и практическую ценность для разработки новых биотехнологических продуктов и медицинских препаратов.

Исследования проведены в рамках темы госзадания «Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал» (Номер ЦИТИС: 121040800174-6).

ЭНДОФИТНЫЕ ГРИБЫ ИНВАЗИВНОГО РАСТЕНИЯ *SOLIDAGO CANADENSIS*

Антропов Д.О.¹, Стрембицкая А.Д.¹, Кирсанов Н.И.¹, Малыгин Д.М.², Сокорнова С.В.²

¹ ЛГУ имени А.С.Пушкина, Санкт-Петербург-Пушкин

² ВНИИ защиты растений, Санкт-Петербург-Пушкин

Золотарник канадский *Solidago canadensis* широко распространенный на территории РФ инвазивный вид, занесенный из Северной Америки [1]. Согласно Magon et al. [2] этот и близкородственный ему золотарник гигантский *S. gigantea* были одними из самых успешных инвазивных видов в Европе. Предполагается, что симбиоз с арбускулярными микоризными (АМ) грибами способствует быстрому распространению *S. canadensis* и закреплению на новых территориях [3]. В ряде случаев позитивное влияние симбиоза с АМ-грибами может усиливаться в корнях растений в присутствии темноокрашенных септированных эндофитов (ТСЭ) [4]. Целью данной работы стала оценка эндофитного сообщества грибов в корнях *S. canadensis*.

Фрагменты корней 3-4 порядка размером около 1.5 см не менее 5 растений *S. canadensis*, собранные в июле 2024 г в Пушкинском районе СПб, анализировали с помощью световой микроскопии, а также классическими морфологическими и молекулярными методами, на присутствие эндофитов. Для микроскопических препаратов фрагменты мацерировали в 10% КОН до обесцвечивания, отмывали 5% молочной кислотой, затем окрашивали 0.5% фуксином с последующей отмывкой от излишков краски. Для выделения эндофитов в культуру поверхностно простерилизованные 96% этанолом в течение 30 мин. фрагменты корней выкладывались на питательную среду YGC (состав: дрожжевой экстракт 4.9 г/л, глюкоза 20 г/л, хлорамфеникол 0.1 г/л, агар 15 г/л). Сформировавшиеся на 5-е сутки при 24°C из фрагментов грибные колонии пересекали на морковно-картофельный агар, для получения споронии. Полученные изоляты

идентифицировали по морфологическим признакам и микроскопировали. Также методом со ЦТАБ буфером с очисткой хлофроформом и высаживанием изопропанолом выделяли ДНК, проводили полимеразную цепную реакцию по локусу внутренних транскрибируемых спейсеров участков рибосомальной ДНК (праймеры ITS1: 5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G-3' /ITS4: 5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3'). Условия проведения ПЦР были согласно White et al. [5] с незначительными модификациями: 95°C 5 мин, затем 35 циклов (95°C 30 с; 55°C 30 с; 72°C 1 мин) и 72°C 10 мин. Полученные ДНК-последовательности секвенировали по Сэнгеру (на базе РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ), редактировали в Mega 5.0 и сравнивали с имеющимися в GenBank с помощью программы Blast.

Анализ микроскопических препаратов корней *S. canadensis* показал, что наряду с АМ-грибами, частота и интенсивность микоризации которыми не превышала 50% и 20%, соответственно (Малыгин, в печати), в тканях присутствуют ТСЭ в виде микросклероций, мицелия и его видоизменений с частотой более 65%.

В чистую культуру было выделено 4 изолята, три из которых не споронили, а четвертый по морфологическим признакам относился к грибу рода *Fusarium*. Этот медленно растущий изолят уже на 3-й день роста окрашивал агаризованную питательную среду в малиновый цвет. По результатам молекулярного анализа локуса ITS этот изолят также можно отнести к *Fusarium* spp. Однако, необходимо провести дополнительные исследования по другим, используемым для точной идентификации представителей этого рода локусам.

В целом, вид *Fusarium equiseti* (Corda) Saccardo встречается как естественный эндофит в разнообразных экосистемах и обладает способностью колонизировать корни различных хозяев [6]. Штаммы этого вида в эндофитном состоянии способствовали росту растений, подавляли некоторых почвенных патогенов и рост паразитического растения *Striga hermonthica*, а также в некоторых случаях были способны вырабатывать токсичные для почвенных нематод трихотецены. Способность *F. equiseti* эффективно колонизировать корни различных растений-хозяев в разнообразных экосистемах позволяет рассматривать его, как потенциальное средство защиты растений, прежде всего благодаря его способности поддерживать стабильные микроскопические сообщества внутри корней посредством конкурентного вытеснения патогенных и других организмов, населяющих ризосферу [7].

Другой изолят был отнесен к не менее интересному роду *Pyrenochaeta*, среди представителей которого есть, например, эндофит анноны чешуйчатой, обладающий широким спектром биологических активностей [8].

Также был выделен фомоидный изолят. Эндофитный образ жизни выявляли и у фомоидных микромицетов. Например, из тканей тиса Вальхи были выделены грибы рода *Phoma* с антимикробными свойствами, авторы рассматривают взаимоотношение растение/хозяин, как мутуалистические симбиотические отношения [9].

Таким образом, выявленные в корнях инвазивного золотарника канадского микромицеты могут

способствовать распространению этого растения. Однако, необходимы дальнейшие исследования по уточнению видового положения и свойств, выделенных в чистую культуру изолятов.

Список литературы

1. <https://doi.org/10.1079/cabicompilum.50599>
2. Moron D, Lenda M, Skórka P, Szentgyörgyi H, Settele J, Woyciechowski M Wild pollinator communities are negatively affected by invasion of alien goldenrods in grassland landscapes. *Biol Conserv* 2009;142(7):1322-1332.
3. Dong LJ, Ma LN, He WM. Arbuscular mycorrhizal fungi help explain invasion success of *Solidago canadensis*. *Appl Soil Ecol*. 2021. 157:103763.
4. Mandyam KG, Jumpponen A. Mutualism-parasitism paradigm synthesized from results of root-endophyte models. *Front microbiol*. 2015. 12(5):776.
5. White T, Bruns T, Lee S, Taylor J, Innis M, Gelfand D, Sninsky J. Amplification and Direct Sequencing of Fungal Ribosomal RNA Genes for Phylogenetics. In *PCR Protocols: a Guide to Methods and Applications*. 1990. 31: 315-322.
6. Macia-Vicente JG, Jansson HB, Abdullah SK, Descals E, Salinas J, Lopez-Llorca LV. Fungal root endophytes from natural vegetation in Mediterranean environments with special reference to *Fusarium* spp. *FEMS Microbiol Ecol*. 2018. 64(1):90-105.
7. Šišić A., Bačanić J., Finckh M.R. Endophytic *Fusarium equiseti* stimulates plant growth and reduces root rot disease of pea (*Pisum sativum* L.) caused by *Fusarium avenaceum* and *Peyronellaea pinodella*. *Eur J Plant Pathol*. 2017. 148:271-282.
8. Lin T, Lin X, Lu C, Shen Y. Secondary metabolites of *Pyrenochaeta* sp. B36, an endophytic fungus from *Annona squamosa* L. *Nat Prod Res*. 2011 Jun;25(10):1008-13
9. Yang X, Strobel G, Stierle A, Hess W.M., Lee J, Clardy J. A fungal endophyte-tree relationship: *Phoma* sp. in *Taxus wallachiana*, *Plant Sci*. 1994. 102(1): 1-9

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПО БЛАСТОСПОРАМ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ НОВОГО ДЛЯ РОССИИ ВИДА *AKANTHOMYCES UREDINOPHILUS* (HYPOCREALES, CORDYCIPTACEAE)

Черепанова М.А.¹, Судариков В.Г.², Митина Г.В.¹, Чоголова А.А.¹

¹ ВНИИ защиты растений, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский ГТУ (технический университет)

При интенсификации сельского хозяйства особенно остро стоит проблема защиты растений от насекомых-вредителей. Паразитируя на растениях, вредители снижают количество и качество урожая, что ведет к значительным экономическим потерям. Поскольку химические методы защиты обладают рядом отрицательных качеств: не проявляют селективность, накапливаются в почве, вызывают резистентность у вредителей, вредны для теплокровных и т.д., большее значение приобретают биологические инсектициды, в том числе на основе энтомопатогенных грибов (ЭПГ).

Среди исследуемых в качестве биопестицидов ЭПГ широко известны грибы рода *Akanthomyces* (= *Lecanicillium*). Виды *A. muscarius*, *A. lecanii* и *A. dipterigenus* уже используются для защиты растений в защищенном грунте в мировой практике. Однако для поиска наиболее эффективных изолятов нужно продолжать поиски среди малоизученных видов, благодаря этому список биопрепаратов постоянно расширяется (Государственный каталог ..., 2024; <https://здороваяпочва.рф/product-category/biopreparaty/bioinsekticidy/>).

Одним из перспективных представителей рода являются грибы вида *A. uredinophilus*, впервые выделенные в Корею в 2016 г (Park et.al., 2016), а недавно обнаруженные и на территории России, в республике Адыгея. Для последних изолятов было установлено, что они обладают высокой вирулентностью в отно-

шение личинок персиковой тли *Myzus persicae*. Смертность личинок при титре спор 1×10^7 конидий/мл через 7 сут составляла 100% (Черепанова и др., 2025).

Цель данного исследования – определить продуктивность по бластоспорам новых природных изолятов вида *A. uredinophilus* на двух стандартных для ЭПГ средах: ДПГ (YPG) и полной с пептоном (ПП), а также на искусственной питательной среде, включающей 2% глюкозы, 0,5% инактивированных дрожжей, 0,1% KH_2PO_4 , 0,05% MgSO_4 , 0,2% NaNO_3 и 0,05% KCl .

Для выращивания было отобрано 5 природных изолятов вида *A. uredinophilus*, также обнаруженных в различных регионах России: SNP 40, B1, B2, B4 и Ak6. По предварительным данным они обладают высокой вирулентностью в отношении *M. persicae*.

В результате культивирования выявлено, что все изоляты способны расти на жидких питательных средах, однако изоляты B1 и B2 образовывали глобулы на всех изученных средах. Также изолят SNP40 образовывал глобулы на промышленной питательной среде. Морфология глубинной культуры остальных изолятов была схожа.

При определении продуктивности изолятов по бластоспорам выявлено, что изоляты B4, Ak6 и SNP40 значительно хуже растут на промышленной среде в сравнении с средами ПП и ДПГ. Изоляты B1 и B2 образовывали глобулы, а титр спор у них был на два порядка ниже, чем у оставшихся трех изолятов. На

средах ПП и ДПГ споропродуктивность изолятов оказалась близка, а статистически значимые различия на этих средах выявлены только для изолятов Б2 и Ак6. Самый высокий титр спор наблюдался у изолята SNP40.

Из приведенных данных можно сделать предварительный вывод, что наиболее перспективным штаммом для культивирования и коммерческого использования является штамм SNP 40, хотя Ак 6 и Б4 так же достойны внимания. Очевидно, для штаммов Б1 и Б2 необходимо подобрать другие условия культивирования.

TRICHODERMA AGGRESSIVUM И ФЕНОМЕН КРУГОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ВЫСШИМИ ГРИБАМИ

Филиппова И.А., Разин А.А., Юшкевич Т.В.
НПО Биолукс, Санкт-Петербург

Феномен кругов, образованных высшими грибами диаметром от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров, известен давно. Грибные круги или «ведьмины круги» образуют многие виды грибов – боровики, подберезовики, маслята, моховики, мухоморы и др.

Загадочное явление порождало во все века и во всех странах мистическое отношение и обрастало легендами и мифами. Происхождение грибных кругов – загадка, которая волновала умы не только простолюдинов во все времена, но и ученых.

А.А.Ячевский утверждал, что «у каждой болезни растений и грибов есть высокая вероятность деятельности возбудителя». Исходя из этой аксиомы, можно предположить, что любой феномен появляется не просто сам по себе, а имеет вполне реальную причину, то есть возбудителя.

Как известно, почвенный субстрат, предназначенный для развития грибницы заселяют термофильные, термотолерантные и мезофильные виды, использующие простые органические соединения для образования макромолекул, подходящих для роста грибов.

Такие микроскопические (плесневые) грибы, которые успешно колонизируют почву могут создать серьезные проблемы как конкуренты или патогены. Некоторые виды, например, *Trichoderma viride*, *Trichoderma koningii* и *Oidiodendron sindenia* обладают антагонистической активностью к мицелию растущего гриба и вызывают значительные потери на грибных фермах.

Особенностью *Trichoderma* является способность расползаться не только по почвенному грунту снаружи, но и прорасти слоями внутрь на достаточно большую глубину – до 70 сантиметров. При культивировании *Agaricus bisporus* наиболее опасным видом является *Trichoderma aggressivum*, который колонизирует грибной субстрат более легко, чем другие виды триходермы, и может вызвать полную потерю урожая [1].

На контаминированных участках угнетение мицелия настолько сильно, что грибы на зараженных участках практически не появляются. В оптимальных условиях *T. aggressivum* демонстрирует быстрый рост и синтезирует токсичные вторичные метаболиты, спектр ферментов, позволяющих паразитировать на грибнице, поглощая ее питательные вещества и заставляя ее отмирать. Картина поражения грибницы культивируемых грибов схожа с «грибными ведьмиными кругами». Триходерма внедряется и прорастает как на покровной почве, так и

Список литературы

1. Государственный каталог Пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Минсельхоз России. 2024. Москва.
2. Союз органического земледелия. Биоинсектициды. URL: <https://здороваяпочва.рф/product-category/biopreparaty/bioinsekticidy/> (дата обращения 03.04.2025)
3. Park M.J., Hong S.B., Shin H.D. *Lecanicillium uredinophilum* sp. nov. associated with rust fungi from Korea. *Mycotaxon*. 2016. V. 130. P. 997-1005. <https://doi.org/10.5248/130.997>.
4. Черепанова М.А., Митина Г.В., Чоглокова А.А. и др. Первые в России находки энтомопатогенного гриба *Akanthomyces uredinophilus* (Hypocreales, Cordycipitaceae) из республики Адыгея. *МиФ*. 2025. №1. С. 74-87.

вглубь – пластами. Расширяется радиально – по окружности, агрессивно, подавляя мицелий лесных грибов, заставляя его отмирать, так же, как и растительность внутри «грибного круга».

Микопаразитизм – это сложный процесс, который включает несколько этапов: хемотропизм, распознавание, атака, частичное проникновение в клетку хозяина и его уничтожение. Штаммы *Trichoderma* могут осуществлять прямой биоконтроль, паразитируя на большом количестве грибов, распознавая и прорастая на них. Наибольшие потери на производствах шампиньона вызывает *T.harzianum*, который по данным на сегодня имеет 4 биотипа. Неагрессивные штаммы вида были идентифицированы как Th1 и Th3, и агрессивные штаммы вида *T. harzianum* биотипы – Th2 и Th4, которые затем на основе молекулярно генетических признаков были описаны как *T. aggressivum* f. *europaeum* и *T. aggressivum* f. *Aggressivum* [2, 3]. Виды *Trichoderma* в процессе агрессии и захвата объекта – патогенных и иных грибов – выделяют метаболиты. Один из них Виридиол, который является слабым антибиотиком, но сильным гербицидом. Виридиол образуется на субстратах с низким содержанием азота и действительно поражает корневую систему растений, практически лишая их питательных веществ. Многие садоводы и цветоводы отмечают, что внесение препаратов на основе культуры триходермы в почву практически загубили корневую систему многих цветочных домашних растений.

В «ведьминых грибных кругах» триходерма ведет себя аналогично – как микопаразит, который агрессивно уничтожает почвенные микромицеты и грибницу лесных высших грибов, выделяя метаболиты, которые угнетают корни растений в этом секторе. Поэтому есть много свидетельств – о вытоптанной, выжженной траве в таких кругах или частичной хилой растительности.

Любая грибница на агрессию реагирует выделением лакказы и других защитных веществ. В искусственных условиях грибы практически беззащитны. Но не беззащитны лесные грибы. И хорошо сформированная грибница, выбрасывающая плодовые тела по окружности – сдерживает влияние развивающейся агрессивной триходермы за счет лакказ, имеющих способность противостоять напору. Грибница лесных грибов выбрасывает плодовые тела по окружности распространения грибницы триходермы, как защитный пояс, аккумулируя активные вещества, как в плодовых телах, так и в оставшейся живой крошке мицелия.

Методы исследования. Сотрудниками Научно-производственного объединения «Биолюкс» исследован «грибной круг» в августе 2022 года в Пушкинских Горах в районе заповедника Петровское, радиусом 2 метра, образованный говорушкой дымчатой (*Clitocybe nebularis*).

Этот «круг» держался в указанных размерах до ноября. И в последующие годы отмечен не был. Как и не было отмечено появление аналогичных грибных кругов по близости.

В этом «грибном круге» были взяты почвы для исследования наличия патогенных плесеней, в частности триходермы, по окружности (вблизи выброса плодовых тел) почвы с разных глубин: 0—2, 5—10, 20— 30, и 50—70 см и в центре круга.

Образцы почв для микологического анализа отбирали по общепринятым методикам [4] в пакеты из бумаги Крафт, с соблюдением условий стерильности. В лабораторных условиях при обработке образцов использовали метод посевов на стандартные питательные среды Чапека, сусло-агар, среду для несовершенных грибов с целлюлозой, среду Чуди и др. Подсчет проводили через две недели культивирования. Таксономическую принадлежность устанавливали на основании культурально-морфологических признаков после выделения их в чистую культуру на среде Чапека. Названия и положение таксонов унифицировали с использованием базы данных CBS и 9-го издания «Словаря грибов Айнсворта и Бисби» [5].

Таблица 1. Виды микромицетов, обнаруженных в «грибном круге» Пушкинские Горы 2022.

Лунки выемки почвы	0-2 см	5-10 см	20-30 см	50-70см
Лунка 1	—	—	—	—
Лунка 2	++ (<i>Trichoderma</i> (<i>T. viride</i> , <i>T. harzianum</i>))	+++	++	+
Лунка 3	+++ (<i>Trichoderma harzianum</i>)	+++	++	+
Лунка 4	+++ (<i>Trichoderma harzianum</i>)	++	++	+
Лунка 5	++(<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Penicillium</i> (<i>variabile</i>))	+	++	++
Лунка 6	(<i>Trichoderma harzianum</i>)	++	++	++
Центр лунка 7	+++(<i>Trichoderma harzianum</i>)	+++ Т.	++ Т.	++ Т.
Лунка 8	-	—	-	—

Результаты и обсуждение. Возбудителем «грибных кругов» является вид *Trichoderma*, который был обычным для почв всего мира [3]. И который был определен как *T. aggressivum*. *T. aggressivum* f. *europaeum* и *T. aggressivum* f. *aggressivum* встречаются в Европе и Северной Америке. То есть там, где есть свидетельства о нахождении «грибных кругов».

T. aggressivum, как и все грибки, разрастается радиально, поэтому наличие «барьера» диких лесных грибов по кромке разрастания вполне обоснованно.

T. aggressivum методично уничтожает ослабленную грибницу базидиального гриба и часть почвенных грибов, выделяя метаболиты, которые являясь сильными гербицидами – уничтожают корни растений на своем пути [4]. «Вытоптанная, жухлая, сухая трава или же оголенная земля» — это результат действия гербицида.

Грибница (достаточно сильная) оказывает сопротивление и выставляет защиту, выбрасывая по окружности плодовые тела. Которые продуцируют лакказы и другие активные вещества, препятствующие разрастанию агрессивной *T. aggressivum*.

Противостояние высших грибов низшим может быть долгим по времени и большим по захвату почвы. Обычно небольшие грибные круги ограничиваются одним сезоном. Появление таких грибных кругов на том же месте – маловероятно. Они просто исчезают.

Следовательно, в случае появления грибных кругов мы имеем дело с внутривидовой борьбой, где *T. aggressivum* становится более изобретательной и агрессивной в подавлении высших грибов, а высшие грибы формируют новые продуценты лакказы.

Для более полной картины необходимы дальнейшие исследования, что затруднено редкостью нахождения в живой природе «ведьминых кругов». Но если рабочая гипотеза уже получила подтверждение, то, вероятно, вопрос только во времени.

Список литературы

1. Кураков А.В., Сафрай А.И. Болезни и вредители шампиньона, мероприятия по профилактике и борьбе с ними. Учебное пособие. Город Москва: Издательство Школа науки, 2022, – 64 с.

2. Алимова Ф.К. Промышленное применение грибов рода *Trichoderma*. К: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. – 209 с.

3. Лобанкова О.Ю., Есаулко А.Н., Агеев В. В. и др. Грибоводство: учебное пособие / -Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2014.- 140 с.

4. Литвинов М.А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов. Л., 1969. 118 с.

5. Boliniales P.F. Cannon, in Kirk, Cannon, David & Stalpers, Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi, Edn 9 (Wallingford): x (2001).

ЛИЧИНКИ *TENEBRIO MOLITOR* (COLEOPTERA) КАК АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ХОСТ-МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВИРУЛЕНТНОСТИ ШТАММОВ ПАТОГЕННЫХ ДРОЖЖЕЙ (НА ПРИМЕРЕ *ARXIOZYMA BOVINA*)

Глушакова А.М.^{1,2,3}, Родионова Е.Н.², Качалкин А.В.^{1,3}

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

² НИИ вакцин и сывороток имени И.И. Мечникова, Москва

³ Институт биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г.К. Скрыбина РАН, Пушкино

Насекомых все чаще выбирают в качестве альтернативной модели для изучения бактериальных и грибковых инфекций, включая и инфекции, вызываемые дрожжевыми грибами (Салмова и др., 2022; Trevijano-Contador and Zaragoza 2014; Doke and Dhawale 2015; Canteri de Souza et al., 2018). К основным преимуществам модельной системы с личинками *Tenebrio molitor* (большого мучного хрущака) можно отнести возможность использования большого количества животных в эксперименте, простота их содержания в лабораторных условиях, инкубация при 37°C, что позволяет исследовать на данной модели патогены человека (de Souza et al., 2015). Несмотря на отсутствие у насекомых приобретенного иммунитета, врожденный иммунитет личинок большого мучного хрущака имеет значительное сходство с иммунным ответом позвоночных животных, в том числе и человека: гуморальный ответ у *T. molitor* включает выработку меланина и антимикробных пептидов, обладающих бактерицидной и противогрибковой активностью; клеточные реакции координируются гемоцитами, которые выполняют такие функции, как фагоцитоз, инкапсуляция и нодуляция (dos Santos Rodrigues et al., 2025). К настоящему времени, данная хост-модель оказалась ценной для изучения инфекций, вызванных различными видами дрожжей, включая *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* (de Souza et al., 2015), *Malassezia furfur* (Silva et al., 2018) и *Candida auris* (dos Santos Rodrigues et al., 2025).

Дрожжи *Arxiozyma bovina* (Saccharomycetaceae) относятся к потенциально патогенным видам, которые в целом редко выделяют как агентов грибковых инфекций. Однако в последнее время таких случаев стало больше. Это связывают с увеличением числа пациентов с ослабленным иммунитетом и гастроэзофагеальными заболеваниями (Kaeuffer et al., 2022). Большая часть известных выделений этого вида (за исключением клинических изолятов) связана с птицами (голуби, курицы, утки, гуси), кишечником коровы, известны выделения из почв и воды (коллекции CBS, CAB, INEM и данные NCBI). Недавно был описан предположительно первый случай зоонозной передачи дрожжей *Arx. bovina* от голубей к человеку: пациент с дрожжевой инфекцией, вызванной *Arx. bovina* до этого имел контакт с голубями, и штамм этого вида был также выделен из экскретов голубя, с которым был контакт (Kaeuffer et al., 2022). Наши исследования дрожжевых грибов в свежих экскретах разных видов синантропных птиц в Москве также показали высокую долю (44.5 %) этих дрожжей в свежих экскретах только у голубей. В данной работе нами была предпринята попытка оценить патогенность некоторых выделенных штаммов *Arx. bovina* in vivo с использованием хост-модели *T. molitor*.

Закупку личинок производили в специализированном магазине Antplanet.ru (Москва). Для исследований были

отобраны личинки весом от 100 до 200 мг с четким, однородным цветом, без темных пятен и сероватых отметин. Отобранные личинки инокулировали пятью штаммами дрожжей *Arx. bovina*, выделенными из экскретов городских голубей и идентифицированных на основе секвенирования региона ITS рДНК. Инокуляцию проводили с помощью шприца Гамильтона (701 SN, калибр 26S, емкость 10 мкл) путем введения инокулята в гемоцель, на втором или третьем видимом стерните над конечностями, в вентральной части. Каждая личинка получала 5 мкл суспензии, содержащей 10⁵ клеток дрожжей/мл. В качестве отрицательного контроля использовали натрий-фосфатный буфер (PBS). В качестве положительного контроля личинок инокулировали типовым штаммом *Candida albicans* (VKM Y-2994 = ATCC 18804). Предварительные тестирования этого штамма показали его стабильно высокую патогенность (100 % смертность личинок при инокуляции составила 24 часа). Интересно, что в работе de Souza (de Souza et al., 2015), где было впервые описано успешное применение хост-модели *T. molitor* на дрожжевых грибах, в качестве референсного штамма также использовали дрожжи *C. albicans*, но другой коллекционный штамм, *Candida albicans* SC5314 (ATCC MYA-2876). В той же концентрации (10⁵ КОЕ/мл) что и у нас медиана выживаемости личинок этим штаммом составила 5 дней, а в концентрации 10⁶ КОЕ/мл, 24 часа, а концентрация 10⁴ КОЕ/мл не отличалась от отрицательного контроля. Для сравнения также ранее мы протестировали штамм пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Медиана выживаемости животных составила 10 дней и 80 % животных выжили после 12-дневного периода наблюдения. В качестве дополнительного контроля проводили инокуляцию личинок штаммом *C. albicans* (VKM Y-2994), предварительно инактивированным нагреванием (65°C в течение 30 мин). Мы не обнаружили ни одного погибшего животного за 12-дневный период наблюдения, что подтверждает связь смертности с жизнеспособностью штаммов дрожжей. Потерю жизнеспособности клеток определяли, помещая суспензии на стандартную среду ГПДА и инкубируя в течение 48 ч при 37°C. Каждый штамм исследовали на трех группах личинок из разных партий. Каждая группа состояла из 10 животных. Таким образом, каждый штамм дрожжей был протестирован на 30 личинках. Инокулированных дрожжами личинок инкубировали при 37°C в чашках Петри со стерильным кормом (отруби и яблоки). Регистрацию количества погибших личинок проводили с интервалом 24 ч в течение 12 дней. Чтобы установить факт гибели личинок, визуально проверяли их меланизацию и реакцию на физические раздражители, осторожно прикасаясь к ним. Полученные результаты использовали для построения кривой выживаемости по методу Каплана-Майера. Статистический анализ данных проводили с

помощью лог-ранк теста. Значение $p \leq 0.05$ считали значимым.

Медиана выживаемости личинок, инокулированных штаммами *Arx. bovina* составила один день (рисунок 1).

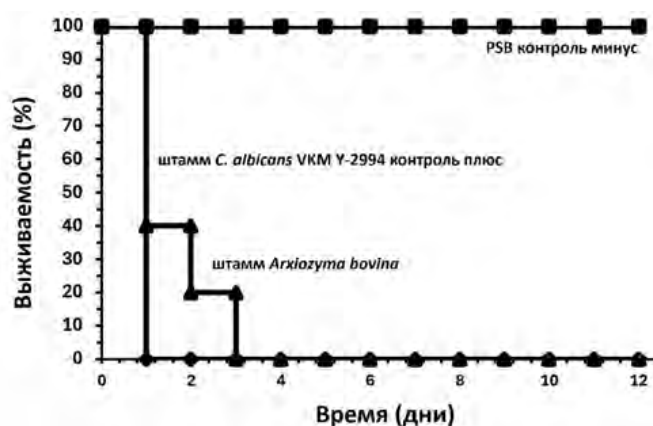


Рисунок 1. Кривые выживаемости инфицированных личинок *T. molitor* дрожжами *Arx. bovina*. Концентрация инокулята 10^5 КОЕ/мл дрожжей/5 мкл/личинку. Группу из 10 личинок заражали испытуемым штаммом, повторяли три раза и объединяли для построения кривой выживаемости, содержащей 30 особей на штамм. В анализ были включены отрицательная контрольная группа, где личинкам *T. molitor* вводили PBS, положительная контрольная группа, где личинкам *T. molitor* вводили *C. albicans* (VKM Y-2994).

Это указывает на очень высокую патогенность выделенных штаммов. Она достоверно не отличалась ($p > 0.05$) от медианы выживаемости положительного контроля — вирулентного штамма *C. albicans* (VKM Y-2994). Между исследованными штаммами была высокая сходимость результатов и не было выявлено достоверных различий. Достоверные различия были выявлены между исследованными штаммами и отрицательным контролем. Такая же высокая патогенность была недавно показана для клинических изолятов патогенных дрожжей *Candida auris* (*Candido-zyma auris*) из Кувейта и типового штамма этого вида (CBS 10913) — смертность инокулированных личинок составила 24 часа (dos Santos Rodrigues et al., 2025).

Таким образом, дрожжи, которые редко оказываются агентами микозов, такие как в нашем исследовании (*Arx. bovina*), требуют не менее пристального внимания, детального изучения и мониторинга, как и наиболее часто встречающиеся в настоящее время во всем мире виды патогенных аскомицетовых дрожжей (*C. albicans*, *C. parapsilosis*, *C. tropicalis*, *Nak. glabratus* (*C. glabrata*)).

ПРОБЛЕМА АДАПТАЦИИ МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ АГАРИКОМИЦЕТОВ К НОВЫМ МЕСТООБИТАНИЯМ В КОНЦЕ XX И НАЧАЛЕ XXI ВВ.

Иванов А.И., Потапов К.О.

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза
Казанский федеральный университет

Одной из важнейших особенностей биологии грибов является внутривидовой полиморфизм, который у них проявляется на уровне кариотипов. В первую очередь он связан с наличием особых мелких В-хромосом, не обязательных в отличие от основных А-хромосом для обеспечения жизнедеятельности. Количество В-хромосом у штаммов одного вида может быть различным, что в итоге может определять их индивидуальные биологические особенности, определяющие большой потенциал изменчивости [5]. Кроме того в связи с огромным количеством образу-

емых термофильных свойств штаммов *Arx. bovina* (рост при 45°C показан для типового штамма CBS 2760), глобального потепления климата, плохо регулируемой численности синантропных птиц (городских голубей), увеличения количества людей с пониженным иммунным статусом, этот вид имеет потенциал к более широкому распространению как агент грибковой инфекции.

Работа выполнена в рамках темы госзадания МГУ № 121040800174–6.

Исследование выполнено с использованием научного оборудования центра коллективного пользования «НИИ-ИВС им. И.И. Мечникова» — при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России. Соглашение № 075–15-2021-676 от 28.07.2021.

Список литературы

1. Салмова Ю.В., Никифорова Л.Р., Боровкова К.Е. Разработка модели бактериальной инфекции личинок *Galleria mellonella* (большая восковая моль). Лабораторные животные для научных исследований. 2022. 3. DOI: 10.57034/2618723X-2022-03-05
2. Trevijano-Contador N., Zaragoza O. Expanding the use of alternative models to investigate novel aspects of immunity to microbial pathogens. Virulence. 2014. 5(4). 454–456. DOI: 10.4161/viru.2877
3. Doke S.K., Dhawale S.C. Alternatives to animal testing: A review. Saudi Pharmaceutical Journal. 2015. 23(3). 223–229. DOI: 10.1016/j.jsps.2013.11.002
4. Canteri de Souza P., Custódio Caloni C., Wilson D., Sergio Almeida R. An invertebrate host to study fungal infections, mycotoxins and antifungal drugs: *Tenebrio molitor*. Journal of Fungi. 2018. 4(4). 125. DOI: 10.3390/jof4040125
5. de Souza P.C., Morey A.T., Castanheira G.M., Bocate K.P., Panagio L.A., Ito F.A., Furlaneto M.C., Yamada-Ogatta S.F., Costa I.N., Mora-Montes H.M., Almeida R.S. *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as an alternative host to study fungal infections. J. Microbiol. Methods. 2015. 118. 182–186 DOI: 10.1016/j.mimet.2015.10.004
6. dos Santos Rodrigues M.I., da Cruz G.H.R., Lucini F., de Almeida A.M., Pereira F.F., Ramalho R.T., Simionatto S., Rossato L. *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as an alternative host for the study of pathogenicity in *Candida auris*. Microbial Pathogenesis. 2025. 198. 107115. DOI: 10.1016/j.micpath.2024.107115
7. Silva A.P.R., Valério A.D., Viana R.O., Ricoy A.C.S., Johann S., Alves V. Caenorhabditis elegans and *Tenebrio molitor*—New tools to investigate *Malassezia* species. Preprints. 2018. Org. 2018100001(10.20944)
8. Kaeuffer C., Baldacini M., Ruge T., Ruch Y., Zhu Y.J., De Cian M., Philouze G., Bachellier P., Denis J., Lefebvre N., Schneider F., Hansmann Y., Letscher-Bru V., Herbrecht R., Sabou M., Danion F. Fungal infections caused by *Kazachstania* spp., Strasbourg, France, 2007–2020. Emerg. Infect. Dis. 2022. 28(1). 29–34. <http://doi.org/10.3201/eid2801.211543>

щихся спор возникает соответствующее число различных мутаций.

Высокая скорость мутационного процесса хорошо изучена у фитопатогенных грибов в первую очередь на примере их адаптации к новым поколениям пестицидов, к устойчивым ранее сортам и новым видам растений. Результатом этого являются новые внутривидовые биотипы и физиологические расы грибов [1]. Микоризообразующие агарикомикеты не являются в этом плане исключением. Впервые понятие рас у агарикомикетов было использовано применительно к

такому полиморфному виду как *Boletus edulis* Bull. s. str. [2, 8].

Как показывают микogeографические исследования, проводившиеся в последние десятилетия, некоторые узкоспециализированные виды данной таксономической группы, связанные с определенными микотрофными породами, могут менять партнеров по симбиозу и таким образом расширять области своего распространения и внедряться в антропогенные сообщества. В начале этот процесс обнаруживается точечно, в какой-то части ареала, а затем распространяется по всей его границе.

Например, в последние годы на территории Республики Татарстан зафиксировано проникновение *Rubroboletus satanas* (Lenz) Kuan Zhao et Zhu l. Yang из типичных широколиственных лесов с доминированием дуба и липы в насаждения, где доминирующей породой является береза бородавчатая в том числе и в искусственные насаждения, в частности, лесополосы. Следует подчеркнуть, что это происходит как в березняках неморального типа в эвтрофных условиях, так и в мезофитных березняках в зоне хвойно-широколиственных лесов на севере региона. Однако, для того, чтобы наверняка установить связь с растением-хозяином, требуются дополнительные наблюдения.

У такого вида как *Caloboletus radicans* (Pers.) Vizzini процесс расширения ареала и смена партнера по симбиозу наблюдается примерно с 2010 г. Этот вид характеризовался определенной стеноитностью и был связан с дубовыми редколесьями на карбонатных почвах. Встречался он редко в связи с чем был включен в ряд региональных Красных книг. В период 2010-2022 гг. граница его ареала продвинулась на север, за счет расселения вида в березовые леса не только на карбонатных, но и слабо кислых почвах. Из лесостепи этот вид существенно продвинулся на север, вплоть до Ленинградской области и Пермского края [6].

Сходная картина наблюдается и в отношении *Am-anita phalloides* (Vallid. ex Fr.) Link. В последние годы на территории Ленинградской области этот гриб, ранее распространенный преимущественно в старых парках под дубами, стал активно вселяться в сосновые и березовые леса [4]. Этот процесс наблюдается также на территории Татарстана. В частности, наиболее ярким примером является обильное плодоношение *A. phalloides* в монодоминантной березовой посадке у границы с Раифским участком Волжско-Камского заповедника, тогда как в самом заповеднике, в непосредственной близости с лесополосой, где доминируют липа и единично встречается дуб, *A. phalloides* встречается лишь спорадически. Более того, в некотором удалении от упомянутой лесополосы имеется редкостольный старовозрастный дубняк, где обсуждаемый вид также встречается крайне редко. В данном случае имеет место не просто смена породы-хозяина – дуба, а явный приоритет в пользу березы. Еще одним примером может служить нахождение *A. phalloides* в сосняке с елью и березой чернично-брусничном (Агрызский район Республики Татарстан) на бедных песчаных почвах. В связи с тем, что *A. phalloides* смертельно ядовитый гриб его продвижение на север увеличивает вероятность грибных отравлений в новых районах его распространения, где он незнаком населению.

Следует подчеркнуть, что во всех описанных случаях исходным, коренным партнером по симбиозу у рассматриваемых видов грибов является дуб, который относится к числу сокращающихся видов. Причиной этого является его массовое усыхание, связанное с исто-

щением дубрав порослевого происхождения рубками [7]. Вероятно, когда дуб выпадает из древостоя, мицелий его консортов, остающийся в почве, может менять свою биологию и вступать в симбиоз с древесными видами, занимающими сходные экотопы, в частности с березой и липой. Возможно на этот процесс влияет и глобальное потепление климата, которое создает благоприятные условия для неморальных видов севернее сложившихся в прошлом границ ареалов.

Смена партнера по симбиозу не редко затрагивает и морфологические признаки. В связи с этим подобные отклонения от типа описывались различными авторами, как внутривидовые таксоны. Например, *Boletus luridus* var. *erythroteron* (Bezd k) Pilat et Dermek. Отличается от типовой формы более массивным плодовым телом и оливково-бурой шляпкой без оранжевых и красных тонов.

Другим примером может быть, *Leccinum duriusculum* var. *robustum* Lamney et Estades, образующий микоризы не с осинкой, а с тополем белым. Этот гриб отличается от типовой разновидности более массивным и крупным плодовым телом, а также светлосерой ареолирующей кутикулой шляпки.

Изучение морфологических и генетических отклонений от типовых форм, у рас, сменивших партнера по симбиозу, представляет собой особую научную проблему. Возможно, наблюдая описанный процесс, мы сталкиваемся с первым этапом дивергенции, которая в итоге может привести к образованию новых видов.

Список литературы

1. Дьяков Ю.Т. Популяционная биология фитопатогенных грибов. М.: ИД «МУРАВЕЙ». 1998.
2. Иванов А.И. Белый гриб в лесной и лесостепной зоне европейской части СССР. Микология и фитопатология. 1988. 25(5):404-409.
3. Иванов А.И. Агарикомикеты Приволжской возвышенности. Порядок Boletales, РИО ПГСХА. 2014
4. Кияшко А.А. Слово о поганках. Ч.2. Планета грибов. 2015. 2(8). С. 20-26.
5. Камзолкина О.В., Дунаевский Я.Е. (2015) Биология грибной клетки: Учебное пособие. Москва: Товарищество научных изданий КМК.
6. Светашева С.Ю., Иванов А.И., Потапов К.О. *Caloboletus radicans* (Pers.) Vizzini – смена экологической стратегии вида или результат глобального потепления? Экология грибов и грибоподобных организмов: факты, гипотезы, тенденции. Тез. докл. Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 300-летию РАН. Ярославль, 2023. С. 49-51.
7. Шишлянникова А. Б. Ксилосапротрофный микокомплекс дуба черешчатого в зоне ценооптимума и на северной границе ареала». Дисс. канд. биол. наук. С-Пб., 2024. 292 с.
8. Watling R. British fungus flora Agarics and Boleti. Vol. 1. Edinburgh, 1970. – 125 p.

ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ НЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СИМБИОНТОВ КРАСНОГО ТРЮФЕЛЯ *TUBER EXCAVATUM*

Малыгина Е.В., Иמידоева Н.А., Вавилина Т.Н., Бельшпенко А.Ю.,
Дмитриева М.Е., Моргунова М.М., Аксенов-Грибанов Д.В.
Иркутский государственный университет

Трюфелевые грибы являются почвенными аскомицетами и состоят в тесном симбиозе с корнями растений и почвенными микроорганизмами. Сами трюфели, в свою очередь, выступают домом для различных микроорганизмов. Для исследования многообразия и структуры микробного сообщества плодовых тел трюфелей и понимания их экологии и дальнейшего применения в биотехнологии, был выбран метагеномный анализ. Такие исследования могут способствовать более глубокому пониманию роли бактерий в микоризных симбиозах, а также оценки их влияния на развитие плодовых тел трюфелевых грибов, что имеет важное значение для разработки эффективных методик их культивирования и сохранения численности [1].

Целью данного исследования была оценка разнообразия сообществ прокариот редкого красного трюфеля *Tuber excavatum* с применением подходов метагеномного профилирования. Для этого плодовые тела красного трюфеля были собраны вблизи г. Краснодар. Фрагменты плодовых тел ($n = 6$) отобраны для анализа разнообразия прокариот по гену 16S рРНК и биоинформатического анализа.

Биоинформатическая обработка данных, полученных в ходе метагеномного анализа проб перидия *T. excavatum*, показала следующее распределение классов бактерий: Gammaproteobacteria (OTU 72,38%), Alphaproteobacteria (OTU 13,09 %), Bacilli (OTU 4,45%), Bacteroidia (OTU 3,54%) и т.д. Анализ результатов метагеномного секвенирования проб глебы плодовых тел *T. excavatum* выявил широкое разнообразие бактерий, представленное 22 классами, а также преобладание класса Alphaproteobacteria (OTU $97,3 \pm 0,24$ %).

Численность родов бактерий, составляющих сообщество прокариот трюфеля *T. excavatum* составила 120. Доминирующим группами были такие роды бактерий, как *Yersinia* sp. (OTU 53%), *Allorhizobium-Neorhizobium-Pararhizobium-Rhizobium* sp. (OTU $27,7 \pm 26,4$ %), *Mesorhizobium* sp. (OTU $17,9 \pm 14,4$ %). Помимо этого, одной из многочисленных групп бактерий были бактерии рода *Pseudomonas* sp. (OTU 17,5%). В состав минорных групп бактерий входили рода *Afipia* sp., *Agromyces* sp., *Aminobacter* sp., *Aquabacter* sp., *Aquicola* sp., *Bdellovibrio* sp., *Bosea* sp., *Bradyrhizobium* sp., *Brevundimonas*

sp., *Bryobacter* sp., *Compostimonas* sp., *Corticibacterium* sp., *Daeguia* sp., *Devosia* sp., *Diaminobutyricibacter* sp., *Dongia* sp., *Ensifer* sp., *Ferrovibrio* sp., *Fimbriimonas* sp., *Flavimaricola* sp., *Fluviicola* sp., *Gemmobacter* sp., *Hephaestia* sp., *Homoserinimonas* sp., *Hyphomicrobium* sp., *Iamia* sp., *Isobaculum* sp., *Kaistia* sp., *Kinneretia* sp., *Labrys* sp., *Longimycelium* sp., *Luethyella* sp., и др.

Так, сравнение метагеномных профилей бактериальных симбионтов различных фрагментов плодовых тел красного трюфеля *T. excavatum* показал преобладание класса Gammaproteobacteria в пробах перидия и преобладание класса Alphaproteobacteria в пробах глебы. К классу Gammaproteobacteria относятся как почвенные бактерии, так и бактерии, являющиеся патогенами человека [2]. Представители класса Alphaproteobacteria в основном представлены симбионтами растений, например *Rhizobium* sp., и фототрофными бактериями [3]. Это может объясняться тем, что перидий является той частью плодового тела, которая тесно контактирует с почвой, а глеба обволакивает корень растения-хозяина, тем самым поглощая бактерии, обитающие на его корнях. Так, прокариоты населяющие глебу трюфеля, способны поддерживать метаболизм растения-хозяина [4], тем самым, предположительно, участвуя в образовании микоризы и формировании плодовых тел.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов Российского научного фонда No 22-76-10036.

Список литературы

1. Giorgio M. et al. Fungal and bacterial diversity in the *Tuber magnatum* ecosystem and microbiome. *Microbial ecology*. 2023; 85 (2): 508-521.
2. Zhang Q. et al. Gammaproteobacteria, a core taxon in the guts of soil fauna, are potential responders to environmental concentrations of soil pollutants. *Microbiome*. 2021; 9: 1-17.
3. Elbon C. E., Stewart F. J., Glass J. B. Novel Alphaproteobacteria transcribe genes for nitric oxide transformation at high levels in a marine oxygen-deficient zone. *Applied and Environmental Microbiology*. 2024; 90 (4): e02099-23.
4. Abd-Alla M. H., Al-Amri S. M., El-Enany A. W. E. Enhancing rhizobium-legume symbiosis and reducing nitrogen fertilizer use are potential options for mitigating climate change. *Agriculture*. 2023; 13 (11): 2092.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ НЕКОТОРЫХ ЛИШАЙНИКОВ С РАЗНОЙ АНТРОПОТОЛЕРАНТНОСТЬЮ

Мейсуро́ва А.Ф.¹, Нотов А.А.¹, Скрыпник Л.Н.²

¹Тверской государственный университет

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

Лишайники проявляют различную чувствительность к антропогенному воздействию, что позволяет их использовать для оценки состояния окружающей среды. Особое значение они приобретают при выявлении биологически ценных лесов (БЦЛ), а также в рамках комплексной оценки трансформации природных ландшафтов в условиях урбанизированной среды, где

наблюдается преобладание толерантных видов [1, 2]. Различия в степени устойчивости видов лишайников стали базой для создания шкал антропоотолерантности, которые широко применяются в лишеноиндикации. Эти шкалы создаются с учетом характера распространения лишайников в природных и трансформированных местообитаниях на основе изучения разных территорий

и регионов с использованием маршрутного метода [3]. Однако такой подход мало мобильный и трудоемкий. Кроме того, встречаемость и экологическая приуроченность лишайников зависит не только от уровня антропогенного загрязнения, но и природно-климатических особенностей структуры растительного покрова и степени его трансформированности. Это обуславливает существенные региональные различия по составу и структуре шкал, а также характеристикам одних и тех же видов. Кроме того, в шкалах часто отсутствуют данные о наиболее уязвимых, редких видах, индикаторах БЦЛ. Нередко оценка уровня устойчивости бывает достаточно субъективна и не подкрепляется точными количественными данными и параметрами. Все это определяет необходимость разработки подходов к определению интегральных показателей, которые повысили бы объективность лишайноиндикационных шкал и позволили получить дополнительные данные.

В качестве таких параметров могли бы быть сведения о состоянии антиоксидантной системы лишайников, которая имеет большое значение в обеспечении толерантности в условиях стресса [1, 2]. Основные характеристики этой системы коррелируют со степенью устойчивости вида и важны при ранжировании лишайников при создании шкалах. Даже близкородственные виды с различной степенью толерантности могут иметь существенные различия в биохимическом профиле [2]. Среди компонентов системы защиты весьма значимы вторичные метаболиты, в частности, фенольные соединения (ФС), каротиноиды, а также показатель общей антиоксидантной активности (АОА). Эти параметры маркируют устойчивость к экологическому стрессу, толерантность к техногенному загрязнению [4].

В связи разнообразием показателей антиоксидантной системы и четко выраженной их корреляцией со степенью толерантности лишайников, мы стали разрабатывать новый подход к комплексной оценке ее состояния, основанный на определении интегрального биохимического индекса устойчивости (Multi-Parameter Biochemical Sensitivity Index, MPBSI). Этот индекс рассчитывается как среднее арифметическое нормированных значений содержания ФС и каротиноидов, АОА, определенной с помощью трех методов – DPPH, ABTS и FRAP. Такой подход позволяет не только количественно оценивать уровень активности системы антиоксидантной защиты лишайников, но и ранжировать на основе интегрального индекса лишайники по степени их толерантности.

Материал и методы. В качестве модельной территории для сбора образцов лишайников выбрана фоновая зона — Центрально-Лесной государственный биосферный природный заповедник (ЦЛГБПЗ, Тверская область). Эта особо охраняемая природная территория федерального значения отличается высокой степенью сохранности лесных экосистем, значительным богатством эпифитной лишайнобиоты и индикаторных видов БЦЛ [5]. Минимальное антропогенное воздействие делает ЦЛГБПЗ оптимальной модельной территорией для изучения физиолого-биохимических особенностей не только широко распространенных лишайников, но и крайне уязвимых индикаторов БЦЛ. Изучены четыре эпифитных лишайника, существенно различающихся по уровню устойчивости к антропогенному воздействию:

Hypogymnia physodes (L.) Nyl. — один из наиболее толерантных к загрязнению видов, часто встречается в различных местообитаниях, включая разные урбанизированные территории; используется как контрольный (референтный) вид в шкалах [2, 3].

H. tubulosa (Schaer.) Hav. — менее устойчив, чем *H. physodes*, может сохраняться при умеренном загрязнении; нередко исчезает при уничтожении коренных лесов, отличается узкой экологической амплитудой [2, 5].

Nephroma parile (Ach.) Ach. — редкий, уязвимый цианобионтный вид, включен в региональные Красные книги, чувствителен к изменению микроклимата и фрагментации лесных массивов, не переносит загрязнения воздуха [5, 6].

Menegazzia terebrata (Hoffm.) A. Massal. — крайне редкий, исчезнувший во многих регионах уязвимый вид, весьма специализированный индикатор БЦЛ, включен в Красную книгу РФ (2024) [6].

Наличие весьма контрастных по уровню антропо- толерантности видов облегчает выявление корреляций биохимических параметров с уровнями антропо- толерантности.

Образцы лишайников собраны в одном местообитании, в приручевых фитоценозах с серой ольхой, березой пушистой, вязом и липой в условиях высокой вла- гообеспеченности, на коре серой ольхи.

Уровень концентрации ФС определяли в лаборатории спектрофотометрическим методом [2]. Количественное содержание каротиноидов изучали методом прямой спектрофотометрии [7]. Антиоксидантная активность (АОА) измерялась с применением трех разных методов: DPPH, ABTS, FRAP [8].

Для каждого параметра рассчитывали нормированное значение:

$$Ni = \frac{Pi - Pmin}{Pmax - Pmin}$$

где: Ni — нормированное значение параметра; Pi — значение параметра для данного вида; $Pmin$, $Pmax$ — минимальное и максимальное значения параметра среди всех видов.

Затем интегральный показатель MPBSI определяли по формуле:

$$MPBSI = \frac{\sum_{i=1}^n Ni}{n} \times 10$$

где: $n=5$ — общее количество параметров (ФС, каротиноиды, АОА по трем методам).

Полученные значения MPBSI использовали для ранжирования видов по степени толерантности.

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ биохимических параметров позволил с использованием MPBSI количественно охарактеризовать интегральную активность антиоксидантной системы модельных видов и соотнести ее со степенью устойчивости к стрессовым воздействиям. Значения индекса варьировали от 0.79 до 8.10, что свидетельствует о выраженных межвидовых различиях толерантности (табл. 1).

Наибольшее значение MPBSI было зафиксировано у *H. physodes* (8.10), что позволяет рассматривать данный вид как наиболее устойчивый среди изученных модельных лишайников. Для него характерно высокое содержание ФС (18.15 мг/г), средний уровень каротино-

идов (0.11 мг/г), а также максимальные значения АОА: DPPH — 64.67, FRAP — 4.32, ABTS — 83.67 мг-экв. АК/г. Совокупность этих показателей указывает на высокую адаптационную способность *H. physodes* при неблагоприятных воздействиях окружающей среды. Это согласуется с данными литературы и сведениями о высокой устойчивости этого широко распространенного вида, часто используемого в качестве референтного в шкалах антропоустойчивости [3].

Таблица 1. Значения среднего содержания ФС, каротиноидов, АОА и MPBSI у модельных видов.

Вид	ФС, мг/г	Каротиноиды, мг/г	АОА, мг-экв. АК/г сухого веса			MPBSI
			DPPH	FRAP	ABTS	
<i>H. physodes</i>	18.15	0.11	64.67	4.32	83.67	8,1
<i>H. tubulosa</i>	17.38	0.07	52.58	3.57	78.02	5,58
<i>N. parile</i>	7.83	0.39	11,37	11,08	28,78	4,32
<i>M. terebrata</i>	5.85	0.18	14.80	1,87	28,90	0,79

H. tubulosa занимает второе место по активности антиоксидантной системы и толерантности (MPBSI = 5.58). Хотя уровень ФС сопоставим с *H. physodes* (17.38 мг/г), другие параметры ниже, особенно содержание каротиноидов (0.07 мг/г), что может указывать на менее выраженный фотозащитный потенциал. Это также согласуется с данными о более узкой экологической амплитуде и ограниченной встречаемости на урбанизированных территориях и при техногенном загрязнении.

N. parile с MPBSI = 4.32 характеризуется самым высоким содержанием каротиноидов (0.39 мг/г), но относительно низким уровнем ФС (7.83 мг/г). Значения АОА варьируют: высокое значение по FRAP (11.08 мг-экв. АК/г) сочетается с существенно более низкими показателями по DPPH и ABTS. Несмотря на отдельные высокие показатели (FRAP), общая устойчивость вида оценивается как умеренная, что согласуется с его статусом редкого и уязвимого таксона, включенного в Красные книги ряда регионов.

Минимальное значение MPBSI отмечено у *M. terebrata* (0.79). Минимальное содержание ФС (5.85 мг/г), каротиноидов (0.18 мг/г) и крайне низкие значения АОА, определенные всеми тремя методами, под-

тверждают слабую антиоксидантную защиту и высокую чувствительность данного вида к стрессовым факторам, в том числе к трансформации растительного покрова, что обуславливает его статус индикатора БЦЛ.

Таким образом, индекс MPBSI дает возможность оценивать интегральный уровень активности антиоксидантной системы и количественно охарактеризовать сопряженную с ним степень толерантности к стрессовым воздействиям, что позволяет объективно обосновать индикаторную значимость видов. Все это свидетельствует о возможностях использования подхода для дополнения и уточнения существующих лишеноиндикационных шкал. Актуально расширение спектра модельных видов и включение дополнительных для уточнения специфики использования сведений о MPBSI при мониторинге в экосистемах и ландшафтах разной структуры и уровня трансформированности, а также применительно к лишайникам разных систематических и экологических групп.

Список литературы

1. Osyczka P., Kościelniak R., Stanek M. Old-growth forest versus generalist lichens: sensitivity to prolonged desiccation stress and photosynthesis reactivation rate upon rehydration. *Mycologia*. 2024. Vol. 116. № 1. P. 31–43.
2. Мейсурова А.Ф., Нотов А.А., Пунгин А.В., Скрыпник Л.Н. Использование оптической спектроскопии для анализа физиологических показателей и элементного состава у лишайников рода *Hypogymnia* с разной антропоустойчивостью. *Журнал прикладной спектроскопии*. 2024. Т. 91. № 1. С. 74–86.
3. Красногорская Н.Н., Журавлева С.Е., Миннуллина Г.Р. Лишеноиндикационные шкалы оценки качества атмосферного воздуха. *Фундаментальные исследования*. 2004. № 5. С. 38–42.
4. Stojanovic G., Zlatanovic I., Zrnzevic I., Stankovic M., Jovanovic V.S., Zlatkovic B. *Hypogymnia tubulosa* extracts: chemical profile and biological activities. *Natural Product Research*. 2018. Vol. 32. № 22. P. 2735–2739.
5. Нотов А.А., Гимельбрант Д.Е., Степанчикова И.С., Волков В.П. Дополнение к лишенофлоре Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. *Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология*. 2022. № 2(66). С. 122–132.
6. Красная книга Тверской области. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стратегия ЭКО, 2024. 600 с.
7. Nguyen K., Chollet-Krugler M., Gouault N., Tomasi S. UV-protectant metabolites from lichens and their symbiotic partners. *Natural Product Reports*. 2013. Vol. 30. P. 1490–1508.
8. Скрыпник Л.Н., Курашова А.А. Сравнительное исследование антиоксидантных свойств растений некоторых видов рода *Sambucus* L.. *Химия растительного сырья*. 2019. № 1. С. 127–137.

АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИИ *PANDOREA* SP. ПРОТИВ РЕЗИСТЕНТНЫХ ПОЛУЛЯЦИЙ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ И ФИТОПАТОГЕНОВ

Савицкий С.А., Волинчикова Е.А.
Фирма *Август*, Москва

Почва является резервуаром и биотопом множества значимых микроорганизмов. В настоящее время активно встает вопрос эволюции резистентности патогенов к химическим средствам защиты растений [1,2], в то время как продолжают обнаруживаться полезные с биотехнологической точки зрения свойства многих аборигенных видов микроорганизмов [3]. Биоконтроль, выступающий как альтернатива химическому контролю, способен не только подавлять жизнедеятельность патогенных организмов, но и, за счет снижения конкурентности, увеличивать биоразнообразие и количественный состав почвенной микробиоты. Исследования в области поиска новых инструментов, имеющих потенциал к

использованию в качестве микробиометода, является важной частью в борьбе с химически-устойчивыми видами. Одним из таких новых средств биоконтроля может стать бактериальный препарат на основе бактерии *Pandora* sp. **которая продемонстрировала высокие показатели ингибирования хозяйственно-значимых родов микромикетов.**

В Георгиевском и Александровском районах Ставропольского края были отобраны почвенные образцы из яблоневых садов, имеющих деревья разных лет высадки. После инкубации тест-культур, образовавшихся из помещенной на картофельно-глюкозный агар почвенной суспензии, с помощью методов световой микроскопии проведен анализ количественного и

качественного состава микробиоты образцов A1/5, A2/6, A3/7, A4/8, A5/9, A6/12, И14, И16, И17, И14 и И106. Имеющиеся популяции микромицетов были протестированы на предмет устойчивости к 2 популярным системными фунгицидам (дифеноконазол, азоксистробин). Препараты были добавлены в среду, по которой была распределена серийно разведенная почвенная суспензия. Далее была исследована антагонистическая активность бактерий в отношении аборигенной микробиоты. По экватору чашки Петри был проведен бактериальный штрих отобранных ранее колоний, с двух сторон, на полюсах были заложены вырезанные сверлом мицелиальные блоки. Фотографии чашек после инкубации проанализированы в программе ImageJ, измерена площадь образовавшегося на чашках мицелия, сравнены показатели подавления грибных колоний по каждому из образцов. С помощью методов молекулярно-генетического анализа, основанного на секвенировании последовательности 16S рРНК, установлена родовая принадлежность штамма, обладающего наибольшей антагонистической активностью.

Проведена оценка эффективности применения обнаруженных на образцах A1/5, A3/7, A5/9, И17 штаммов-антагонистов для ограничения численности найденных устойчивых к фунгицидам популяций почвенных микромицетов. Обнаруженные штаммы были сравнены с коммерческими биопрепаратами (Фитоспорин-м, Алирин), а также коллекционным бактериальным штаммом-антагонистом *Bacillus subtilis* Ag-03.

Биоконтрольный потенциал штаммов-антагонистов был исследован в отношении широкого спектра микромицетов: на устойчивых к фунгицидам почвенных изолятах (*Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp.), а также на коллекционных изолятах фитопатогенов (*Macrophomina phaseolina*, *Fusarium oxysporum*, *Paraphomopsis obscurans*). Проведенный анализ продемонстрировал эффективность различных бактериальных штаммов в ингибировании роста микромицетов. Общие закономерности позволили выделить наиболее активные штаммы против определенных микромицетов. Испытания на аборигенных популяциях показали, что *Alternaria* sp. была наиболее подвержена действию штамма A3/7 (97,3%), остальные образцы показывали меньшие проценты ингибирования (A1/5-65,3%, A5/9-66% и И17-64,7%), тогда как Фитоспорин-М и Алирин проявили умеренную активность (51,1% и 54,4%, соответственно). *Fusarium* sp. также был наиболее чувствителен к A3/7 (94,79%), но остальные штаммы показали значительно более слабые результаты (Алирин-44,9%, A5/9-39,77%, A1/5-38,89%, И17-36,79% и Фитоспорин-м-11%). *Penicillium* sp. в большей подавлялся штаммами A3/7 (74,77%), A5/9 (72,15%) и A1/5 (67,41%). Образец И17 продемонстрировал средние показатели подавления (66,29%), тогда как Алирин

и Фитоспорин оказались наименее эффективными (8,21% и 26,22%, соответственно).

Ингибирование изолятов лабораторной коллекции показало, что *Macrophomina phaseolina* сильнее всего подавляется A3/7 (52,44%), а остальные штаммы показали эффективность в пределах 36% (A1/5-35,58%, И17-34,64%, Ag-03-31,41%, A5/9-29,51%). *Fusarium oxysporum* из коллекции наименее чувствителен к бактериальным штаммам Ag-03, который показал всего 1,54% ингибирования, в то время как штамм A3/7 оказался наиболее действенным (59,35%). Остальные образцы продемонстрировали низкие показатели ингибирования в пределах 26% (A1/5-25,84%, A5/9-22,06% и И17-20,5%). *Paraphomopsis obscurans* проявлял максимальную чувствительность к образцу A3/7 (64,6%), тогда как остальные штаммы демонстрируют эффективность в следующем диапазоне: A1/5-27,44%, И17-28,63%, Ag-03 -32,23% и A5/9-32,82%.

В целом, штамм A3/7 обладал наибольшим процентом ингибирования во всех вариантах опыта. Молекулярно-генетический анализ штамма A3/7, обладающего наибольшей антагонистической активностью, позволил идентифицировать его как – *Pandora* sp. — представителя бактерий рода *Pandora* из семейства *Burkholderiaceae* [4]. Обнаруженная бактерия относится к группе аэробных неферментирующих неспорообразующих грамотрицательных палочек и остается до сих пор относительно мало изученной. Коллекционный штамм будет исследован на антагонистические свойства к другим патогенам.

Обнаруженные штаммы демонстрировали антагонистическую активность против аборигенных популяций микромицетов. Наибольшими потенциальными антагонистическими свойствами обладает штамм *Pandora* sp., превосходя при этом имеющиеся на рынке эталонные препараты Фитоспорин-м и Алирин во всех вариантах опыта. Дальнейшие исследования покажут возможные свойства данного вида против других почвенных патогенов.

Список литературы

1. Narayanasamy P., «Molecular Biology of Pathogen Resistance to Chemicals», 2008., In: Molecular Biology in Plant Pathogenesis and Disease Management. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-1-4020-8247-4_7
2. Palmieri D., Ianiri G., Del Grosso C., et al., «Advances and Perspectives in the Use of Biocontrol Agents against Fungal Plant Diseases», 2022 Horticulturae, 8(7), 577; DOI: 10.3390/horticulturae8070577
3. BiBi A., Bibi S., Al-Ghouti M.A., Abu-Dieyeh M.H., «Isolation and evaluation of Qatari soil rhizobacteria for antagonistic potential against phytopathogens and growth promotion in tomato plants», Scientific Reports volume 13, Article number: 22050 (2023)
4. Kruis T., Menzel P., Schwarzer R., et al., «Outbreak of *Pandora* commensals among Non-Cystic Fibrosis Intensive Care Patients, Germany, 2019–2021», 2023., In Emerging Infectious Diseases., DOI: 10.3201/eid2911.230493

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБОВ *HIRSUTELLA THOMPSONII*

Саврасов Е.С., Минаков Д.В., Пикаревская Е.Г.
Алтайский государственный университет, Барнаул

Введение. Неблагоприятное воздействие при обработке растений химическими инсектицидами на здоровье теплокровных животных, насекомых опылителей и экологию в целом, доказано множеством научных

работ. Помимо этого, замечена развивающаяся резистентность вредителей, что приводит к разработке новых видов пестицидов [1].

В следствии чего актуальным является поиск экологически безопасных методов защиты растений. В качестве таких мер может быть использован метод микобиоконтроля. Микобиоконтроль – это использование мицелия спор и конидий грибов в биологических процессах для снижения плотности насекомых с целью уменьшения болезнетворной активности и, как следствие, повреждения урожая. Энтомопатогенные грибы как агенты биоконтроля имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными инсектицидами. К ним относятся высокая эффективность, безопасность для «полезных» организмов, и биоразлагаемость [2].

В общей сложности существует около 750 видов грибов, способных вызвать заражение как широкого спектра насекомых, так и отдельных видов. Микопатогены производят споры или конидии, которые заражают своего хозяина, прорастая внутрь его тела. Летальность наступает между 4 и 10 днями, в зависимости от вида гриба и количества заражающих спор. После гибели гриб производит на теле множество новых спор, которые распространяются и продолжают свой жизненный цикл.

Наиболее перспективным для создания биопрепарата является гриб *Hirsutella thompsonii*, так как способен воздействовать на широкий круг насекомых вредителей, при этом не наносит вреда опылителям.

В научной литературе, крайне мало информации об оптимальном составе и условиях культивирования выбранного гриба, а представленная информация сильно разнится. Так же представлено мало научной информации о создании из данного вида биоинсектицида, опубликованные исследования весьма устаревши и ведут эпизодический характер.

В связи с вышеописанным, актуальным является разработка оптимальных условий культивирования гриба с целью создания на его основе биологического инсектицида.

Материалы и методы. Для исследования оптимальных условий культивирования мицелия *Hirsutella thompsonii* глубинным методом, необходимо провести ряд подготовительных работ, включающих следующие этапы:

- Культивирование мицелия в чашках Петри на агаризованной среде.
- Оптимизация процесса культивирования мицелия в качалочных колбах на орбитальном шейкере инкубаторе.
- Оптимизация условий культивирования мицелия в ферментере ФА-05.

Штамм культуры *Hirsutella thompsonii* F.E. Fischer 1950 F-3431 был получен из Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). Мицелий культивировали поверхностным методом на плотной питательной среде следующего состава: 4,46% солодовый экстракт (ООО «Своя кружка» Россия), 1,87% микробиологический агар (НИЦФ), 93,6% дистиллированная вода. Культивирование проводили при температуре 26±1 °С, без доступа света, при относительной влажности воздуха 70±10%, в лабораторном суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ (Россия).

Глубинное культивирование мицелия проводили в качалочных колбах Эрленмейера объемом 250 мл заполненных на 50-150 мл. Колбы для культивирования помещали в лабораторный орбитальный шейкер-инкубатор

ES-20 (производство Латвия), при температуре 22±1°С и перемешивании 160 об/мин.

Глубинное культивирование мицелия проводили в ферментере ФА-05 (производство Россия) на основе метода полного факторного эксперимента [3], подбор оптимальных условий культивирования проводили по следующим параметрам: концентрация фрагментов насекомых в составе питательной среды (%), скорость вращения мешалки (об/мин), аэрация (л/мин) и время культивирования (ч), инокуляцию проводили глубинной культурой в количестве 5% от объема среды.

Определение биомассы в жидких питательных средах определяли весовым методом по ГОСТ Р 56885-2016. Определение общего содержания сахаров в культуральной жидкости и питательной среде проводили по ОФС.1.2.3.0019.15.

Результаты исследований и их обсуждение

Колонии *H. thompsonii* в чашках Петри имеют характерный плоский вид, но слегка приподнятый над уровнем среды, с серым, рыхлым, пушистым мицелием и коричневатым оттенком, до серовато-зеленого цвета субстрата. Гифы 1,5–2,0 мм шириной, гладкие. Конидиогенные клетки возникают одиночно, через промежутки от вегетативных гиф, моно- или полифалидные, неравномерно бородавчатые, с колбовидным основанием и узкой шейкой. Шейка неразветвленная, с единичными энтеробластными конидиями на кончике ветки (рисунок 1). Продолжительность зарастания чашки Петри диаметром 90 мм составила 72 ч.

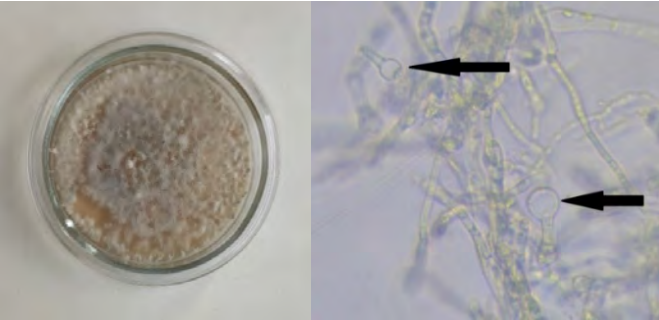


Рисунок 1. Колонии мицелия *Hirsutella thompsonii*.

Для выявления наиболее оптимального состава питательной среды для глубинного культивирования, было опробовано три различных состава:

- 1) 4,55% солодовый экстракт, 95,45% дистиллированная вода.
- 2) 1,95% меласса свекловичная, 0,1% кукурузный экстракт, 0,2% солодовый экстракт, 97,85% дистиллированная вода.
- 3) 0,3% солодовый экстракт, 0,54% пептон основной сухой, 0,3% дрожжевой экстракт, 1,21% глюкоза, 97,65% дистиллированная вода.

Таблица 1. Выход биомассы и продолжительность культивирования на различных средах.

Состав среды	Продолжительность культивирования, ч	Выход биомассы, г/л
Питательная среда №1	120	5,6±0,2
Питательная среда №2	84	6,13±0,2
Питательная среда №3	92	6,15±0,1

На рисунке 2 представлены фотографии глубинного мицелия, выращенного на этих средах. Визуально

видно, что наиболее интенсивный рост отмечен на средах №2 и №3, что подтверждается по выходу биомассы (табл. 1). Питательная среда №3, показала наибольший выход по биомассе, но в связи с тем, что ее компоненты являются дорогостоящими, а выход биомассы лишь немного превосходит питательную среду №2, ее использование нецелесообразно с экономической точки зрения.

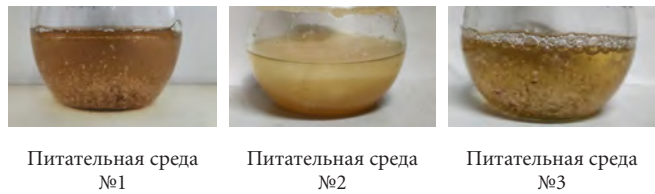


Рисунок 2. Фотографии культуральной жидкости на различных питательных средах.

На рисунке 3 представлена динамика роста и потребления сахаров культурой *H.thompsonii* на наиболее рациональной среде №2.

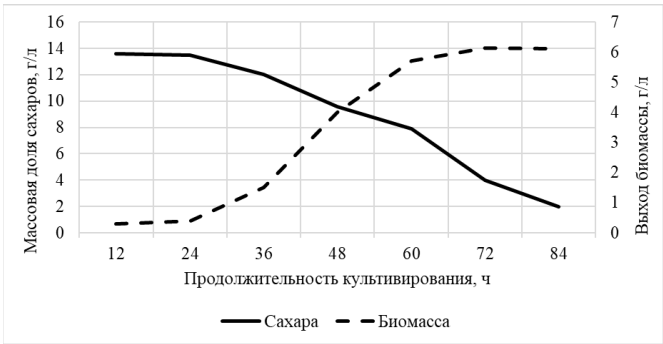


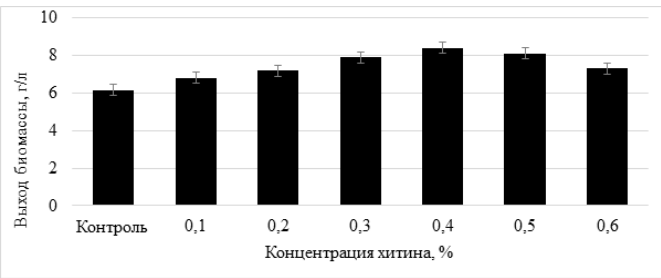
Рисунок 3. Динамика накопления биомассы и потребления сахаров культурой *H.thompsonii* в качалочных колбах.

В результате исследований установлено, что первые 12 часов являются стационарной фазой развития мицелия. В этот период происходит адаптация к новой питательной среде. С 12 до 24 часов происходит лаг-фаза в которой скорость роста мицелия невелика, во время этой фазы происходит окончание адаптации мицелия к компонентам питательной среды и условиям культивирования. В период от 24 ч до 60 ч зафиксирована фаза экспоненциального роста, размножение клеток грибов идет с наивысшей скоростью. Содержание сахаров в культуральной жидкости заметно снижается. С 72 ч начинается фаза замедления роста. Активность мицелия снижается. Причиной замедления роста служит истощение питательной среды и накопления продуктов жизнедеятельности. С 82 ч начинается пятая фаза – стационарная. Биомасса практически не увеличивается, число сахаров почти достигло минимума. Биомасса мицелия в среде достигает максимума [4].

Известно, что энтомопатогенные грибы способны реагировать на присутствие в питательной среде хитинсодержащих материалов. Целесообразным является добавление в субстрат измельченных фрагментов насекомых с целью стимуляции роста, с этой целью, в питательную среду вносились измельченные *Musca domestica* [5].

На рисунке 4 представлена диаграмма по выходу биомассы в зависимости от количества добавления фрагментов насекомых.

Рисунок 4. Выход биомассы в зависимости от концентрации фрагментов насекомых.



Таким образом, оптимальной концентрацией ФН в питательной среде №2 можно считать 0,4% при продолжительности процесса культивирования 84 ч.

Также было исследовано влияние скорости перемешивания питательной среды, объема жидкости в качалочных колбах и температуры культивирования мицелия.

Для создания оптимальных условий культивирования мицелия в биореакторе использовали метод математического моделирования. В качестве факторов варьирования взяты время культивирования, аэрация, скорость вращения мешалки и концентрация фрагментов насекомых. Результаты по расчету оптимальных условий представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные условия глубинного культивирования *H.thompsonii*.

Параметры				Выход биомассы, г/л
Время культивирования, ч	Аэрация, л/мин	Скорость вращения мешалки, об/мин	Концентрация фрагментов насекомых, %	
84,00	1,18	183,73	0,46	17,5

Заключение. Установлены культурально-морфологические характеристики колоний *H.thompsonii*: цвет – бело-зеленый; профиль – бугристый, врастающий в субстрат; форма – неправильная; консистенция – войлокообразная; край – зубчатый. Исследован процесс глубинного культивирования мицелия в качалочных колбах и ферментере ФА-05 на трех питательных средах. Максимальный выход биомассы мицелия составил 6,13 г/л на среде с мелассой, солодовым и кукурузным экстрактом. Проведены исследования по оптимизации питательной среды и условий культивирования мицелия в качалочных колбах на орбитальном шейкере-инкубаторе ES-20. Установлено, что выход мицелия при добавлении в питательную среду с мелассой фрагментов насекомых *Musca domestica* в количестве 0,4% и культивировании при температуре 26°C, объеме среды в колбах 110 мл, перемешивании 180 об/мин, составил 10,2 г/л. Дальнейшая оптимизация условий культивирования мицелия с применением полнофакторного эксперимента позволила установить оптимальные параметры в ферментере объемом 5 л – аэрация 1,18 л/мин, время культивирования 84 ч, скорость вращения мешалки 184 об/мин, концентрация фрагментов насекомых *Musca domestica* 0,46%.

«Исследование выполнено в рамках реализации Программы развития университета на 2021-2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», проект «Разработка способов выделения и иммобилизации метаболитов из биомассы нематофаговых грибов для создания антигельминтного ветеринарного препарата».

Список литературы

1. Kumar N., Bohatko-Naismith J., Palaniappan K. et al. The usage of insecticides and their health impacts on farmers and farmworkers: a scoping review. J. Public Health 2023. DOI: 10.1007/s10389-023-02164-0
2. Abdelkhalek S.T., Zia S., Abdel-Haleem D.R., Moussa M.A., Izah S.C., Wang MQ. Exploring the Biopesticidal Potential of Edible

Mushrooms. Bioactive Compounds in Edible Mushrooms 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-52642-8_9-1

3. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А. Применение полного факторного эксперимента при проведении исследований. Методические указания. ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. С 16.

4. Cruz-Juarez G., Blanco M.G., Jackson M.A. Nutritional impact on the biomass yield of *Hirsutella citriformis* and sporulation on inorganic substrates. Biocontrol Science and Technology. 2019. Vol. 2. P 14. DOI: 10.1080/09583157.2019.1608508

5. Пат. 2421512С1 Российская Федерация, МПК C12N1/14. Питательная среда для культивирования энтомопатогенных грибов / И.В. Андреева, М.В. Штерншис, О.Н. Сороколетов, О.Г. Томилова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новосибирский государственный аграрный университет. – № 2010109693/10; заявл. 15.03.2010; опубл. 20.06.2011.

ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭНТОМОПАТОГЕННОГО ГИФОМИЦЕТА *LECANICILLIUM LECANII* R. ZARE & W. GAMS

Щербакова Т.И.

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений ГУМ, Кишинев

Растущее население планеты требует все больше продуктов питания, в том числе овощной продукции. Во многих странах мира (Китай, Испания, Япония, Турция, Италия, Мексика, Израиль, Нидерланды и др.) производство овощей круглогодично обеспечивает тепличное хозяйство, что во многом связано с изменением климата. По прогнозам специалистов, в развитых странах растениеводство будет переходить на технологии выращивания большинства сельскохозяйственных культур в защищенном грунте [1].

В то же время из-за воздействия патогенных организмов на овощные культуры, значительно снижаются качество и объемы производимой продукции. Узкий ассортимент химических фунгицидов, инсектицидов и акарицидов, разрешенных к использованию в теплицах, и постоянное их применение формирует резистентность вредных организмов к применяемым токсикантам. Пестицидная устойчивость может сформироваться достаточно быстро – через год-два после начала использования химиката интенсивность его применения значительно возрастает в связи с низким эффектом [2].

Защита растений в защищенном грунте испытывает острый дефицит экологически безопасных и эффективных средств. Альтернативой химическим пестицидам являются биологические препараты на основе живых микроорганизмов.

Одними из известных используемых в теплицах биологических агентов для защиты растений от сосущих вредителей (тли, клещи, белокрылки, трипсы, щитовки) являются энтомопатогенные штаммы вида *Lecanicillium lecanii* R. Zare & W. Gams, 2001, (syn. *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viegas, 1939) – природные патогены насекомых [3].

В последние десятилетия у штаммов *Lecanicillium* обнаружен фунгицидный эффект в отношении возбудителей болезней растений. Кроме того, препараты на основе *Lecanicillium* способствуют усилению микробиологической активности почвы, что благотворно сказывается на устойчивости растений к болезням и повышении урожайности [4].

Объект настоящих исследований – энтомопатогенный гифомицет *Lecanicillium lecanii* штамм 2T20, кол-

лекционный номер в Национальной коллекции CNMN-FE-03, выделен из природной популяции оранжерейной белокрылки с последующим отбором методом пассажей через тест-насекомое. После хранения культуры на искусственных питательных средах в течение 10 лет, проведено четыре пассажа через обыкновенного паутинного клеща (*Tetranychus urticae*) и четыре пассажа через бахчевую тлю (*Aphis gossypii*). Штамм проявляет патогенность в отношении оранжерейной белокрылки (*Trialeurodes vaporariorum*).

Задачей исследований являлось определение фунгицидной активности гифомицета *L. lecanii* по отношению к возбудителям микозов тепличных культур с целью создания полифункционального биопрепарата для защиты растений от сосущих вредителей и комплекса фитопатогенов в условиях закрытого грунта.

Фунгицидную активность штамма CNMN-FE-03 (2T20) по отношению к патогенам растений изучали на агаровых средах методом двойных культур [5]. Для этого общепринятыми в микробиологии методами проводили выделение в чистую культуру возбудителей болезней из пораженных корней, завязей, плодов и других частей растений.

В результате проведенных исследований было установлено, что гифомицет *L. lecanii* проявляет антагонизм к некоторым патогенам и основным механизмом антагонистического взаимодействия с возбудителями болезней является антибиоз, при котором происходит замедление роста колонии патогена на некотором расстоянии от колонии антагониста и образуется зона, в которой рост патогена не наблюдается вследствие выделения антагонистом антибиотических веществ [5]. Зону подавления роста тест-культур измеряли в мм (табл. 1).

Одними из постоянных патогенов тепличных культур являются грибы рода *Alternaria* Nees., поражают многие культуры, вызывая пятнистости: на стеблях томатов, листьях и плодоножках появляются пятна коричневого цвета, на плодах – сухие растрескивающиеся пятна. На листьях огурцов пятна могут покрывать половину листовой пластины, на листьях капусты середина пятен сохнет и крошится, образуются сквозные отверстия. После уборки на хранение кочаны капусты

начинают гнить [6]. Исследования антифунгальной активности *L. lecanii* по отношению к *A. alternata*, выделенному из листьев томата, показали чувствительность патогена к антагонисту, диаметр стерильной зоны в двойной культуре составил 16 мм (табл. 1, рис. 1, а).

Таблица 1. Фунгицидная активность штамма *L. lecanii* CNMN-FE-03 (2T20) по отношению к фитопатогенам в двойной культуре

Тест-культура		Зона подавления роста на 10-е сутки, мм
1	<i>Albifimbria verrucaria</i> (<i>Myrothecium</i>)	5±0,3
2	<i>Alternaria alternata</i>	16±0,4
3	<i>Botrytis cinerea</i>	0
4	<i>Fusarium gibbosum</i>	14±0,4
5	<i>Fusarium graminearum</i> (зона лизиса)	14±0,6
6	<i>Fusarium oxysporum</i>	13±0,7
7	<i>Fusarium solani</i>	12±0,3
8	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	12±0,8
9	<i>Fusarium verticillioides</i>	6±0,4
10	<i>Pythium</i> sp.	0
11	<i>Rhizoctonia solani</i>	0
12	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	6±0,3
13	<i>Thielaviopsis basicola</i>	8±0,6
14	<i>Trichothecium roseum</i>	6±0,3

Fusarium oxysporum Schltdl. – возбудитель фузариозов, гнилей, трахеомикозного увядания многих культур. Патоген выделен из растения огурца, зона подавления роста антагониста и патогена составила 13 мм (табл. 1, рис. 1, б).

Fusarium solani (Mart.) Sacc., распространен повсеместно, возбудитель фузариозов многих культур: корневой гнили рассады огурца, корневой и прикорневой гнили стеблей огурца, фузариозного увядания томатов, перца, баклажан, картофеля. В двойной культуре с гифомицетом *L. lecanii* образует стерильную зону 12 мм (табл. 1, рис 1, в).

Fusarium sporotrichioides Sherb. – поражает различные растения, в число которых входят овощные, технические, плодовые культуры, зерновые злаки, картофель, продуцирует микотоксины. Изолят выделен из плода сладкого перца, зона отсутствия роста с *L. lecanii* составила 12 мм (табл. 1, рис. 1, г).

Fusarium gibbosum Appel et Wt. является возбудителем фузариозов различных культур, составляет комплекс гнилей корневой и прикорневой частей растений огурца, гороха, сои, довсходовой гнили лука, сухой гни-

ли клубней картофеля [6]. Выделен из прикорневой части растения огурца, зона отсутствия роста с *L. lecanii* составила 14 мм.

Fusarium graminearum Schwabe – на овощных является возбудителем фузариозной гнили плодов тыквенных культур [7]. При совместном росте с *L. lecanii* после смыкания колоний образуется зона лизиса 14 мм.

Thielaviopsis basicola (Berk. & Broome) Ferraris – возбудитель черной корневой гнили тыквенных культур, томатов, фасоли, рассады табака и махорки, вызывает массовое выпадение растений в парниках, составляет комплекс патогенов микозного увядания томатов [8]. Выделен из пораженной рассады томатов, в двойной культуре чувствительности к *L. lecanii* не проявил, а при определении фунгицидной активности жидкой культуры с титром 1,6×10⁹ спор/мл методом диффузии в агар, образовавшиеся в процессе культивирования метаболиты сдерживали рост патогена с образованием стерильной зоны 8-10 мм.

Trichothecium roseum (Pers.) Link – вызывает плесневение семян, гниение овощей и фруктов с образованием розовой плесени, продуцирует микотоксины [9]. Выделен с листа томата, в двойной культуре с *L. lecanii* образует зону 6 мм.

Albifimbria verrucaria (Alb. & Schwein.), L.Lombard & Crous, (syn. *Myrothecium verrucaria*) – может поражать все части растений: на листьях образуются пятнистости, некротичные участки могут выпадать, образуя дырчатость, на стеблях и верхушках могут образовываться водяные язвы, которые позднее становятся вдавленными сухими некрозами. При поражении сочных плодов (томаты) образуются вдавленности, кожица плода растрескивается, образуются язвы, плод сгнивает. На твердых плодах (баклажан, огурец) образуются пятна, могут образовываться перетяжки, из-за чего плоды приобретают уродливую форму и выбраковываются. [10]. Патоген продуцирует макроциклические трихотеценовые микотоксины [11]. Выделен из семян огурца, зона отсутствия роста с *L. lecanii* составила 5 мм.

Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary – возбудитель белой гнили многих культур в закрытом и открытом грунте, является наиболее опасной патологией растений. Инфекция развивается на любой части растения, значительно снижает урожайность. Патоген выделен из пораженной завязи огурца, зона отсутствия роста с *L. lecanii* – 6 мм.

При определении фунгицидной активности *L. lecanii* по отношению к особо вредоносным патогенам тепличных культур *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* и *Pythium* sp. образования стерильных зон не происходило, колонизации культур друг другом не отмечено.

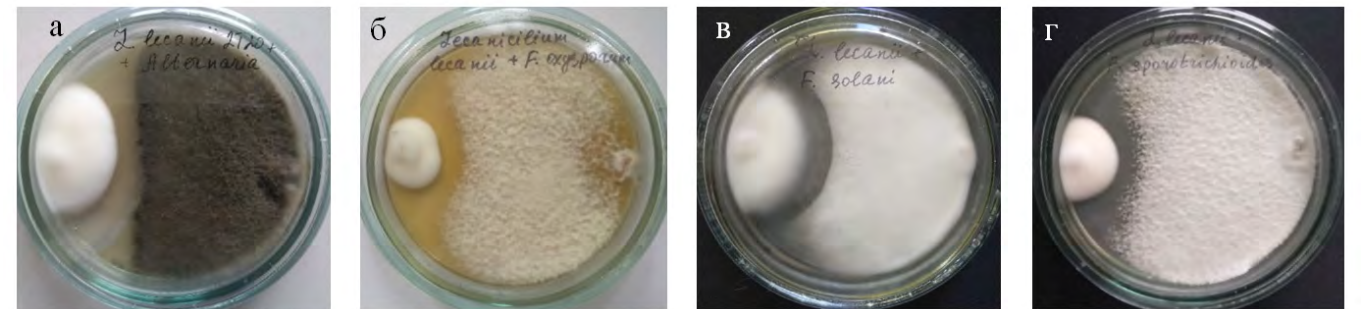


Рисунок 1. Антифунгальная активность гифомицета *L. lecanii* по отношению к фитопатогенам тепличных культур: а) – *Alternaria alternata*, б) – *Fusarium oxysporum*, в) – *Fusarium solani*, г) – *Fusarium sporotrichioides*

Как следует из полученных данных, грифомицет *L. lecanii* штамм CNMN-FE-03 (2T20) обладает высокой фунгицидной активностью против широкого спектра возбудителей грибных болезней растений: фузариозов, пятнистостей, трахеомикозного увядания, гнилей корней, стеблей и плодов. В двойной культуре с патогенами на агаровой питательной среде образуются стерильные зоны радиусом 5-16 мм. Штамм может быть использован для получения полифункционального биопрепарата для защиты растений от сосущих вредителей и комплекса фитопатогенов в условиях теплицы и применяться в экологическом земледелии.

Исследования проведены в рамках проекта Подпрограммы 011103 «Elaborarea mijloacelor ecologic inofensive de reducere a impactului organismelor dăunătoare ale culturilor agricole pe fondalul schimbărilor climatice».

Список литературы

1. Федоренко В.Ф., Колчина Л.М., Горячева И.С. Мировые тенденции технологического развития производства овощей в защищенном грунте. 2-е изд. М.: Юрайт. 2024, 199 с.
2. Zhou W., Li M., Achal V. A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. In: J. Emerging Contaminants, vol. 11(1), 2025, 100410. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100410 .

3. Mitina G.M., Kozlova E.K., Pazyuk I. P. Effect of biopreparation Verticillin M based on the extract from entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and its insecticidal metabolites on the entomophages in greenhouses. In: Plant Protection News, 2018, no. 2(96), p. 28–35. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-2(96)-28-35.
4. Goettel M.S., Koike M., Kim J.J., Aiuchi D., Shinya R., Brodeur J. Potential of *Lecanicillium* spp. for management of insects, nematodes and plant diseases. In: Journal of Invertebrate Pathology, 2008, no. 98, p. 256–261. doi: 10.1016/j.jip.2008.01.009.
5. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. Москва: Наука. 2004. 528 с.
6. Левитин М.М. Сельскохозяйственная фитопатология: учебное пособие для вузов. 3-е изд., испр. М.: Юрайт, 2021, 283 с.
7. Ахатов А.К. Огурцы и томаты в теплицах. Приложение к журналу «Защита и карантин растений» № 2, 2011, 55 с.
8. Богоутдинов Д.З., Фоминых Т.С., Кастальева Т.Б. и др. Методы диагностики возбудителей заболеваний овощных культур: анализ. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020, 116 с.
9. Hamid M.I., Hussain M., Ghazanfar M.U., Raza M., Liu X.Z. *Trichothecium roseum* Causes Fruit Rot of Tomato, Orange, and Apple in Pakistan. In: J. Plant disease. 2014, vol. 98(9), 1271. DOI: 10.1094/PDIS-01-14-0051-PDN.
10. Николаева С., Маржина Л., Николаев А. Патогенные свойства грибов рода *Myrothecium* Tode ex Fries. В: J. Studia Universitatis. 2010, 1(31), p. 88-93.
11. Зайченко А.М., Андриенко В.Е., Циганенко Е.С. Макроциклические трихотеценовые микотоксины: токсичность для теплокровных. J. Современные проблемы токсикологии. 2008, no. 4(44), с. 32-37.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *RAECILOMYCES FUMOSOROSEUS* 16Б-ОК В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ

Скачкова А.Д., Козлов А.В.
РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Микробиологические препараты являются безопасной для окружающей среды альтернативой традиционным химическим пестицидам. Биопрепараты также решают ряд проблем, связанных с развитием устойчивости у вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур. Среди перспективных агентов биоконтроля микромицеты *Raecilomyces* sp. проявляют высокую энтомоцидную, фунгицидную и бактерицидную активность. Представители вида *Raecilomyces fumosoroseus* хорошо известны своей способностью заражать насекомых-вредителей, а также проявлять антагонистические свойства по отношению к фитопатогенным грибам и бактериям, что дает возможность рассматривать данный вид для использования в качестве активного агента в многофункциональных биопестицидах. Целью данного исследования явилась оценка вирулентности и антагонистических свойств штамма *P. fumosoroseus* 16Б-Ок, которые делают возможным его рассмотрение в качестве биоагента для получения биопестицидов.

Выделение штаммов осуществляли методом приманки на гусеницах большой восковой моли *Galleria*

mellonella (Senthilkumar et al., 2021) из почвы, отобранной в пойме р. Дубенка (Московская область, Богородский городской округ) (рис. 1А). Родовую принадлежность микромицета определяли по морфологии роста мицелия и методом микроскопии (рис. 1Б, В). Видовую идентификацию производили с использованием секвенирования internal transcribed spacer (ITS)-региона.

Анализ вирулентных свойств в отношении *G. mellonella* и личинок среднего возраста большого мучного хрущача *Tenebrio molitor* проводили методом экспресс-теста. Для этого личинок и гусениц помещали на поверхность мицелия недельной культуры гриба, выращенной на картофельно-глюкозном агаре (КГА) и через 5 минут переносили в стерильные чашки Петри со смоченной фильтровальной бумагой. Контрольные группы насекомых помещали на стерильный свежий КГА. Насекомых содержали при температуре 23±1°C, ежедневно осматривали. Погибших насекомых промывали в 70%-ом спирте и в стерильной дистиллированной воде (двухкратно), раскладывали во влажные камеры для подтверждения гибели в результате микоза. Антагонистические свойства

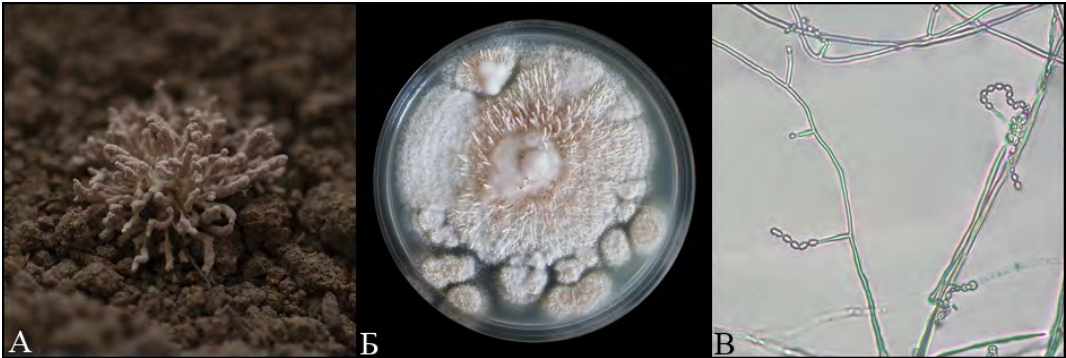


Рисунок 1. Рост *P. fumosoroseus* на поверхности имаго *G. mellonella* (А), мицелий *P. fumosoroseus* (Б), микроскопия (В), 800х.

штамма в отношении фитопатогенных грибов изучали методом встречных культур (Almeida et al., 2007) и рассчитывали индекс ингибирования роста мицелия по отношению к контролю, где фитопатоген выращивали изолированно от антагониста. В работе были рассмотрены следующие штаммы фитопатогенных грибов: *Alternaria solani* 473 – возбудитель альтернариоза картофеля (клубни картофеля, Ленинградская область); *Drechslera teres* – возбудитель сетчатой пятнистости зерновых (лист ячменя, Крым); *Fusarium culmorum* 63 – возбудитель фузариоза ржи злаковых (колос ржи, Нижегородская область); *Fusarium graminearum* MFG 58918 – возбудитель фузариоза колоса злаковых (колос пшеницы, Краснодарский край); *Macrophomina phaseolina* 1 – возбудитель угольной (пепельной) гнили сахарной свеклы (корнеплод сахарной свеклы, Краснодарский край); *Pestalotiopsis funerea* X-001 – возбудитель песталоциопсисового некроза туи (пятикладия туи, Московская область). Наличие бактерицидной активности оценивали методом посева мицелиальных блоков штамма *P. fumosoroseus* 16Б-Ок на поверхность газона следующих фитопатогенных бактерий: *Xanthomonas pisi* 633 (источник выделения неизвестен); *X. arboricola* 614 (выделен из лещины); *X. vasicola* 618 (выделен из бухарника); *X. perforans* 624 (выделен из аргемона); *X. campestris* 610 (выделен из рапса); *Pseudomonas syringae* (выделен из сои, Минск); *Pectobacterium carotovorum* pv. *carotovora* 480 (выделен из томата, Краснодарский край); *Ps. syringae* pv. *tomato* 102 (выделен из стебля томата, Санкт-Петербург); *Clavibacter michiganensis* var. *michiganensis* 101 (выделен из стебля томата, г. Великие Луки). Для этого суспензии бактерий (титр 10^6 КОЕ/мл) наносили на поверхность агара и равномерно распределяли шпателем, сверху размещали блок *P. fumosoroseus* 16Б-Ок. По отсутствию роста бактерий вокруг блока судили о наличии бактерицидных свойств гриба (Дудка, 1982).

Результаты анализа вирулентности штамма в отношении гусениц *G. mellonella* и личинок *T. molitor* показали 100% гибели на 4-е сутки анализа. Результаты реизолирования показали, что гибель получена в результате заражения исследуемым грибом.

Штамм *P. fumosoroseus* 16Б-Ок проявил выраженные антагонистические свойства в отношении фитопатогенных грибов, что подтверждается снижением их роста в совместных культурах. Наибольший индекс ингибирования отмечен для *A. solani* 473 (51%), тогда как для *P. funerea* X-001 и *Dr. teres* он составил 48%, для *F. culmorum* 63 – 44%, *F. graminearum* MFG-58918 – 43%, а для *M. phaseolina* – 40%. Кроме того, штамм продемонстрировал бактерицидную активность, ингибируя рост *X. arboricola* 614 и *C. michiganensis* среди девяти испытанных фитопатогенных бактерий, что подтверждает его очень высокий потенциал как биоконтрольного агента.

Полученные результаты подтверждают перспективность *P. fumosoroseus* 16Б-Ок как многофункционального биопестицида для контроля насекомых-вредителей и фитопатогенов.

Список литературы

1. Senthilkumar M., Amaran N., Sankaranarayanan A. Galleria Bait Technique for the Isolation of Entomopathogenic Fungi from Soil. In: Plant-Microbe Interactions. Springer Protocols Handbooks. Humana, New York, NY. 2021.
2. Almeida F.B., Cerqueira F.M., Silva Rdo, N. Ulhoa C., Lima A. Mycoparasitism studies of Trichoderma harzianum strains against Rhizoctonia solani: Evaluation of coiling and hydrolytic enzyme production. Biotechnology Letters. 2007. V. 29. P. 1189–1193.
3. Дудка И.А., Вассер С.П., Элланская И.А., Коваль Э.З., Горбик Е.Т., Никольская Е.Н. и др. Методы экспериментальной микологии. К: НД, 1982. С. 552.

КОЛЛЕКЦИЯ ГРИБОВ АРБУСКУЛЯРНОЙ МИКОРИЗЫ: ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ МЕХАНИЗМОВ ИХ СИМБИОТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Юрков А.П.

ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург

Известно, что грибы арбускулярной микоризы (АМ), формирующие монофилетическую группу – класс Glomeromycetes (отдел – филум Glomeromycota), образуют симбиоз с большинством наземных растений [1]. АМ-симбиоз является древним (~400 млн. лет; [2]), эволюционно он обеспечил возможность растениям завоевать сушу, поэтому к настоящему времени АМ зачастую играет ключевую роль в стабильности наземных экосистем зоны тайги и степи. Грибы АМ способствуют усилению минерального (особенно фосфорного) питания растений, усиливают рост, ускоряют развитие, повышают адаптивные способности растений к стресс-факторам среды [1]. В связи с вышесказанным создание биопрепаратов для усиления роста растений на основе грибов АМ представляется одним из важных элементов ведения современного сельского хозяйства, направленного на получение экологически чистых продуктов питания для человека. С этой целью нашим коллективом проводится ряд исследований, направленных на выявление молекулярно-генетических механизмов развития эффективного симбиоза растений с грибами АМ и на создание коллекции грибов АМ для выделения штаммов, обладающих хозяйственно ценными признаками для разработки биопрепаратов на их основе.

В части исследования механизмов, контролирующих развитие эффективной АМ, в результате экспериментов на эффективной линии *MLS-1 Medicago lupulina* L., проведенных в условиях различного уровня фосфора в почве, выявлены некоторые маркерные гены и метаболиты, принимающие участие в развитии эффективного АМ-симбиоза с высокоэффективным штаммом RCAM00320 *Rhizophagus irregularis* [3-4]. Начаты сравнительные исследования эффективной и неэффективной линий *M. lupulina* для исключения генов и метаболитов, не принимающих участие в развитии эффективной АМ. Не менее важным этапом работы является сравнительный анализ развития эффективного и неэффективного АМ-симбиоза в двух растительно-микробных системах с участием одной эффективной линии *MLS-1 M. lupulina* и двух грибов АМ разной эффективности – эффективного штамма RCAM00320 *R. irregularis* и неэффективного штамма из коллекции ФГБНУ ВНИИСХМ. В связи с вышесказанным целью настоящего исследования было выявить наименее эффективный (или неэффективный) штамм гриба АМ для последующего применения в модельных экспериментах по сравнительной оценке влияния эффективного и неэффективного штамма на транскриптом и метаболом растения-хозяина.

Таблица 1. Коллекции грибов арбускулярной микоризы.

№ п.п.	Коллекция грибов АМ	Страна	Число изолятов	Число видов	Сайт
1	Международный банк Glomeromycota, the International Bank for the Glomeromycota (BEG)	Франция	23	20	http://www.i-beg.eu
2	Бельгийская коллекция Glomeromycota In vitro Collection BCCM™/MUCL (GINCO-Bel)	Бельгия	11	5	https://bccm.belspo.be/MUCL-catalogue-search (https://www.mycorrhiza.be/ginco-bel)
3	Канадская коллекция Glomeromycota In vitro Collection (GINCO-Can)	Канада	16	6	https://agriculture.canada.ca/en/science/agriculture-and-agri-food-research-centres/canadian-collection-arbuscular-mycorrhizal-fungi-ccamf/catalogue-arbuscular-mycorrhizal-fungi-strains-available-glomeromycetes-vitro-collection
4	Швейцарская коллекция грибов АМ, Swiss Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (SAF)	Швейцария	>200	26	https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/en/home/topics/environment-resources/soil-bodies-water-nutrients/plant-soil-interactions/mycorrhizal-ecology/swiss-collection-of-arbuscular-mycorrhizal-fungi/saf-list-of-isolates.html
5	Индийский центр коллекции микоризных культур, Centre for Mycorrhizal Culture Collection (CMCC)	Индия	50	17	http://mycorrhizae.org.in/cmcc/isolates.php
6	Американская коллекция International Culture Collection of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM)	США	900	78	https://invam.ku.edu/reference-cultures
7	Бразильская международная коллекция культур The International Culture Collection of Glomeromycota (CICG)	Бразилия	22	22	https://sites.google.com/view/cicg-furb-english/amf-cultures/reference-cultures
8	Российская коллекция АМ-грибов ФГБНУ ВНИИСХМ	Россия	>150	>15	нет сайта, подготовку коллекции проводит Юрков А.П. (https://arriam.ru/sotrudniki/sotrudniki4/yurkov-andrej-pavlovich/)

В настоящее время существует 7 известных мировых коллекций грибов АМ (Таблица 1). К ним относятся: BEG (Франция); GINCO-Bel (Бельгия); GINCO-Can (Канада); SAF (Швейцария); CMCC (Индия); INVAM (США); CICG (Бразилия) и создаваемая нами во ФГБНУ ВНИИСХМ первая российская коллекция грибов АМ. Последняя не только обладает набором штаммов грибов разных видов, родов и семейств, но также характеризуется для ряда грибов разных родов образованием спорокарпов, что требует особых подходов.

Для исследования из коллекции ФГБНУ ВНИИСХМ взяты 5 малоактивных по предварительным данным штаммов: 1) 129.1Te (луг 2 г. Малая Хатипара, из под вики заборной, пересев спорокарпом, место отбора изолята: 43°25'51.0»N 41°42'55.0»E); 2) 174Te (долина р. Теберда, пос. Новая Теберда, из под козлятника восточного, пересев кластером спор, место отбора изолята: 43°39'37.0»N 41°53'12.0»E); 3) 161.3Te (луг 3 г. Малая Хатипара, из под манжетки мелкоцветковой, пересев отдельными спорами, место отбора изолята: 43°25'48.0»N 41°42'31.0»E); 4) 189.1Te (долина р. Кубань, пос. Ордженикидзеvский, из под вики заборной, пересев кластерами спор, место отбора изолята: 43°51'38.0»N 41°54'22.0»E); 5) 172Te (долина р. Теберда, пос. Новая Теберда, из под люцерны хмелевидной, место отбора изолята: 43°39'35.0»N 41°53'13.0»E). Штаммы проходят идентификацию с применением разработанного нами алгоритма идентификации [5]. Постановка вегетационного эксперимента в стерильных условиях на почве с низким уровнем доступного для питания фосфора, оценка симбиотической эффективности грибов АМ, оценка параметров микоризации растения-хозяина и статистический анализ проведены согласно ранее описанным методам [3-4]. Оценка показателей продуктивности и микоризации проведена в фазу цветения на 50 сут от посадки и инокуляции. Результаты оценки сим-

биотической эффективности показали, что она была низкой при расчете по сырому весу надземных частей одного растения для штаммов грибов 172Te, 174Te, 189.1 и отсутствовала у штаммов 161.3Te и 129.1Te (Таблица 2). Показатели микоризации, т.е. активности всех проанализированных штаммов в корне растения-хозяина были достоверно ниже, чем у тестового эффективного штамма RCAM00320 (Таблица 3). Штамм 189.1Te характеризовался отсутствием развития везикул.

Таблица 2. Симбиотическая эффективность грибов АМ.

Штамм	Симбиотическая эффективность (%), рассчитанная по:				
	сырому весу надземных частей 1 растения	сырому весу корней 1 растения	высоте стебля	числу листьев на главном стебле	числу междоузлий на главном стебле
161.3Te	-19,2**	-22,7**	-26,4**	-11,0**	-26,2**
129.1Te	-11,7**	-17,7**	-37,6**	-9,1**	-21,6**
172Te	43,2*	11,3**	39,4*	-0,2**	22,4
174Te	32,1*	29,3*	15,7**	-1,8**	-5,1**
189.1Te	34,4*	-13,2**	49,8**	10,6	19,2
RCAM00320	188,9	123,8	126,3	7,9	32,5

Примечание: “-19,2**” – достоверное (P<0.05) отсутствие симбиотической эффективности (значение достоверно не отличается от нулевого); “43,2*” – достоверно (P<0.05) низкое значение симбиотической эффективности в сравнении с тестовым штаммом RCAM00320.

По результатам исследования отобран штамм 161.3Te – низкоактивный (при наличии развития всех симбиотических структур – мицелия, арбускул и везикул) и низкоэффективный штамм с целью использования в следующем эксперименте по анализу влияния эффективного и неэффективного штаммов на метаболизм и транскриптом *M. lupulina*.

Таблица 3. Показатели микоризации *Medicago lupulina* при инокуляции разными штаммами.

Штамм	F, %	M, %	A, %	B, %
161.3Te	29,6*	10,2*	12,5*	2,7*
129.1Te	15,5*	0,7*	3,8*	3,6*
172Te	12,3*	2,7*	3,6*	2,1*
174Te	1,6*	1,6*	1,1*	0,5*
189.1Te	6,1*	4,5*	4,5*	0,0*
RCAM00320	97,8	37,7	39,6	18,0

Примечание: F – встречаемость микоризной инфекции, M – интенсивность развития АМ в корне, А и В – обилие арбускул и везикул в корне, соответственно. “29,6*” – значение показателя достоверно ($P<0.05$) ниже значения для тестового эффективного штамма RCAM00320.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-16-00064-П.

Список литературы

1. Smith S.E., Read D.J. Mycorrhizal symbiosis. 3rd Ed. Cambridge: Academic Press, 2008. – 787 p.
2. Remy W. et al. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM). Proc. Natl. Acad. Sci. – 1994. – V. 91(25). – P. 11841-11843. DOI:10.1073/pnas.91.25.11841.
3. Yurkov A.P. et al. The role of *Medicago lupulina* interaction with *Rhizophagus irregularis* in the determination of root metabolome at early stages of AM symbiosis. Plants. – 2022. – V.11(18). – P. 2338.
4. Yurkov A.P. et al. The effects of *Rhizophagus irregularis* inoculation on transcriptome of *Medicago lupulina* leaves at early vegetative and flowering stages of plant development. Plants. – 2023. – V.12. – P. 3580.
5. Yurkov A. et al. The biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in some ecosystems of the North Caucasus temperate hotspot. J. Fungi. – 2024. – V.10(1). – P. 11.

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Current Mycology in Russia

Том 11

Выпуск 5.

**Сельскохозяйственная
микология**

Volume 11

Issue 5.

**Fungal problems
in agriculture**

Глава 8.

Фитопатогенные грибы

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.08

Chapter 8.

Phytopathogenic fungi

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.08

Глава 9.

**Защита растений, фунгициды
и биопестициды**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.09

Глава 9.

**Fungal disease and crop
protection. Fungicides**

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.09

Содержание выпуска 5

Глава 8. Фитопатогенные грибы

МЕСТО И РОЛЬ АНАМОРФНЫХ И ТЕЛЕОМОРФНЫХ ГРИБОВ В СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МИКОБИОТЫ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ

Алиев И.А.	176
ОПТИМАЛЬНАЯ ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ РОСТА <i>PHYTOPHTHORA INFESTANS</i> IN VITRO	
Андреевская В.М., Лисовой А.М., Рыбкин И.Д., Мельникова В.А., Жемчужина Н.С., Смирнов А.Н., Севостьянова Е.П.	177
ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ <i>CRYPTONECTRIA PARASITICA</i> (MURRILL) M.E. BARR, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ КАШТАНА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ И АБХАЗИИ	
Антипова Т.В., Желифонова В.П., Литовка Ю.А., Баскунов Б.П., Носков А.Е., Павлов И.Н.	179
РИЗОСФЕРНЫЕ АКТИНОМИЦЕТЫ ИЗ ПОЧВ КАЗАХСТАНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГРИБНЫХ ПАТОГЕНОВ СОИ	
Баймаханова Г.Б., Баймаханова Б.Б., Балгимбаева А.С., Треножникова Л.П.	181
РАЗРАБОТКА ИММУНОФЕРМЕНТНОГО ТЕСТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ <i>MICRODOSCHUM</i> SPP. НА ГАЗОННЫХ ТРАВАХ	
Антропова А.Б., Лебедин Ю.С., Майгурова В.Н., Усольцева М.Ю., Таггаева Т.Ю., Эспевиг Т.Е.	181
МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРИБОВ-ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗА ПШЕНИЦЫ	
Бакулина А.В., Бессолицына Е.А., Савинцева Л.С.	183
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ СТЕЛОВ И ВЕТВЕЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА КОРОЛЕВ	
Белов Д.А.	185
ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПОРЯДКА DIAPORTHALES КАК ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БОЛЕЗНЕЙ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ НА ЮГЕ РОССИИ (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ И КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)	
Булгаков Т.С.	186
НОВЫЕ ВИДЫ ГРИБНЫХ ПАТОГЕНОВ КАРТОФЕЛЯ	
Чудинова Е.М., Еланский А.С., Цинделиани А.А., Скоков Д.Н., Еланский С.Н.	187
ГРИБЫ РОДА <i>FUSARIUM</i> НА КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ	
Еланский С.Н.	188
ИНВАЗИВНАЯ МИКОБИОТА АБОРИГЕННОГО И ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ВИДОВ СОСНЫ В БЕЛАРУСИ	
Головченко Л.А., Пантелеев С.В.	191
<i>BERKELEYOMYCES BASICOLA</i> – ВОЗБУДИТЕЛЬ «ЧЕРНОЙ НОЖКИ» КОРНЕВЫХ ОТПРЫСКОВ МАЛИНЫ В ТЕПЛИЦЕ	
Головин С.Е.	192
ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЯВЛЕННОЙ МИКОБИОТЫ НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ	
Камилов Ш.Г., Холмуродов У.Э., Халмуродов Э.А.	193
ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА МИКРОМИЦЕТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА, ВЫДЕЛЕННЫХ С ПОРАЖЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	
Коломиец Т.М., Манукян И.Р., Панкратова Л.Ф.	195
АНТРАКНОЗ (ВОЗБ. <i>COLLETOTRICHUM COCCODES</i>): ВАЖНЫЙ ПОДХОД К ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ПОСАДКАХ КАРТОФЕЛЯ	
Кузнецова М.А., Демидова В.Н., Семенюк И.Н., Вятчинов А.А., Сметанина Т.И., Рогожин А.Н., Ерохова М.Д.	197
ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКРОМИЦЕТОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С РАСТЕНИЯМИ КУКУРУЗЫ МЕКСИКАНСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	
Кузнецова А.А., Смирнова А.В., Костин Н.К., Игнатова И.М.	199
ИЗУЧЕНИЕ ЗАСПОРЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ И КОРНЕПЛОДОВ КАРТОФЕЛЯ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ	
Ларина Г.Е., Серая Л.Г., Мудрченко С.Л.	200
ФИТОПАТОГЕННАЯ МИКОБИОТА НА ЯГОДАХ МАЛИНЫ	
Лавринова В.А., Жидехина Т.В.	202
МИКРОМИЦЕТЫ РОДА <i>RYTHIUM</i> НА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУРАХ	
Лавринова В.А., Полунина Т.С.	204
ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА СЕМЯН СОРГО КАК ЗАЛОГ БУДУЩЕГО ЗДОРОВОГО УРОЖАЯ	
Кинчарова М.Н., Матвиенко Е.В.	205
ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ И ХВОЙНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПРОЦЕССЕ СУКЦЕССИОННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ	
Некляев С.Э., Ларина Г.Е., Серая Л.Г.	206
МЕТАГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ ПАТОГЕНОВ ЗЕМЛЯНИКИ	
Никитинский Д.А., Никитинская Е.В., Очирова Э.М., Игнатов А.Н.	208
К ВОПРОСУ О ПРОРАСТАНИИ СКЛЕРОЦИЕВ <i>CLAVICEPS PURPUREA</i> (FR.) TUL. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗИМНЕГО ПОКОЯ	
Ориненко К.Ю., Смирнов А.Н.	209
ХРАНЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ШТАММОВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ГЕРБАРНЫХ ОБРАЗЦАХ РАСТЕНИЙ-ХОЗЯЕВ	
Пахолкова Е.В., Сальникова Н.Н.	211
МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ МИКОЗОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЯ	
Пантелеев С.В., Константинов А.В., Падутов А.В., Можаровская Л.В., Кирьянов П.С., Разумова О.А., Хархасова И.А., Комарова В.А., Шевко В.Н., Куфко И.Э.	212
ПРОЯВЛЕНИЕ «ЧУВСТВА КВОРУМА» НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ	
Пасечник Т.Д., Осипян М.В.	214

МИКОБИОТА СЕМЯН РЕДЬКИ МАСЛИЧНОЙ, ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ И СУРЕПИЦЫ (ВНИИ КОРМОВ, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)	
Пирязева Е.А., Зотова Е.В., Сергеева С.Е.	217
О ВЫЯВЛЕНИИ В БЕЛАРУСИ АНТРАКНОЗА ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ	
Поликсенова В.Д., Федюшко И.А., Горнак А.Ю.	218
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА СПОРОБАКТЕРИН, СП НА ЗЕМЛЯНИКЕ САДОВОЙ В ЗАЩИТЕ ОТ СЕРОЙ ГНИЛИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ	
Приходько Е.С., Смирнов А.Н.	220
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРИБОВ ВИДА <i>MACROPHOMINA PHASEOLINA</i> , ВЫЗЫВАЮЩИХ ПЕПЕЛЬНУЮ ГНИЛЬ РАСТЕНИЙ СОИ (<i>GLYCINE MAX</i> (L.) MERR.) В УЗБЕКИСТАНЕ	
Рузметов Д.Р., Шеримбетов А.Г., Адилев Б.Ш., Примкулов Ш.Х.	221
ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ ГРИБЫ, ОБИТАЮЩИЕ НА ДРЕВЕСИНЕ ОСИНЫ В ЮЖНОМ ПРИУРАЛЬЕ	
Сафонов М.А.	222
ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В ОЗЕЛЕНЕНИИ РАЗНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ	
Серая Л.Г., Ларина Г.Е.	223
МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННОЙ МИКОБИОТЫ В СВЕКЛОВИЧНЫХ АГРОЦЕНОЗАХ РЕГИОНОВ РФ	
Шамин А.А., Стогниенко О.И.	225
ИЗМЕНЧИВОСТЬ КУЛЬТУРАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ИЗОЛЯТОВ <i>CLAVICEPS PURPUREA</i> (FR.) TUL И ИХ ПАТОГЕННОСТЬ	
Щеклеина Л.М., Шешегова Т.К.	227
ВИДОВОЙ СОСТАВ И МИКОТОКСИГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКОФЛОРЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР	
Шевелева С.А., Седова И.Б., Маркова Ю.М., Чалый З.А., Полянина А.С., Стеценко В.В., Быкова И.Б., Минаева Л.П., Ефимочкина Н.Р.	228
МИКОЗЫ ОХРАНЯЕМЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ	
Ширнина Л.В.	231
ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИТОПАТОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ БИОТРОФНЫХ ГРИБОВ	
Сколотнева Е.С., Коломиец Т.М., Щербань А.Б.	232
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФОМОПСИСОВ СОИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
Сурина Т.А., Кузнецова А.А., Костин Н.К., Зайцева Л.В., Смирнова А.В.	232
УСТОЙЧИВОСТЬ К ТИАБЕНДАЗОЛУ ГРИБОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С РАСТЕНИЯМИ КАРТОФЕЛЯ И ТОМАТА	
Цинделиани А.А., Скоков Д.Н., Еланский А.С., Еланский С.Н., Чудинова Е.М.	234
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ФИТОПАТОГЕННОГО ГРИБА <i>VERTICILLIUM DANTLAE</i> КЛЕВ. В КОРЕНЬ ХЛОПЧАТНИКА МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	
Власова Т.А., Агеева И.В.	235
ИММУНОМОДУЛИРУЮЩИЙ ПРЕПАРАТ В КОНТРОЛЕ БОЛЕЗНЕЙ ГРИБНОЙ ЭТИОЛОГИИ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ	
Войтка Д.В., Михнюк А.В., Кабашникова Л.Ф.	236
РЕДКО ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ВИДЫ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ РОДА <i>FUSARIUM</i> В ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОЛЛЕКЦИИ ФИТОПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ФГБНУ ВНИИФ	
Жемчужина Н.С., Александрова А.В., Киселева М.И., Андреевская В.М.	238

Глава 9. Защита растений, фунгициды и биопестициды

АНТИФУНГАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММА БАКТЕРИЙ <i>PANTOEAGGLOMERANS</i>	220
Бесараб Н.В., Лукашевич В.А., Поликсенова В.Д., Николайчик Е.А.	241
АНТИФУНГАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ КОНСЕРВАНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ОТНОШЕНИИ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ <i>PENICILLIUM</i> SP.	
Данилова Д.Ю., Сидоренко А.В.	242
ИЗУЧЕНИЕ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ <i>BACILLUS GINSENGIHUMI</i> M 2.11	
Дроздова М.С., Иткина Д.Л.	244
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТАММОВ <i>TRICHODERMA HARZIANUM</i> В КАЧЕСТВЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО АГЕНТА БИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И БИОУДОБРЕНИЯ	
Григорян К.М., Овсепян В.В., Саргсян М.П.	244
ПАТОГЕННОСТЬ ШТАММОВ ГРИБОВ <i>FUSARIUM ACUMINATUM</i> И <i>F. TRICINCTUM</i> И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИХ К ДЕЙСТВУЮЩИМ ВЕЩЕСТВАМ ФУНГИЦИДОВ	
Максимов А.Ю., Гагкаева Т.Ю.	246
ВЛИЯНИЕ ФУНГИЦИДОВ НА ИНГИБИРОВАНИЕ РОСТА МИЦЕЛИЯ ФИТОПАТОГЕННОГО ГРИБА <i>FUSARIUM OXYSPORUM</i>	
Малахова С.Д.	248
ПЕРВИЧНЫЙ СКРИНИНГ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ШТАММОВ-АНТАГОНИСТОВ Р. <i>BACILLUS</i> В ОТНОШЕНИИ <i>COLLETOTRICHUM</i> SP, ВОЗБУДИТЕЛЯ АНТРАКНОЗНОЙ ГНИЛИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ В ПЕРИОД ХРАНЕНИЯ	
Марченко Н.А., Маслиенко Л.В., Якуба Г.В.	249
ФУНГИЦИДНЫЕ И РОСТСТимулирующие СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ СЕРЫ	
Массалимов И.А., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С.	251
БАКТЕРИЦИДНЫЕ И ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ <i>HERACLEUM SOSNOWSKYI</i>	
Обернихина Н.И., Волчек И.А., Теряев А.С., Ефремова Г.И.	253
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ БИОФУНГИЦИДА БИНОРАМА™ НА РОСТ РАСТЕНИЙ	
Панчук С.В., Игнатов А.Н.	254

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГЕРБИЦИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШТАММОВ ГРИБОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	
Шеина Н.И., Буданова Е.В.	255
ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ЭНДОФИТНЫХ ДРОЖЖЕЙ ПЛОДОВ РАСТЕНИЙ	
Шодиева Д.Г., Абдульмянова Л.И.	256
ВЛИЯНИЕ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ, НА СПОРЫ И ВЕГЕТАТИВНЫЙ МИЦЕЛИЙ МИКРОМИЦЕТОВ	
Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н., Аникина Н.А., Шишкин А.Ю., Шишкина К.А.	258
КОМПЛЕКСНЫЙ ФУНГИЦИДНЫЙ ПРЕПАРАТ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ	
Стрельцова Н.В., Прудникова С.В.	259
НОВЫЙ ШТАММ <i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i> , АКТИВНЫЙ В ОТНОШЕНИИ ГРИБНЫХ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ	
Текутов А.Р., Калмантаев Т.А., Жиглецова С.К., Клыкова М.В., Дунайцев И.А.	261
АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ХЕМОБИОГЕННЫЕ НАНО(SE, AG, AU)-СОДЕРЖАЩИЕ СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛТРИАЗОЛА И ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ БАЗИДИОМИЦЕТОВ	
Цивилева О.М., Иванова А.А., Поздняков А.С., Прозорова Г.Ф.	263
ЭФФЕКТИВНОЕ УСТРАНЕНИЕ ФУЗАРИОЗА НА ХВОЙНЫХ КУЛЬТУРАХ ЗА СЧЕТ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ГРИБА <i>CLONOSTACHYS ROSEA F CATENULATA</i> V1349 В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ.	
Варфоломеева Е.А., Альдекеева В.Б.	265
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ТЕБУКОНАЗОЛУ ИЗОЛЯТОВ <i>ZYMOSEPTORIA TRITICIS</i> В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
Зеленева Ю.В., Зубко Н.Г., Гришечкина Л.Д., Чернышова С.К.	267

Глава 8

Фитопатогенные грибы

10.14427/cmr.2025.xi.08

МЕСТО И РОЛЬ АНАМОРФНЫХ И ТЕЛЕОМОРФНЫХ ГРИБОВ В СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МИКОБИОТЫ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ

Алиев И.А

Институт Микробиологии Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики, Баку

В последнее время во всем мире защита биоэкологического баланса привела к активизации фитопатогенных грибов, что создало реальную основу для возникновения весьма серьезных патологий в автотрофном блоке, в том числе у сельскохозяйственных растений. Поэтому повышение продуктивности сельскохозяйственных растений, а также кормовых растений является одним из основных принципов Программы продовольственной безопасности ООН. Стало известно, что борьба с болезнями растений и их возбудителями чрезвычайно важна для повышения продуктивности сельскохозяйственных растений [1;6]. Так, заражение кормовых растений фитопатогенными микроорганизмами, в том числе микроскопическими грибами, приводит к снижению урожайности, снижению качества собираемой продукции, что приводит к увеличению производственных затрат и значительному удорожанию получаемой продукции. Это – экономические потери в сфере сельского хозяйства, исчисляемые миллиардами долларов, а это означает потери производства до 35% [5; 8].

Следует отметить, что аграрный сектор занимает важное место в экономике нашей республики и сельскохозяйственные растения выращиваются в больших масштабах практически во всех регионах. Если принять во внимание, что негативные ситуации, возникшие в результате ухудшения экологической обстановки в мировом масштабе, не обошли стороной и нашу республику, то становится понятно, насколько актуальны проводимые нами исследования [2; 7].

Целью представленной работы было определение места анаморфных, плеоморфных и телеоморфных грибов в структурной организации микобиоты разных сортов кормовых растений, в том числе зерновых, возделываемых в районах Муганского района нашей республики (Биласувар, Имишли, Саатлы) и оценка заболеваний, вызываемых их патогенными представителями.

Исследования проводились в хозяйствах районов Муганской зоны, в том числе Биласувара, Имишли и Саатлы. Собранные пробы были взяты из надземных и подземных органов как твердых сортов пшеницы (*Triticum durum* Dest), так и мягких сортов зерновых растений, возделываемых на сельскохозяйственных полях. Для отбора проб использовали плановые маршрутные стационарные методы наблюдения, широко используемые в микологии. Следует отметить, что отбор проб проводился в разные сезоны года и в разные фазы вегетации зерновых растений. В ходе исследований было отобрано более 150 проб преимущественно 2 сортов злаковых растений и проведены микологические исследования [3;4;9;10;11].

Зерновые культуры и продукция из них считаются одним из основных стратегических продуктов, обеспечивающих экономическую стабильность каждой страны. Следует отметить, что в Азербайджане для посадки

используются различные сорта пшеницы и существуют древние традиции ее выращивания. В ходе исследований были изучены сорта мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) и твердой пшеницы (*Triticum durum*), которые в основном используются как пищевые, так и кормовые. Установлено, что в формировании микобиоты растений пшеницы принимают участие 46 видов микромицетов, принадлежащих к 22 родам.

Таблица 1. Структурная организация микобиоты злаковых растений.

№	Микромицеты	Кол-во видов	Анаморфы	Плеоморфы	Телеоморфы
1	<i>Alternaria alternata</i>	2	+	+	-
2	<i>A.solani</i>		+	+	-
3	<i>Ascochyta hordei</i>	2	+	+	-
4	<i>A.sojinata</i>		+	-	-
5	<i>Aspergillus flavus</i>	4	+	+	-
6	<i>A.fumigatus</i>		+	+	-
7	<i>A.ochraceus</i>		+	+	-
8	<i>A.versicolor</i>		+	+	-
9	<i>Blumeria graminis</i>	1	-	-	+
10	<i>Botrytis cinerea</i>	1	+	+	-
11	<i>Cercospora beticola</i>	3	+	-	-
12	<i>C.fabae</i>		+	+	-
13	<i>C.medicaginis</i>		+	+	-
14	<i>Claviceps purpurea</i>	1	-	+	+
15	<i>Cladosporium herbarum</i>	1	+	+	-
16	<i>Colletrichum gloesporioides</i>	2	+	-	-
17	<i>C.trifolii</i>		+	+	-
18	<i>Erysiphe betae</i>	4	-	+	+
19	<i>E.communis</i>		-	+	+
20	<i>E.cichoracearum</i>		-	-	+
21	<i>E.cruciferarum</i>		-	-	+
22	<i>Gibberella fujikuroi</i>	1	-	-	+
23	<i>Monilia sitophila</i>	1	-	+	+
24	<i>Fusarium avenaceum</i>	5	+	+	-
25	<i>F.moniliforme</i>		+	-	-
26	<i>F.oxysporium</i>		+	-	-
27	<i>F.solani</i>		+	+	-
28	<i>F.sporotrichoides</i>		+	+	-
29	<i>Septoria heilanthii</i>	3	+	-	-
30	<i>S.sajina</i>		+	-	-
31	<i>S.tritica</i>		+	+	-
32	<i>Sclerotinia trifoliorum</i>	1	-	-	+
33	<i>Stemphyllium botryosum</i>	1	+	-	-

34	<i>Penicillium chrysogenum</i>	3	+	-	-
35	<i>P.funiculosum</i>		+	+	-
36	<i>P.martensii</i>		+	+	-
37	<i>Pyrenophora graminea</i>	1	-	-	+
38	<i>Phoma artemisiae</i>	2	+	+	-
39	<i>P.destructiva</i>		+	-	-
40	<i>Ramularia betae</i>	2	+	-	-
41	<i>R.medicaginis</i>		+	+	-
42	<i>Trichoderma asperellum</i>	3	+	-	-
43	<i>T.harzianum</i>		+	-	-
44	<i>T.roseum</i>		+	+	-
45	<i>Verticillium albo-atrum</i>	2	+	-	-
46	<i>V.bulbillosum</i>		+	+	-

Следует отметить, что эта микобиота достаточно богата как по экологическим группам грибов, так и по видовому разнообразию. В формировании растении пшеницы доминирует род *Fusarium* с 5 видами или 10,8% от общей микобиоты, а роды *Aspergillus* и *Erysph* составляют по 4 вида или по 19%. Однако *Cercospora*, *Septoria*, *Penicillium* и *Trichoderma* представлены в общей микобиоте по 3 вида или 26%, *Alternaria*, *Ascochyta*, *Collectrichum*, *Phoma*, *Ramularia* и *Verticillium* – по 2 вида или 25,8%, а остальные роды – по 1 виду или 18,9%. В то же время доминантное ядро микобиоты, образующееся в растении пшеницы, привлекает внимание своим составом. Таким образом, доминирующее ядро составляют виды *Cercospora fabae*, *Monilia sitophila*, *Botrytis cinerea*, *Stemphyllium botryosum* и *Septoria tritica*. Как видно, доминантное ядро сформированной микобиоты не содержит каких-либо видов грибов серьезного характера. Это можно рассматривать как показатель того, что фон заражения на посевной площади невысокий и фитосанитарное состояние находится на удовлетворительном уровне.

Следует отметить, что климатические изменения окружающей среды приводят к дестабилизации био-экологического баланса, что вызывает появление в агрофитоценозах различных патологий, в том числе грибных заболеваний. Таким образом, фитопатогенные грибы, весьма чувствительные к климатическим изменениям, проявляют экологическую пластичность и трансформируются в различные биологические формы, в том числе анаморфы, плеоморфы и телеоморфы (таблица 1).

В частности, при неблагоприятных условиях внешней среды микромицеты прекращают стадию размножения и переходят в спорное состояние. В это время микромицеты, фитопатогенные грибы этого типа, превращаются либо в анаморфные, либо в плеоморфные биологические формы и выступают возбудителями той или иной патологии. Иными словами, как анаморфные, так и плеоморфные грибы, осуществляющие преимущественно патогенную деятельность, представляют собой бесполое биологические формы, образующиеся путем митоза. Следует обратить внимание, что анаморфные биологические формы считаются бесполоыми

грибами. Плеоморфные биологические формы в зависимости от условий образуют либо бесполое споры, либо бесполое репродуктивные органы или конидии. Однако телеоморфные грибы представляют собой биологические формы полового размножения, образующиеся мейотическим путем. В то же время в ходе исследований выяснилось, что телеоморфные биологические формы микромицетов не проявляют патогенной активности.

Таким образом, большое количество анаморфных биологических форм микромицетов, в том числе фитопатогенных грибов, как по численности, так и по видовому разнообразию, на наш взгляд, связано с тем, что, с одной стороны, они обладают более высокими возможностями адаптации к среде, в которую попадают, а с другой стороны, созданные экстремальные условия для них благоприятны. Дестабилизация экологических параметров, в частности, значительно высокая влажность, способствует эпифитотии в развитии микромицетов, иными словами, вызывает массовое увеличение числа анаморфных биологических форм. Фактически это можно считать индикатором резкого изменения климатического фактора внутри локальной территории.

Список литературы

1. Алиев И.А,Бабаева Ш.А,Ахмедова И.Д,Алиева Ф.Н. Грибные болезни культурных кормовых растений и их степени распространенности // Научный форум:Сибирь.2024,том10,№2,с.3-5.

2. Андреева И.В, Ашмарина Л.Ф., Шаталова Е.И. Особенности изменения фитосанитарного состояния кормовых культур в условиях Западной Сибири //Достижения науки и техники// АПК,2019,том33,№10,с.26-30.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).М:Агропромиздат,1985,351с.

4. Методы экспериментальной микологии. Под.ред.Билай В.И. Киев: Наукова думка,1982,500с.

5. Озерецковская Р.Л. Проблемы специфического фитомикунитета.// Физиология растений// 2002,том49,№1,с.148-154.

6. Радивон В.А., Жуковский А.Г. Развитие и видовой состав сенториоза в посевах сортов ярового тритикале в условиях Беларуси // Вестник Национальной Академии Наук Беларуси// Сер,Аграр.Наук. 2021,том59,№1,с.51-61.

7. Boland G.J.,Melzer M.S.,Hopkin A., Higgens V., Nassutin A. Climate change and plant diseases in Intario. //Canadian Journal Plant Pathology,2004,vol.26,N3,p.:335-350.

8. Borges R.C.F. Powdery mildew (Erysiphe cruciferarum) on Brassicaceae in Brazil // Australasion Plant Pathology, 2023, vol.52, p:419-425.

9. Elbert M.K. Identification and characterization of Cercospora beticola necrosis-inducing effector CbNip 1. // Molecular Plant Pathology, 2021, vol.22, №3, p:301-316.

10. Ellis M.B., Ellis J.P. Microfungi on Land plants. An Identification Handboon. London; Helm, 1987,819p.

11. World Data Center of Microorganisms statistics,2009.

ОПТИМАЛЬНАЯ ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ РОСТА PHYTOPHTHORA INFESTANS IN VITRO

Андреевская В.М.^{1,2}, Лисовой А.М.^{1,3}, Рыбкин И.Д.³, Мельникова В.А.¹,

Жемчужина Н.С.¹, Смирнов А.Н.³, Севостьянова Е.П.¹

¹ Всероссийский институт фитопатологии, Большие Вяземы

² МГУ им. Ломоносова, Москва.

³ РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, Москва

Фитофтороз, вызываемый *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, является вредоносной болезнью картофеля и томата. Фитопатоген поражает

листья, стебли, плоды, клубни растений, приводя к существенному снижению урожая [1].

Изучение биологии патогена помогает в разработке защитных мероприятий. Однако оомицет избирательно растет на питательных средах, часто наблюдается остановка роста чистой культуры в связи с рядом факторов внешней среды.

Классической питательной средой для культивирования *P.infestans* является овсяная искусственная питательная среда [3], однако на ней тяжело проводить исследования по влиянию бактерий на развитие оомицета в связи с ее мутностью.

Целью исследования является подбор оптимальной питательной среды для роста *P.infestans*.

Материалы и методы. Исследование проводилось в ФГБНУ ВНИИФ в Отделе безопасности и продуктивности агроэкосистем в Инновационной лаборатории микробиологии.

Изолят *P.infestans* был выделен из растений картофеля сорта Колобок. Сорт обладает продовольственной ценностью. Относительно невосприимчивости к болезням можно отметить высокий порог устойчивости к возбудителям рака, при этом наличие восприимчивости к золотистой картофельной цистообразующей нематодe. Согласно результатам ВНИИФ, восприимчив к возбудителю фитофтороза на среднем уровне по ботве, восприимчив на высоком уровне по клубням [4].

Картофель сорта Колобок возделывался в деревне Соболиха Балашихинского района. Место возделывания характеризуется дерново-подзолистой слабogleеватой почвой [5]. Возделывание культуры производилось по классической технологии. Химическая обработка не проводилась.

Изоляты *P.infestans* выделяли из пораженных листьев и стеблей картофеля сорта Колобок.

Отмытые клубни восприимчивого сорта картофеля Санте протирали спиртом, обжигали над пламенем горелки и затем разрезали на ломтики, которые затем надрезали вдоль. В полученные ломтики закладывали пораженные листья и стебли сорта Колобок, закладывали в чашки Петри, и выдерживали от 3 до 5 дней при температуре +20-25°C.

Полученный на 3-5 день на ломтике Санте мицелий с помощью иглы высевали на чашки Петри на овсяную искусственную питательную среду.

Для исследования питательные среды готовились по следующим прописям:

В чистые колбы насыпали глюкозу и агар-агар (на 1 литр питательной среды необходимо добавить 20 г и 18 г, соответственно). Приготовленные отвары и растворы разливали по колбам и нагревали до полного растворения агар-агара. Колбы закупоривали ватно-марлевыми пробками и автоклавились в течение 40 минут при 1 атмосфере.

Картофельно-глюкозный агар (КГА). Для приготовления отвара навеску (200 г) очищенного и нарезанного кубиками картофеля заливали 1 л кипящей дистиллированной воды и варили 40 минут. Полученный отвар фильтровали через марлю и доводили до 1 литра, затем разливали в заранее подготовленные колбы.

Овсяная искусственная питательная среда (ОИПС). Навеску (120 г) овсяных хлопьев высыпали в 1 литр кипящей воды и варили в течение 2 минут, полученный отвар фильтровали и доводили до 1 л, затем разливали в подготовленные колбы.

Горохово-морковный агар (ГМА). В 1 л дистиллированной кипящей воды добавляли навеску

(300 г) нарезанной кубиками моркови и варили в течение 20 минут, затем добавляли 200 г замороженного горошка и продолжали варить 10 минут. Полученный отвар фильтровали и доводили до объема 1 л.

Томатный агар (Т). Для изучения сред на основе томатного сока были приготовлены растворы трех концентраций: 500 мл/л (Т1 = 50%), 300 мл/л (Т2 = 30%), 400 мл/л (Т3 = 40 %). Полученные растворы разливали в заранее подготовленные колбы.

Порошковый картофельный агар (П). В подготовленные колбы засыпали пюре быстрого приготовления по 10 г/л (П1) и 20 г/л (П2) для получения сред двух концентраций. Затем добавляли дистиллированную воду.

Чистая культура *P.infestans* была высеяна на питательные среды, описанные ранее, с помощью агаровых блоков. Чашки Петри культивировались в термостате при 18°C. Измерение диаметра колоний проводилось на 10 и 14 сутки культивирования с помощью инструментального метода, количество зооспорангиев учитывалось с помощью камеры Горяева. Исследование проводилось в шестикратной повторности.

Результаты. На 10 сутки культивирования колонию с зооспорангиями дал только вариант ГМА, в большинстве вариантов колонии еще не образовались (рисунок 1).

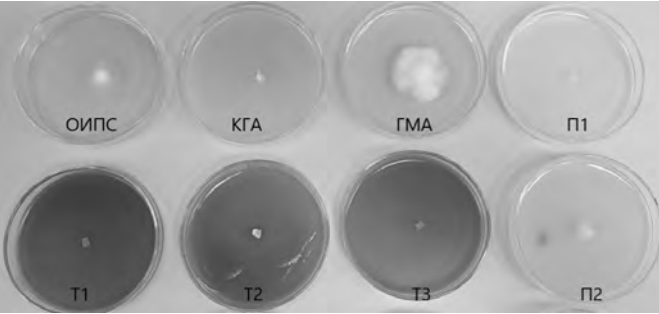


Рисунок 1. Колонии *P.infestans* на 10 день культивирования. На 14 сутки культивирования колонии начали образовывать все варианты, причем в вариантах П2 и Т3 мицелий был слабо развит, а варианте Т1 не развивался (таблица 1).

Таблица 1. Рост и количество зооспорангиев *P.infestans* на 14 сутки культивирования.

Питательная среда	Диаметр колонии, в мм	Количество зооспорангиев, шт/мл
ОИПС	32,2	15*10 ⁶
КГА	25,1	8*10 ⁶
ГМА	56,5	24*10 ⁶
П1	2,3	0
П2	15,3	0
Т1	0,0	0
Т2	4,0	0
Т3	2,0	0

Наибольший диаметр колонии на 14 сутки наблюдался в варианте ГМА, затем по убывающей шли ОИПС и КГА, вариант П2 дал небольшую колонию, у вариантов П1, Т3 мицелий был развит слабо, в варианте Т1 не было роста.

Зооспорангии образовались только в вариантах ГМА, ОИПС и КГА. В других вариантах зооспорангиев обнаружено не было.

Было отмечено, что при приготовлении питательных сред Т1, Т2, Т3 агар-агара нужно добавлять больше по сравнению с другими вариантами. Питательные среды ОИПС, П1, П2 были мутными, что осложняет дальнейшие исследования с помощью них в случае изучения взаимодействия двух микроорганизмов.

Выводы. Можно заключить, что оптимальной питательной средой для роста *P. infestans* в чистой культуре является ГМА, так как на ней оомицет рос быстрее и образовывал наибольшее количество зооспорангиев. Результаты исследований будут использованы в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Кузнецова М. А. и соавт. Опасное заболевание картофеля. Защита и карантин растений. – 2020. – № 2. – С. 7-13. – DOI 10.5281/zenodo.4905795.
2. Кузнецова М. А., Козловский Б. Е., Бекетова М. П. и соавт. Фитопатологическая и молекулярная характеристика изолятов *Phytophthora infestans*, собранных с устойчивых и восприимчивых генотипов картофеля. Микология и фитопатология. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 175-184. – DOI 10.5281/zenodo.4915957. – EDN VXXSJH
3. Багирова С.Ф., Горшкова Н.С., Игнатова С.И. Фитофторозы томата: диагностика, определение видов — возбудителей, оценка устойчивости растений, доноры устойчивости. М., 1999. – С. 3-5, 25-30.
4. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. – 620 с.
5. Дерново-подзолы. Дерново-подзолисто-глеевые почвы // soil-db.ru URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/derново-podzoly-derново-podzolisto-gleevye-pochvy> (дата обращения: 22.03.25).

ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ *CRYPHONECTRIA PARASITICA* (MURRILL) M.E. BARR, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ КАШТАНА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ И АБХАЗИИ

Антипова Т.В.^{1,2*}, Желифонова В.П.¹, Литовка Ю.А.^{3,4,5}

Баскунов Б.П.¹, Носков А.Е.¹, Павлов И.Н.^{3,4,5}

¹ ИБФМ им. Г. К. Скрыбина РАН ФИЦ ПНЦ БИ РАН, Пушкино

² ВНИИ защиты растений, Санкт-Петербург

³ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

⁴ СГУНТ им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск,

⁵ ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН

Cryphonectria parasitica (Murrill) M.E. Barr известны как грибы, вызывающие крифонеброз каштанов. Первоначально они были обнаружены в Восточной Азии в Китае, Японии и Корее. В течение 20 века возбудитель был случайно завезен в Северную Америку, а затем в Европу вместе с саженцами азиатских каштанов, что привело к гибели деревьев, вызывая масштабную эпифитотию [1]. Сведения о поражении крифонеброзом каштанов на территории РФ малочисленны. Было проведено исследование ареала гриба на Северо-Западном Кавказе, которое выявило практически полную пораженность каштана благородного [2]. Проявление симптомов, индуцированных возбудителем на восприимчивых хозяевах, варьирует в зависимости от вирулентности конкретного штамма *C. parasitica* и от возраста зараженной части дерева. Вирулентные штаммы *C. parasitica* обычно вызывают некротические язвенные поражения коры, которые могут привести к гибели более мелких веток или побегов в течение нескольких месяцев. Многолетние язвы на более толстых ветвях или стеблях развиваются длительное время, прежде чем вызвать гибель дерева. Основной стратегией биоконтроля крифонеброза является искусственное распространение гиповирулентных штаммов гриба, ослабленных вирусом *Cryphonectria hypovirus* (CHV1), что приводит к снижению скорости роста гриба, женской стерильности, снижению уровня бесполого спороношения и пигментации [3]. Поражение гиповирулентными штаммами, как правило, не приводит к гибели дерева. Было показано, что у гиповирулентных штаммов синтез лакказы существенно снижен, а накопление кутиназы, эндополигалактуроназы и целлюлогидролазы у некоторых штаммов полностью подавляется [4].

Одним из факторов вирулентности грибов могут быть щавелевая кислота, синтезируемая *C. parasitica*, и токсины [1]. При вирусной инфекции грибы продуци-

руют разнообразные вторичные метаболиты, выполняющие роль защитного барьера, препятствующие адгезии и проникновению вирусов [4]. Из гиповирулентного штамма *C. parasitica* был выделен поликетид крифонебтриновая кислота. При изучении вегетативной несовместимости вирулентных и гиповирулентных *C. parasitica* были обнаружены новые кальбистримы О и Р [5].

Целью работы было изучение фитопатогенности 27 штаммов грибов *Cryphonectria parasitica*, выделенных из коры ослабленных деревьев *Castanea sativa* в Краснодарском крае и Абхазии, спектра вторичных метаболитов и их фитотоксичности в отношении растительных тест-объектов *in vitro*.

При исследовании фитопатогенности штаммов *C. parasitica* на побегах *C. sativa* и плодах яблок сорта *Granny Smith* выявлена различная фитопатогенность в отношении целевого и нецелевого растительных тест-объектов *in vitro*. В соответствии с фитопатогенными свойствами штаммы были сгруппированы на две условные группы. Первая группа объединила 66 % изолятов, у которых максимальная патогенность отмечена на плодах яблок и различная степень патогенности (включая максимальные показатели) – на побегах *C. sativa*. На 21 сут диаметр некроза на плодах яблок сорта *Granny Smith* варьировал от 16.2 до 71.3 мм, глубина некроза составила 11.1-21.0 мм. При инокуляции побегов каштана посевного в течение 14 сут формировались некрозы, общая длина которых находилась в пределах 4.7-15.3 мм; ре-изоляция исходных культур из зоны поражения была высокой – от 71 до 100 %. Отмечена следующая закономерность: штаммы, под влиянием которых отмечен глубокий некроз в плодах яблок, вызывали более обширный некроз и на побегах *C. sativa*. Во вторую группу входили 34 % штамма *C. parasitica*, которые проявили слабую фитопатогенность

на яблоках: диаметр некроза варьировал от 9.5 до 22.2 мм (21 сут). На побегах каштана длина некроза находилась в пределах от 3.3 до 6.3 мм; повторная изоляция составила 57.1-71.4 %. Кроме того, для слабо патогенных грибов в отношении каштана показано обильное поверхностное обрастание побегов мицелием и минимальная некротизация растительной ткани.

Все исследуемые штаммы характеризовались на агаризованных средах анаморфной стадией с характерным образованием агрегированных шаровидных псевдостроматических конидиом желто-оранжевого цвета с одной остиолюю. Известно, что для гиповирулентных штаммов, зараженных вирусом CHV1, характерно образование более светлых колоний. Однако у штаммов с низкой патогенностью отличий в морфологии мы не наблюдали, хотя иногда происходило выщепление более светлого участка на фоне типичного ярко-оранжевого цвета колонии. В настоящее время известно несколько вирусов, которые заражают *C. parasitica*. В работе Suzuki с соавт. [6] было протестировано 7 различных вирусов на двух штаммах *C. parasitica* на предмет их индукции гиповирулентности и потенциала биологического контроля. Показано, что штаммы, инфицированные отдельными вирусами, имели морфологию колоний схожую с вирулентным штаммом. Таким образом, на основании нашего исследования, можно отметить, что 66 % изученных штаммов являются вирулентными, остальные штаммы можно считать условно гиповирулентными.

При изучении вторичных метаболитов у всех штаммов были идентифицированы метаболиты антрахиноновой димерной структуры – скайрин, скайринол, ругулозин. Антрахиноны представляют собой группу хиноидных соединений, ответственных за пигменты растений, грибов и лишайников. В грибах, они часто вносят свой вклад в окрашивание мицелия от желтого, оранжевого до коричневого цветов. У 11 штаммов был обнаружен поликетид диапортин. Ранее все эти метаболиты были обнаружены как у вирулентных, так и у гиповирулентных штаммов *C. parasitica*. У всех штаммов, за исключением трех были обнаружены два неидентифицированных метаболита с молекулярной массой 279 Да и 297 Да. Продукция метаболитов варьировала от 25 до 167 мг/л в зависимости от штамма.

При исследовании фитотоксичности метаболитов нами был отобран наиболее продуктивный штамм – Cry 16. Использовали раствор метаболитов в концентрациях от 0.01 до 15 мг/мл на верхушечные побеги *C. sativa*. Установлено, что минимальная подавляющая концентрация экстракта, влияющая на тест объекты, составила 5 мг/мл – гибель 100 % тест-растений отмечена на 12 сут. При более высоких концентрациях метаболитов (от 10 мг/мл и более) массовая гибель растений свыше 50 % отмечена уже на 4 сут эксперимента, а 100 %-я гибель – на 8 сут. С первых сут инкубации у всех растений отмечена дехромация листьев (1-2 балла) и постепенная потеря тургора (1-2 балла) в зависимости от концентрации метаболитов. При концентрации от 5 мг/мл процессы усыхания происходили более стремительно. При капельном внесении различных концентраций метаболитов на побеги, листья каштана и яблоки сорта *Granny Smith* было установлено фитотоксическое действие концентраций, начиная от 4 мг/мл на листьях и 5 мг/мл на побегах и яблоках. Площадь и зона некроза увеличивалась закономерно с увеличением концентрации; минимальное время, при котором некроз развивался до максимальных значений составило 1- 3 сут в зависимо-

сти от тест-объекта. Таким образом, серия экспериментов (метод погружения верхушечных побегов в смесь метаболитов и капельное поверхностное нанесение на тест-объекты) по влиянию различных концентраций метаболитов, позволила доказать их участие в проявлении фитотоксичности исследуемых штаммов грибов *C. parasitica*.

Список литературы

1. Rigling D, Prospero S. (2018) *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *Mol Plant Pathol* 19(1): 7–20.
2. Попов АП, Белов АА, Цветков ИЛ, Коничев АС. (2010) Исследование полиморфизма *Cryphonectria parasitica* – возбудителя крифонеброза каштана посевного – на Северо-Западном Кавказе. Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 3: 92-97.
3. Hillman BI, Suzuki N. (2004) Viruses of the chestnut blight fungus, *Cryphonectria parasitica*. *Adv. Virus Res.* 63: 423–472.
4. Chun J, Ko Y-H, Kim D-H (2020) Transcriptome Analysis of *Cryphonectria parasitica* infected with *Cryphonectria hypovirus 1* (CHV1) reveals distinct genes related to fungal metabolites, virulence, antiviral RNA-silencing, and their regulation. *Front. Microbiol.* 11:1711.
5. Witte TE, Shields S, Heberlig GW et al. (2021) A metabolomic study of vegetative incompatibility in *Cryphonectria parasitica*. *Fungal Genetics and Biology.* 157: 103633
6. Suzuki N, Cornejo C, Aulia A, Shahi S, Hillman BI, Rigling D. (2021) In-tree behavior of diverse viruses harbored in the chestnut blight fungus, *Cryphonectria parasitica*. *J Virol.* 95(6):e01962-20

РИЗОСФЕРНЫЕ АКТИНОМИЦЕТЫ ИЗ ПОЧВ КАЗАХСТАНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГРИБНЫХ ПАТОГЕНОВ СОИ

Баймаханова Г.Б., Баймаханова Б.Б., Балгимбаева А.С., Треножникова Л.П.
Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии», Алма-Ата

Соя является одной из важнейших сельскохозяйственных культур мира, обладающей значительной социальной и экономической ценностью [1]. В Казахстане за последние годы площадь посевов сои увеличилась в 4,5 раза, что сделало ее важной статьей экспорта [2]. При этом бессменные посевы сои и импорт семян способствовали резкому увеличению грибных заболеваний. Потери урожая сои в Казахстане в годы массового распространения грибных болезней достигают 25-30%.

В последнее время биоконтроль стал одним из наиболее перспективных методов борьбы с грибными патогенами сои [3]. Биопестициды, основанные на микробных агентах, показывают высокую эффективность против сельскохозяйственных фитопатогенов, уменьшая их популяцию и восстанавливая экологический баланс. Актиномицеты представляют собой важные микробные сообщества почв, и их сельскохозяйственное значение растет, особенно в контексте биоконтроля болезней растений и стимуляции роста [4]. Актиномицеты родов *Streptomyces*, *Actinoplanes* и *Micromonospora* рассматриваются как перспективные инокулянты для контроля грибных патогенов бобовых культур [5].

Из ризосферы сои и дикорастущих растений в предварительных исследованиях получены изоляты актиномицетов с высокой антифунгальной активностью. 17 изолятов актиномицетов рода *Streptomyces* демонстрируют значительную противогрибковую активность против фитопатогенных грибов родов

Fusarium (*F. oxysporum*, *F. solani*, *F. heterosporium*), *Alternaria*, *Aspergillus*. Зоны ингибирования роста грибов варьируют от 20,0 до 30,0 мм.

Полученные изоляты рода *Streptomyces* рассматриваются как перспективные противогрибковые агенты для разработки нового биопрепарата с целью биоконтроля грибных патогенов сои.

Список литературы

1. Clemente T.E., Cahoon E.B. Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiol.* – 2009. – Vol.151, № 3. – P. 1030-1040.
2. Maui A.A., Sauranbaev B.N., Orazbayev K.I. Soybean pathogens in the southeast of Kazakhstan. *J. of social, humanities and administrative sciences.* – 2017. – Vol. 3, №5. – P. 20-26.
3. Behie S.W., Bonet B., Zacharia V.M., McClung D.J., Traxler M.F. Molecules to Ecosystems: Actinomycete Natural Products In situ. *Front. Microbiol.* – 2017. – Vol.7. – P. 2149.
4. Zhang H.Y., Gao Q., Zhang L.Y., Lin G.L., Li R.L. Screening of actinomycetes against Phytophthora root rot of soybean and its growth promotion and disease control. *Biotechnol. Bull.* – 2020. – Vol.36. – P. 25–31.
5. Mariastuti H.D., Listiyowati S., Wahyudi A.T. Antifungal activity of soybean rhizosphere actinomycetes producing bioactive compounds against *Fusarium oxysporum*. *Biodiversitas.* – 2018. – Vol.19, № 6. – P. 2127-2133.
- 6.

РАЗРАБОТКА ИММУНОФЕРМЕНТНОГО ТЕСТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ *MICRODOCHIUM* SPP. НА ГАЗОННЫХ ТРАВАХ

Антропова А.Б.^{1,2}, Лебедин Ю.С.¹, Майгурова В.Н.¹, Усольцева М.Ю.³,
Гагкаева Т.Ю.⁴, Эспевиг Т.Е.⁵

¹ ХЕМА, Москва

² НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва

³ Группа ботанических исследований, Гетеборг, Швеция

⁴ ВНИИ защиты растений (ВИЗР), Санкт-Петербург

⁵ Норвежский институт биоэкономических исследований (NIBIO), Гримстад, Норвегия

Грибы рода *Microdochium* способны вызывать болезни злаковых трав, используемых как в ландшафтном дизайне, так и в создании спортивных газонов. При благоприятных для развития гриба условиях возможно практически полное поражение всей площади газона [1]. Частота выявления *Microdochium* колеблется из года в год и зависит от погодных условий, устойчивости сортов растений, региона [2-4]. Ранняя диагностика инфицированных растений необходима для выбора стратегии борьбы с заболеванием.

Цель работы – разработать иммуноферментную тест-систему для раннего обнаружения грибов рода *Microdochium* на злаковых газонных травах.

В работе использовали штаммы *M. nivale* MFG60214 и MFG60432, *M. majus* MFG60127, *M. bolleyi* MFG60509 и MFG60517, выделенные со злаковых трав в разных

регионах России. Для получения специфических поликлональных антител кроликов породы Шиншилла иммунизировали подкожно смесью полученных экстрактов *M. nivale*, *M. bolleyi* и *M. majus* с полным адъювантом Фрейнда. Полученные антитела были очищены с помощью аффинной хроматографии с применением сорбента с иммобилизованным экстрактом *M. nivale*. Элюированные антитела затем истощали с помощью серии сорбентов с иммобилизованными антигенами микромицетов других родов. Специфичность полученных антител оценивали методом прямого ИФА с использованием широкого спектра грибов и оомицетов. В результате сконструирована ИФА тест-система сэндвич-типа. В качестве произвольного калибратора был выбран экстракт *M. nivale* с концентрацией 500000 единиц/мл (Ед/мл), концентрация антигена в дальнейших

экспериментах рассчитывалась в этих единицах. Предел обнаружения (LOD) определяли как сумму средней оптической плотности (OD) нулевого калибратора и одного стандартного отклонения (SD), что дало значение 2,55 Ед/мл.

Апробацию тест-системы проводили как в лабораторных условиях, так и в полевых экспериментах. В лабораторных условиях выращивали мятлик луговой (*Poa pratensis*) сорта Geronimo и овсяницу красную (*Festuca rubra*) сорта Maxima. Инокулировали: 1) срезанные листья, 2) растущие травы. Инокуляцию проводили агаровыми блоками с культурой гриба. На контрольные образцы помещали агаровые блоки с чистой картофельно-глюкозной средой.

Полевые эксперименты состояли из трех блоков. 1). На экспериментальном поле научно-исследовательского института NIBIO (Landvik, Норвегия) было собрано 28 образцов газонной травы: полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*), *Festuca rubra*, *Poa annua*, плевел многолетний (*Lolium perenne*). Пробы собирали с участков без визуальных признаков поражения *Microdochium* (MN-) и с наличием признаков поражения (MN+). Кроме того, были отобраны образцы с симптомами поражения красной нитью (*Laetisaria fuciformis*) (MN- LF+). 2). На том же экспериментальном поле было собрано 25 образцов газонных трав *P. annua*, *F. rubra* и *A. stolonifera*. Образцы были разделены на 5 групп по степени выраженности симптомов заболевания: симптомы отсутствуют, едва заметные, слабые, умеренные, сильные. 3). Было отобрано 24 образца из 17 гольф-клубов в разных районах Швеции. С помощью почвенного бура отбирали образцы растений с видимыми признаками инфекции и без них. Каждый образец был разделен на две части для последующей инкубации при температурах +4°C и +24°C в течение трех-семи дней. Образцы с видимой инфекцией, которые впоследствии продемонстрировали активный рост гриба при обеих температурах, были классифицированы как образцы с активно развивающейся инфекцией. Образцы без видимого поражения на момент сбора, но продемонстрировавшие рост гриба только при +4°C, были классифицированы как образцы с латентной инфекцией. Образцы без видимых признаков заболевания на момент сбора и не проявившие симптомов снежной плесени при обеих температурах инкубации, были классифицированы как «здоровые». Все образцы трав были высушены для дальнейших экспериментов.

При ИФА анализе инокулированных фрагментов листьев *P. pratensis*, антигены *Microdochium* были выявлены во всех образцах в концентрации $548,3 \pm 130,5$ Ед/мл.

Анализ инокулированных растущих трав *P. pratensis* и *F. rubra* также выявил антигены *Microdochium* во всех образцах. Концентрация антигенов в среднем составляла $2289,25 \pm 1833,9$ Ед/мл.

В группе отобранных с полей растений с видимыми признаками поражения *M. nivale* («MN+») концентрация антигенов варьировала от 199,82 Ед/мл до 1840 Ед/мл и в среднем составляла $863,7 \pm 458,58$ Ед/мл (медиана, Me = 964,55 Ед/мл). В группах растений без видимых признаков поражения *M. nivale* концентрация антигенов была значительно ниже, чем в предыдущей группе. В группе «MN-» концентрация варьировала от 5 Ед/мл до 471,45 Ед/мл и в среднем составила 90,28 ±

132,4 Ед/мл (Me = 37,08 Ед/мл). В группе с визуальными симптомами красной нити (MN- LF+) – от 25,06 Ед/мл до 276,59 Ед/мл и в среднем составила $74,76 \pm 79,4$ Ед/мл (Me = 44,85 Ед/мл). Достоверных различий между группами «MN-» и «MN- LF+» не установлено.

Концентрация антигенов возбудителя увеличивалась по мере выраженности симптомов заболевания от $60,45 \pm 57,99$ Ед/мл (Me = 41 Ед/мл) для образцов растений без видимого поражения до $492 \pm 607,55$ Ед/мл (Me = 115 Ед/мл) для визуально положительных образцов.

На следующем этапе иммуноферментный анализ был проведен параллельно с инкубацией образцов, позволяющей выявить латентную инфекцию. В 7 из 10 образцов внешне «здоровой» травы ИФА показал отрицательный результат. В оставшихся 3 образцах этой группы концентрация антигена была очень низкой, едва превышающей LOD, (2-6 Ед/мл), возможно, за счет единичных нежизнеспособных пропагул гриба. В группе образцов с латентной инфекцией антигены *Microdochium* были обнаружены в шести из семи образцов. Концентрация антигенов варьировала от 0,7 до 19,8 Ед/мл и составила в среднем $7,5 \pm 6,6$ Ед/мл (Me = 5,2 Ед/мл). В группе образцов с активно развивающейся инфекцией все пробы были четко положительны, средняя концентрация искомым антигенов составила $589,6 \pm 295,9$ Ед/мл (Me = 661,1 Ед/мл). Полученные данные позволили установить пороговое значение на уровне 30 Ед/мл, выше которого результат расценивается как четко положительный. Порог ниже 10 Ед/мл следует рассматривать как возможную латентную инфекцию.

Таким образом, иммуноферментный анализ позволяет выявить присутствие грибов рода *Microdochium* при отсутствии визуальных признаков болезни растений. Учитывая высокую специфичность, чувствительность и пропускную способность ИФА, данный метод может быть использован в качестве скринингового. Раннее обнаружение инфекции позволит своевременно подавить развитие патогена до появления симптомов. ИФА может быть успешно использован как в эпидемиологических исследованиях, так и в области борьбы с болезнями растений.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Скандинавского фонда исследований газонов и окружающей среды (STERF) и трастовой компании R&A (№1) Ltd. (The R&A).

Список литературы

1. Gagkaeva T., Orina A., Gavrilova O., Usoltseva M., Crouch J.A., Normann K., Entwistle K., Torp T., Espevig T. In vitro fungicide sensitivity of *Clarireedia*, *Fusarium*, and *Microdochium* isolates from grasses. Intern. Turfgrass Soc. Res. J., 2022, 14, 972–980. DOI: 10.1002/its2.139
2. Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Гаврилова О.П. Разнообразие грибов рода *Microdochium*, выявленных на зерновых культурах в России. Микология и фитопатология, 2020, 54(5), 347–364. DOI: 10.31857/S0026364820050049
3. Cockerell V., Jacks M.A., & Roberts A.M.I. The effect of rainfall and temperature on the incidence of seed-borne *Microdochium nivale* in winter wheat in Scotland 1991-2000. In Proceedings Crop Protection in Northern Britain 2002. Dundee. pp.133–138.
4. Ünal F. Phylogenetic analysis of *Microdochium* spp. associated with turfgrass and their pathogenicity in cereals. Peer J., 2024, 29(12), e16837. DOI: 10.7717/peerj.16837.

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРИБОВ-ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗА ПШЕНИЦЫ

Бакулина А.В., Бессолицына Е.А., Савинцева Л.С.
ФАНЦ Северо-Востока, Киров

Септориоз – одно из вредоносных заболеваний пшеницы, встречающееся во всех регионах возделывания данной культуры. В зависимости от условий среды в патокмлексе преобладает возбудитель септориоза листьев *Zymoseptoria tritici* (Desm.) либо – септориоза колоса *Parastagonospora nodorum* (Berk.). Природные популяции данных патогенов характеризуются высоким уровнем генетического и фенотипического разнообразия, обусловленного наличием полового процесса в жизненном цикле обоих видов [1, 2]. Это затрудняет определение их видовой принадлежности.

Видовая идентификация фитопатогенных грибов требует высокой квалификации исследователя, а также сочетания различных подходов. Несколько облегчить этот процесс позволяют молекулярно-генетические методы, преимущество которых заключается в возможности анализа не только чистых культур, но и пораженных тканей растений. Для идентификации грибов-возбудителей септориоза пшеницы в лаборатории молекулярной биологии и селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработан «Способ идентификации фитопатогенных грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum* методом ПЦР» (Патент на изобретение №2824044, дата регистрации 01.08.2024).

Целью настоящей работы была идентификация новых изолятов грибов, выделенных с пораженных септориозом растений пшеницы, методом локус-специфичной ПЦР.

Молекулярно-генетическую идентификацию грибов проводили с использованием праймеров, высокоспецифичных к локусу *COXIII* (субъединицы III митохондриальной цитохромоксидазы C), и позволяющих идентифицировать виды *Z. tritici* и *P. nodorum* (табл. 1).

Суммарные нуклеиновые кислоты выделяли гуанидин изотиоционатным методом [3] из 250 мг мицелия грибов, выращенных на картофельно-глюкозном агаре (КГА). ПЦР проводили при следующем режиме: 1 цикл – 94°C/5 мин; 35 циклов – 94°C/30 сек, 42°C/30 сек, 72°C/90 сек; 1 цикл – 72°C/5 мин; конечная элонгация – 72°C/10 мин. Визуализацию результатов реакции осуществляли методом электрофореза в 6% нативном полиакриламидном геле.

Для пополнения рабочей коллекции септориальных грибов с фрагментов пораженных септориозом тканей пшеницы в 2024 г путем посева споровой суспензии на КГА выделено в чистую культуру 47 местных (Кировская обл.) изолятов. На основании изучения их культурально-морфологических признаков и ПЦР-анализа 24 изолята идентифицированы как возбудитель септориоза колоса пшеницы (*P. nodorum*). Среди выделенных изолятов гриба *P. nodorum* преобладали (58,3%) светлые колонии с отсутствием пикнид: морфотип Ic [4]. Как и в предыдущие годы [5] при микроскопии фрагментов пораженных листьев пшеницы не удалось обнаружить характерные споры и выделить в чистую культуру патогена *Z. tritici*, что подтвердил и ПЦР-анализ.

Таблица 1. Праймеры для идентификации грибов-возбудителей септориоза пшеницы.

Патоген	Праймеры, 5'-3'	Ампликон, п.н.
<i>Z. tritici</i>	COXIII-Tritici-F: GCCTTAATACTTTTA-ATGTCAAGTATG	255
	COXIII-Tritici-R: CGGTAATCAAAAGC-GTTAATTGC	
<i>P. nodorum</i>	COXIII-Nodorum-F: GTATTTACTTTTAT-TATGTGCCCTC	194
	COXIII-Nodorum-R: AATGGGTTA-AATATATATACTTAACG	

На электрофореграмме (рис. 1) приведены результаты идентификации некоторых изолятов, выделенных с образцов пшеницы, выращенных на полях лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Целевой ампликон (194 п.н.), полученный при использовании праймеров *COXIII-Nodorum-F/COXIII-Nodorum-R*, представлен на дорожках 1-7, 9-11.

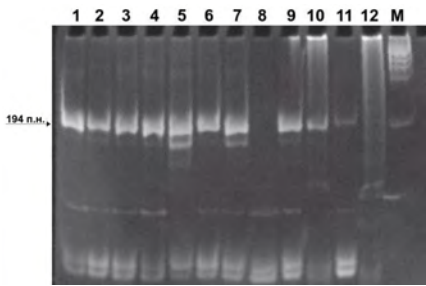


Рисунок 1. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймерами *COXIII-NodorumF/R*. Дорожки №1-11 соответствуют ДНК изолятов: B5, K8, B1, K6, K12, K11, K7, B5, B9, B3, B4. Дорожка 12 – отрицательный контроль, M – маркер 100bp (Сибэнзайм)

Для оценки эффективности разработанных праймеров ампликоны, полученные в результате ПЦР с ДНК трех изолятов грибов (*P. nodorum* R17, V18, V20), подвергали секвенированию. Секвенирование по Сэнгеру выполнено в НПК «Синтол» (г. Москва). Согласно биоинформатическому анализу сервисом BLAST (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) процент гомологии нуклеотидных последовательностей полученных ПЦР-продуктов составил 98,5-100% с митохондриальным геномом *Phaeosphaeria nodorum* SN15 mitochondrion (NC_009746.1), имеющемуся в Genbank.

Таким образом, рабочая коллекция септориальных грибов пополнена 24 изолятами гриба *P. nodorum*, идентифицированными с применением ПЦР-анализа. Установлено, что разработанный ранее способ идентификации грибов-возбудителей септориоза пшеницы, основанный на выявлении локуса *COXIII* митохондриального генома, позволяет с высокой специфичностью проводить видовую идентификацию патогена *P. nodorum*. При сочетании селективных подходов (выделение спор гриба с микропрепарата и ПЦР-анализа колоний) в ходе выделения фитопатогенных грибов с пораженных тканей пшеницы более половины (51,1%)

исследованных изолятов грибов составляли представители целевого патогена (*P. nodorum*).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема FNWE-2025-0001).

Список литературы

1. McDonald B. A., Mundt C. C. How knowledge of pathogen population biology informs management of *Septoria tritici* blotch. *Phytopathology*, 2016. V. 106(9). P. 948-955.

2. McDonald B. A. How knowledge of pathogen population biology informs management of *Septoria nodorum* blotch on wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 2025. P. 1-15.

3. Sambrook J., Fritsch T., Maniatis T. *Molecular cloning: a laboratory manual*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1982. 514 с.

4. Пахолкова Е.В. *Септориоз зерновых культур в парковых регионах Российской Федерации*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Большие Вяземы, 2003.

5. Бакулина А. В., Попыванов Д. В., Харина А. В. Изучение свойств местных изолятов фитопатогенного гриба *Parasitium nodorum*. *Теоретическая и прикладная биология*, 2021. Т. 6. № 2. С. 212-218.

При этом площадь территории собственно города в его традиционных границах составляет около 39 км². Парки, скверы, бульвары, придорожные и внутриквартальные насаждения занимают не более 3 % от общей площади города. Однако на территории городского округа также расположены значительные массивы городских лесов и насаждений, близких по своей структуре к лесным.

Ассортимент растений не отличается разнообразием. До 80 – 85 % древесных растений представлены липой мелколистной и тополем бальзамическим. Реже в насаждениях присутствует вяз гладкий, ясень обыкновенный, клен остролистный и сосна обыкновенная.

Насаждения, в массе содержащие липу мелколистную в своем составе, располагаются во всех частях города.

Наиболее крупным зеленым массивом, имеющим в своем составе вяз, является охранный зона вдоль Акуловского водоканала, разделяющего город на две части. Она представляет собой искусственную многорядную посадку, где чередуются ряды, состоящие лишь из один вида растений (липа, клен, вяз), и ряда, в котором вяз гладкий высажен поочередно с липой мелколистной и кленом остролистным.

Также вяз встречается в насаждениях старых кварталов 30-ых годов прошлого века в западной и центральной частях города, и в районах застройки конца прошлого века в юго-восточной части Королева.

Сосна обыкновенная встречается в насаждениях, представляющих сохранившиеся части произраставшего в начале XX века на нынешних городских территориях соснового бора.

На каждом из указанных видов древесных растений развиваются различные возбудители болезней стволов и ветвей.

Для слежения за состоянием растений, указанных видов в разных районах города в разных типах городских насаждениях были заложены постоянные пробные площади (ППП).

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ СТЕБЛОВ И ВЕТВЕЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА КОРОЛЕВ

Белов Д.А.

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета (МГТУ)

На ППП было проведено детальное обследование состояния более 2000 древесных растений с присвоением каждому из них категории состояния, по методике принятой на каф. ЛТ2-МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана «Лесоводство, экология и защита леса».

Проведенное обследование показало, что все липы, независимо от категории состояния и типа насаждения, в котором они произрастают, поражены тиростромозом. При этом на пораженных растениях имеются яркие отличительные признаки протекания данного заболевания – спороношения возбудителя (*Stigmina compacta* (Sacc.) M.B. Ellis (= *Thyrostroma* (*Steganosporium*) *compactum* Sacc.)) на приросте прошлого года, а также некротические и раковые образования на стволах и ветвях. До 85 % от общего количества обнаруженных ран располагались на стволах лип, остальные – на ветвях I-го порядка. При этом часть ран была полностью закрыта валиками каллюса, что свидетельствует о работоспособности иммунной системы липы мелколистной даже в условиях типичной урбанизированной среды.

Наиболее серьезно поражены деревья с малыми диаметрами ствола на высоте груди (до 8 см). Следует отметить, что в условиях города они наиболее сильно подвержены воздействию антропогенных факторов и составляют основную долю отпада липы мелколистной.

Относительно медленное распространение и незначительный прогресс данного заболевания в насаждениях города обусловлены сезонным уходом, каждый год проводится обрезка и кронирование лип в ранне-весенний период. Кроме того, в уличных насаждениях развитие возбудителя заболевания ингибируется выделяемыми газообразными продуктами двигателей внутреннего сгорания автомобилей.

Развитие офиостомоза на вязе гладком протекает, наоборот, чрезвычайно резко. Поражаются не только вязы, произрастающие куртинами или высаженные рядами, но и единично расположенные экземпляры. На отдельных ППП количество усохших и удаленных в течение последних 20 лет вязов, варьирует от 59,3 до

100 % по сравнению с первоначальным количеством деревьев данного вида.

Быстрому отмиранию растений способствовали не только агрессивность самого патогена (*Ophiostoma ulmi* (Buisman) Nannf.), рекреационная нагрузка и иные негативные типы воздействия городской среды. Массовое распространение возбудителя и ослабление растений стало возможным благодаря параллельному развитию в заболони язв переносчиков возбудителя – ильмовых заболонников, ходы которых под корой язв обнаружены во всех районах города.

Сосна обыкновенная в насаждениях Королева поражена смоляным раком. Это заболевание сосны относится к наиболее опасным, так как заражаются вполне здоровые, ничем не ослабленные деревья всех возрастов, кроме совсем молодых сосен (не старше 12-15 лет).

Возбудителями смоляного рака сосны обыкновенной являются два ржавчинных гриба – *Cronartium flaccidum* Wint. и *Peridermium pini* (Wilid.) Lev. et Kleb, вызывающие одинаковое по внешним признакам заболевание, но отличающиеся циклами развития. Оба возбудителя тепло- и светолюбивы, поэтому чаще поражаются одиночные сосны и сосны, произрастающие в разреженных посадках.

Болезнь может длиться от 2–3 (острый характер течения болезни, что на территории городского округа пока не отмечалось) до 100 лет (хронический характер), в зависимости от скорости распространения мицелия возбудителей, возраста и жизнеспособности дерева.

Состояние пораженного растения зависит от расположения и количества раковых ран на стволе. При возникновении их в вершинной части наблюдается суховершинность. Такие деревья могут жить в течение длительного времени. В некоторых случаях пораженное дерево восстанавливает вершину за счет од-

ной из боковых ветвей. Возникновение ран в нижней части кроны или под ней приводит к сильному ослаблению и быстрому усыханию.

На восприимчивость к возбудителю заболевания в городских насаждениях, парках и пригородных лесах значительное влияние оказывает не только заселение ослабленных сосен стволовыми вредителями, но и рекреационная нагрузка, часто вызывающая процессы дигрессии насаждений. С увеличением рекреационной нагрузки повышается степень зараженности сосны смоляным раком. До 48 % сосен на территории городского округа (практически каждое второе дерево) имеют повреждения различного рода (следы от ударов предметами с заостренной кромкой на стволе; перерубленные или передавленные, измочаленные корни; железные колья, гвозди, саморезы, вбитые в стволы; ожоги коры и ранее открытой древесины, в основном, в комлевой части ствола и т.п.).

При этом комплекс антропогенных факторов не только ослабляет сосны, но и влияет на возбудителей болезни, не позволяя им интенсивно развиваться в нижней части крон сосен и на стволе под ними, замедляет скорость роста ран в длину и по окружности ствола, что позволяет пораженным деревьям длительное время сохранять функционирующей часть кроны и отдалает срок полного усыхания растений.

Дальнейшее увеличение степени воздействия урбанизированной среды приведет к увеличению скорости распространения возбудителей заболеваний, поражающих стволы и ветви древесных растений тиростромоза, офиостомоза, смоляного рака, а также многих других в связи с общей ослабленностью насаждений, что позволяют предположить дальнейшее развитие очагов указанных заболеваний растений в ближайшие годы на всей территории г. Королев, с вероятной массовой гибелью липы, вяза и сосны.

ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПОРЯДКА DIAPORTHALES КАК ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БОЛЕЗНЕЙ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ НА ЮГЕ РОССИИ (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ И КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)

Булгаков Т.С.

ФИЦ Субтропический научный центр РАН, Сочи

Диапортальные грибы – представители порядка Diaporthales – широко известны как повсеместно распространенные в мире патогены, сапротрофы и эндофиты растений, в особенности покрытосеменных растений (Magnoliophyta), и с давних времен являются объектом изучения микологов и фитопатологов [1]. Тем не менее, как общее разнообразие, так и экологически особенности конкретных видов Diaporthales, в том числе и хозяйственно важных патогенов деревьев и кустарников, до сих пор остаются недостаточно изученными. Отчасти это обусловлено самой трудностью объектов для научного изучения, а именно бедностью традиционно используемых в микологии морфологических признаков генеративных структур (аскомы/конидиомы, сумки и аскоспоры/конидиеносцы и конидии) и наличием множества видов-двойников, крайне трудно различимых по одним морфологическим и экологическим признакам [1]. Таксономическая революция в микологии в начале XXI века, связанная с применением новых методов изучения генома грибов (ДНК-баркодирование) в значительной мере перевернула представления о границах видов, родов и семейств и в порядке Diaporthales [1], открыв новые аспекты проблемы. С точки зрения фитопатологии наиболее важными фактами было установление более широкого круга растений-хозяев для многих ранее известных диапортальных фитопатогенов и открытие многих новых видов Diaporthales, ранее скрывавшихся под маской уже известных видов и различающихся по своей патогенности, географическому распространению и экологическим особенностям [1, 2]. Еще одним важным моментом стало установление систематического положения многих диапортальных анаморфных грибов и их включение в состав соответствующих таксонов. К сожалению, эти научные достижения в совокупности с описанием новых видов и перенесением известных видов в другие роды и семейства привели к путанице и в изучении фитопатогенных видов Diaporthales в России, поскольку многие старые определители стали бесполезны в свете новых достижений науки и необходимо повторное изучение ряда малоизвестных патогенов растений.

Многолетние исследования автора с коллегами в Ростовской области и Краснодарском крае позволили установить круг наиболее распространенных фитопатогенных видов Diaporthales, который включает по меньшей мере 120 видов различных возбудителей болезней деревьев и кустарников из 10 семейств [3]. Наиболее опасным и вредоносным патогеном из числа диапортальных грибов на юге России является представитель семейства Cryphonectriaceae – *Cryphonectria parasitica* – возбудитель крифонектриевого некроза съедобного каштана (*Castanea sativa*). Этот опасный чужеродный вид, проникший из Восточной Азии, практически уничтожил местный каштан (*Castanea dentata*) в Северной Америке в начале XX века и существенно ухудшил состояние каштановых лесов Европы (включая и Краснодарский

край) [4]. По нашим данным, *Cryphonectria parasitica* по сей день остается наиболее важным патогеном каштанов на Черноморском побережье Краснодарского края, приводя к преждевременному ослаблению и гибели деревьев в лесах и в городских посадках.

Важную роль для многих древесных растений играют и многочисленные представители семейства Cytosporaceae (=Valsaceae) с крупнейшим родом *Cytospora*, представители которого вызывают некрозы ветвей (цитоспорозы) у многих деревьев и кустарников. В настоящее время на территории Ростовской области и Краснодарского края известно меньшей мере 40 видов *Cytospora*, из которых 23 вида были впервые описаны с юга России как новые для науки виды [5]. Виды *Cytospora* играют особенно важную роль для растений семейств Rosaceae и Salicaceae, зачастую становясь решающими факторами благополучия этих растений в регионе, как, например, возбудитель отмирания побегов яблони *Cytospora parasitica*, возбудители некрозов побегов ив и тополей *C. parakantschavelii*, *C. salicacearum*, *C. salicicola* и *C. salicina*, а также опасный патоген многих Rosaceae – *C. sorbicola* [5]. Тем не менее, общее число видов *Cytospora* на юге России может быть существенно больше.

Остаются недостаточно изученными и фитопатогенные грибы семейства Diaporthaceae, на древесных растениях представленного родом *Diaporthe* (= *Phomopsis*). В настоящее время на юге России отмечено по меньшей мере 30 видов *Diaporthe* (*Phomopsis*), вызывающих различные патологии (обычно некрозы ветвей и поражение сеянцев) у деревьев и кустарников. К числу наиболее распространенных и вредоносных относятся виды комплекса *Diaporthe eres*, способные заселять и поражать самые различные растения [6]. Широко распространены также *Diaporthe ampelina* – патоген винограда (*Vitis* spp.), *D. amygdale* – патоген миндаля (*Prunus amygdalus*) [7], *D. aucubae* – патоген аукуба (*Aucuba* spp.), *D. oncostoma* (Duby) Fuckel – патоген робинии (*Robinia pseudoacacia*), *D. quercina* Fuckel – патоген дубов (*Quercus* spp.), *Phomopsis arnoldiae* B. Sutton – патоген лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*).

Фитопатогенные представители семейства Gnominaceae отличаются способностью вызывать комплексные поражения растений, затрагивающие как листья и плоды, так и ветви деревьев и кустарников. Как показали наши многолетние исследования, в условиях юга России присутствуют не менее 40 видов семейства: *Apiognomonium errabunda* вызывает поражение дубов и буков (пятнистость листьев и часто отмирание молодых побегов), *A. erythrostoma* (Pers.) Höhn. – поражение листьев абрикоса (*Prunus armeniaca*), вишни (*Prunus cerasus*) и черешни (*P. avium*) [7]; *Apiognomonium veneta* вызывает антракноз – основную болезнь платанов (*Platanus* spp.) на юге России, которая проявляется в комплексном поражении и опадении листьев, отмирании однолетних побегов и образовании многолетних язв на ветвях; *Ophiognomonium leptostyla* является наиболее

вредоносным патогеном грецкого ореха (*Juglans regia* L.) [8]. Представители рода *Plagiostoma* выступают важными патогенами видов *Salicaceae*: *Plagiostoma apiculatum* поражает ивы (*Salix* spp.), вызывая массовое отмирание ветвей, а *Plagiostoma populinum* – тополя (*Populus* spp.). Ряд других видов *Gnomoniaceae* выступают в качестве значимых возбудителей различных пятнистостей листьев многих деревьев и кустарников: *Asteroma carpini*, *A. coryli*, *A. padi* DC., *Discula campestris*, *Ophiognomonia intermedia*, *Pleuroceras pseudoplatani*, *Titaosporina tremulae* и пр. [8].

Прочие семейства *Diaporthales* в основном являются возбудителями различных некрозно-раковых заболеваний древесных растений [2]. Среди них следует отметить виды семейства *Melanconidaceae* (род *Melanconis*), вызывающие некрозы побегов ольхи (*Alnus*) и березы (*Betula*), а также выделенные из этого семейства представители семейства *Juglanconidaceae*, которые являются специализированными патогенами видов *Juglandaceae* (*Juglanconis juglandina*, *J. appendiculata*, *J. pterocaryae*); семейства *Lamproconiaceae*, приуроченных к видам *Tilia* (*Hercospora tiliae* и *Lamproconium desmazierii*); семейства *Melanconiellaceae*, представители которого поражают виноград (*Greeneria uvicola*) и граб (*Melanconiella spodiacea*); семейства *Stiltosporaceae*, представитель которого *Stegosporium pyriforme* вызывает отмирание побегов *Acer pseudoplatanus* L.; семейства *Schizoparmaceae*, представители которого *Coniella diplodiella* и *C. vitis* поражают виноград (*Vitis* spp.) и различные плодовые деревья (*Prunus*) [9]. Представители рода *Coryneum* из семейства *Coryneaceae* выступают как слабые патогены видов *Betula* (*C. lanciforme*) и *Quercus* (*C. depressum* и *C. umbonatum*).

Таким образом, хотя в настоящее время и можно говорить о достаточно полной изученности видового состава наиболее важных диапортовых патогенов деревьев и кустарников юга России, многие таксоны все же требуют углубленного изучения.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2025-0002, № госрегистрации 125021202045-8.

Список литературы

1. Rossman A.Y., Farr D.F., Castlebury L.A. A review of the phylogeny and biology of the *Diaporthales*. *Mycoscience*. 2007. Vol. 48(3). P. 135–144.
2. Fan X.L., Bezerra J.D., Tian C.M., Crous P.W. Families and genera of *diaporthalean* fungi associated with canker and dieback of tree hosts. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 2018. Vol. 40(1). P. 119–134.
3. Булгаков, Т. С. Фитопатогенная микобиота древесных растений на юге России – итоги и перспективы изучения. Изучение и сохранение биоразнообразия природной и антропогенной микобиоты: матер. Междунар. науч. конф., посв. 80-летию ИЭРиЖ УрО РАНи 300-летию РАН (Красноуфимск, 24–31 августа 2024 г.). Екатеринбург, 2024. С. 14–17.
4. Гаршина Т.Д. Болезни деревьев и кустарников Северного Кавказа. Сочи: ФГУ Ниигорлескол, 2003. 130 с.
5. Norphanphoun C., Doilom M., Daranagama D.A. et al. Revisiting the genus *Cytospora* and allied species. *Mycosphere*. 2017. Vol. 8(1). P. 51–97.
6. Udayanga D., Castlebury L.A., Rossman A., Chukeatirote E., Hyde K.D. Insights into the genus *Diaporthe*: phylogenetic species delimitation in the *D. eres* species complex. *Fungal Diversity*. 2014. Vol. 67. P. 203–229.
7. Булгаков Т.С. Микобиота древесных растений семейства *Rosaceae* Juss. в Ботаническом саду Южного федерального университета. Труды Южного федерального университета: сборник научных трудов. Вып. 5. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2020б. С. 85–154.
8. Булгаков Т.С. Грибы классов *Leotiomycetes* и *Sordariomycetes* (Ascomycota), вызывающие болезни листьев древесных растений в Ботаническом саду Южного федерального университета. Труды Ботанического сада Южного федерального университета: сборник научных трудов. Вып. 8. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2023. С. 109–162.
9. Senanayake I.C., Crous P.W., Groenewald J.Z. et al. Families of *Diaporthales* based on morphological and phylogenetic evidence. *Studies in Mycology*. 2017. Vol. 86. P. 217–296.

НОВЫЕ ВИДЫ ГРИБНЫХ ПАТОГЕНОВ КАРТОФЕЛЯ

Чудинова Е.М.¹, Еланский А.С.¹, Цинделиани А.А.¹, Скоков Д.Н.¹, Еланский С.Н.^{1,2}

¹ Российский университет дружбы народов, Москва

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В литературе имеются разные оценки количества существующих в мире видов грибов (от 1,5 млн до 16 млн видов), и все авторы сходятся во мнении, что большая часть грибов не описана к настоящему времени [1]. Ввиду высокого разнообразия грибов для многих описанных видов отсутствуют детальные данные об экологии, распространенности, приуроченности к определенному типу питания. Особенно важно изучать грибы, ассоциированные со значимыми культурами растений, например с картофелем. В литературе имеются данные о более 100 различных видах грибов, выделенных из органов растений картофеля [2,3]. Основное внимание исследователей сосредоточено на наиболее распространенных видах фитопатогенных грибов из родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*. Проводимые нашей научной группой исследования грибов рода *Fusarium* на клубнях картофеля в разных регионах мира выявили 36 видов из 9 видовых комплексов, а также 4 не входящих в комплексы вида. Впервые из клубней картофеля были

выделены 11 видов: *F. duofalcatisporum*, *F. flagelliforme*, *F. annulatum*, *F. cugenangense*, *F. curvatum*, *F. glycines*, *F. odoratissimum*, *F. triseptatum*, *F. vanleeuwenii*, *F. bostrycoides*, *F. arthrosporioides*. Все изученные штаммы (за исключением вида *F. nematophilum*) в пробах на ломтиках клубней картофеля или при заражении клубня уколком споровой суспензией показали способность к колонизации тканей клубня.

О большинстве других видов грибов, ассоциированных с картофелем, имеются отрывочные сведения. Среди описанных новых фитопатогенных видов встречаются грибы, ранее описанные как патогены других растений. Так, описанная нами как патоген картофеля *Pyonectria crassa* была найдена на луковицах лилии, корнях нарцисса, женьшеня, осины, бука [4], другой фитопатогенный для картофеля вид *Sep-totinia populiperda* ранее был описан как патоген тополя, ивы [5]. Эти грибы являются раневыми паразитами и, по-видимому, могут заражать широкий круг хозяев. В искусственных условиях *I. crassa* и *S. populiperda* могут

заражать также плоды томата. *Acrostalagmus luteoalbus* – вид, найденный нашей группой на пораженном клубне картофеля, ранее не был описан как патоген растений [6]. Недавно мы нашли еще один ранее не описанный на картофеле вид – *Aspergillus ochraceus*, этот гриб ранее был отмечен на зернах кофе, фисташках и луке.

Новые фитопатогенные виды на картофеле также описываются. При детальном изучении грибов, принадлежащих комплексу мелкоспоровых альтернаний было выделено в новые виды 4 представителя этого рода: *Alternaria longxiensis* sp. nov., *A. lijiangensis* sp. nov., *A. lycopersici* sp. nov. and *A. solanicola* sp. nov. [7]. В 2022 году нашей научной группой был описан новый вид *Trichocladium solani*, вызывающий поражения, напоминающие фузариозную сухую гниль [8]. Как впоследствии оказалось, этот гриб имеет довольно широкое распространение, мы нашли его на клубнях картофеля, выращенных в Московской и Костромской областях, Камчатском Крае. Было сообщено о находке *T. solani* в Иране. Около трети штаммов *T. solani*, исследованных в нашей лаборатории, проявили повышенную устойчивость к действующему веществу дифеноконазол и биопрепарату на основе *Bacillus subtilis*. Появление устойчивых штаммов может способствовать дальнейшему распространению *T. solani*.

Устойчивостью к тиабендазолу обладали исследованные нами штаммы малоизвестных фитопатогенных грибов *Plectosphaerella cucumerina* и *Cephalotrichum asperulum*, что также может послужить более активному распространению этих грибов в будущем.

Для развития агрессивности фитопатогенным грибам важно преодолеть систему защиты растения хозяина. Повышение вирулентности может достигаться за счет мутаций в отдельных генах патогенов или быть связано с активностью мобильных элементов [9]. Горизонтальный перенос генов между разными видами грибов позволяет патогенам расширить круг своих хозяев. Мы полагаем, что передача генетического материала может осуществляться при взаимодействии фитопатогенных грибов с микофагами (другими грибами, беспозвоночными животными или бактериями).

Кроме того, совместное заражение фитопатогенными микроорганизмами может увеличивать степень поражения растений. Мы установили тесную ассоциацию между 2 штаммами грибов (*T. solani* и

Fusarium torulosum) и фитопатогенными *Pseudomonas palleroniana* [10], эти штаммы грибов поражали клубни картофеля более эффективно по сравнению со штаммами того же вида, не содержащими бактерий.

Изучение биологического разнообразия патогенов картофеля, определение их ареалов, выяснения механизмов возникновения новых фитопатогенных грибов важны для поддержания здоровья и высокой продуктивности растений картофеля.

Работа поддержана грантом РНФ 23-16-00048.

Список литературы

1. Niskanen T., Lücking R., Dahlberg A., et al. Pushing the frontiers of biodiversity research: Unveiling the global diversity, distribution, and conservation of fungi. Annual Review of Environment and Resources. 2023. V.48(1). P. 149–176. DOI: 10.1146/annurev-environ-112621-090937
2. Белосохов А.Ф., Ярмеева М.М., Миславский С.М. и др. Микобиота клубней картофеля. Микология и фитопатология. 2023. V.57(2). P.123–133. DOI: 10.31857/S0026364823020046
3. Ганнибал Ф.Б., Полуэктова Е., Гагкаева Т.Ю., Гомжина М.М., Хютти А.В. Ассоциированные с картофелем микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России. Вестник защиты растений. 2024. V. 107(4). P. 148–164. DOI: 10.31993/2308-6459-2024-107-4-16711
4. Chudinova E.M., Elansky S.N. First report of Septotinia populiperda on potato tubers in Russia. J Plant Pathol. 2021. V.103(5). P. 665. DOI: 10.1007/s42161-021-00751-2
5. Chudinova E., Platonov V., Elansky S., Alexandrova A. et al. First report of Ilyonectria crassa on potato. J Plant Pathol. 2019. V. 101(4). P. 1293–1294. DOI: 10.1007/s42161-019-00355-x
6. Chudinova E.M., Vedmedenko D.V., Platonov V.A., Elansky A.S., Belosokhov A.F., Elansky S.N. First report of potato tuber disease caused by Acrostalagmus luteoalbus. J Plant Pathol. 2022. V. 104(8). P.1203. DOI: 10.1007/s42161-022-01173-4
7. Gou Y., Aung S.L.L., Guo Z., Li Z., Shen S., Deng J. Four new species of small-spored Alternaria isolated from Solanum tuberosum and S. lycopersicum in China. J. Fungi. 2023. V.9. P.880. DOI: 10.3390/jof9090880
8. Belosokhov A., Yarmeeva M., Kokaeva L., Chudinova E., Mislavskiy S., Elansky S. Trichocladium solani sp. nov. – a new pathogen on potato tubers causing yellow rot. J. Fungi. 2022. V.8(11). P.1160. DOI: 10.3390/jof8111160
9. Mehrabi R., Bahkali A.H., Abd-El Salam K.A., et al. Horizontal gene and chromosome transfer in plant pathogenic fungi affecting host range. FEMS Microbiol Rev. 2011. V.35(3). P. 542–554. doi: 10.1111/j.1574-6976.2010.00263.x.
10. Chudinova E.M., Platonov V.A., Skokov D.N., Tselideli A.A., Elansky S.N. Plant pathogenic pectolytic bacteria in the mycelia of the fungi infecting potato tubers. J Plant Pathol. 2025. DOI: 10.1007/s42161-025-01838-w

ГРИБЫ РОДА *FUSARIUM* НА КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Еланский С.Н.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Российский университет дружбы народов, Москва

Сухая гниль – одно из важнейших заболеваний клубней картофеля. В подавляющем большинстве случаев она вызывается грибами из рода *Fusarium*. Грибы этого рода могут вызывать и другое заболевание картофеля – фузариозное увядание. Виды рода *Fusarium* способны как к сапротрофному, так и к паразитическому образу жизни. Заражение клубней может происходить как от больных растений, так и от почвенной инфекции. В последнем случае заражение происходит, как правило, через повреждения клубня, часто с оторванного при уборке места прикрепления столона или с места обдира кожуры. Во время хранения может наблюдаться интенсивное развитие заболевания. Так, в

китайской провинции Ганьсу потери от сухой гнили в хранилище достигли 88% (Du et al., 2012). Партии семенного материала, в которых было инфицировано фузариозом более 50%, отмечали в США (Gachango et al., 2012). В России по данным Хютти (2019) ежегодные потери урожая от фузариоза во время вегетации достигают 10%, при хранении – 15%, а при нарушении температурного режима и влажности колеблются в пределах 25–50%. Пораженные сухой гнилью части клубня могут заселяться другими инфекциями, что значительно увеличивает потери.

Фузариумы – группа, крайне сложная для идентификации. Определение по культурально-

морфологическим критериям позволяет провести достоверную идентификацию только до уровня видового комплекса. Применение молекулярных методов в последние годы позволило выявить более высокое разнообразие *Fusarium* spp. В 2024 году Taxonomy browser NCBI включал 37 видов комплекса *F. incarnatum-equiseti* (FIESC) с бинарными латинскими названиями, из которых 32 были описаны в 2019 году и позже. Из 29 видов комплекса *F. oxysporum* (FOSC) 26 описаны в 2018 году и позднее, из примерно 80 видов комплекса *F. fujicuroi* (FFSC) 31 описан после 2018 года. Границы ранее описанных видов также были пересмотрены. Существенное пополнение видового состава *Fusarium* spp. в последние годы требует пересмотра видового состава рода. Видовая принадлежность патогенов картофеля, приведенная в работах, опубликованных до 2020 года, требует уточнения и переопределения видов для приведения в соответствие с новой таксономической структурой.

В данной работе исследовано разнообразие грибов рода *Fusarium* на клубнях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с симптомами поражения грибной инфекцией. Клубни отбирали во время уборки и в специализированных картофелехранилищах в разных регионах России (Московская, Костромская, Астраханская, Брянская, Владимирская, Калужская области, Краснодарский и Камчатский края, республики Марий-Эл, Татарстан, Якутия), Центральной Азии (Узбекистан, Кыргызстан, Таджикистан), Африки (Мали, Уганда, Эфиопия) в период с 2014 по 2021 год.

Отобранные клубни тщательно отмывали под проточной водой, подсушивали и разрезали стерильным ножом через место видимого грибного поражения. С границы пораженной и здоровой ткани стерильной препаровальной иглой или скальпелем отрезали кусочек ткани и помещали его в центр чашки Петри с картофельно-глюкозным агаром с добавлением антибиотика (бензилпенициллина натриевая соль, 1000 ед/мл или гентамицин, 20 мг/л). После того, как колония достигала диаметра 40–50 мм, с ее края пересаживали мицелий или агаровый блок на новую чашку со средой. После подтверждения генетической стабильности (отсутствия секторов) и микологической чистоты культуры штамм использовали для определения видовой принадлежности, а также сохраняли криоконсервацией в 15% водном растворе глицерина при -80°C .

Видовую принадлежность выделенных в чистые культуры изолятов определяли с помощью секвенирования участков ДНК генов фактора элонгации трансляции 1 α (*tef1 α*) и бета-тубулина (*β -tub*). Микроморфологические признаки изучали при помощи светового микроскопа на увеличении 15–40 $\times$.

Выделение ДНК, проведение ПЦР и секвенирование последовательностей ДНК проводили как описано в работе Ярмеева и др., 2025. Для определения видовой принадлежности по последовательностям ДНК полученные последовательности сравнивали с референтными последовательностями из работ ведущих специалистов по роду *Fusarium*, а также из баз Genbank NCBI (с помощью поисковика BLAST) и FUSARIOID-ID (<https://www.fusarium.org/>). Для филогенетических построений использовали программу MEGA X.

Виды рода *Fusarium*, обнаруженные при анализе изолятов, выделенных из клубней картофеля с симптомами грибного поражения (в большинстве случаев – сухая гниль) приведены в таблице 1. Как видно из та-

блицы, всего среди 126 проанализированных штаммов идентифицировано 36 видов из 9 видовых комплексов, а также 4 не входящих в комплексы вида. Виды из комплексов FOSC, FSaSC, FSSC, FTrSC встречались в России, Центральной Азии и Африке. Виды комплекса FIESC выявлялись на клубнях в Африке и один штамм был найден в Центральной Азии. На территории России на клубнях не было обнаружено ни одного изолята из этого комплекса.

В то же время если рассматривать видовой состав комплексов, то выявляются значительные различия между списками видов трех сравниваемых территорий (Рис. 1). Всего 3 вида (*F. nirenbergiae*, *F. oxysporum*, *F. solani*) были выявлены во всех трех регионах. Общих видов для России и Центральной Азии – 4, для Центральной Азии и Африки – 1, для России и Африки – ни одного. Основная часть видов встречается только в одном регионе: таких видов для России 13, для Центральной Азии – 5, для Африки – 10.



Рисунок 1. Диаграмма Венна, отображающая сходство видового состава рода *Fusarium* в разных регионах (приведено число видов).

Впервые из клубней картофеля были выделены 11 видов: *F. duofalcatisporum*, *F. flagelliforme*, *F. annulatum*, *F. cugenangense*, *F. curvatum*, *F. glycines*, *F. odoratissimum*, *F. triseptatum*, *F. vanleeuwenii*, *F. bostrycoides*, *F. arthrosporioides*. Сведений об их выделении с картофеля ранее нам найти не удалось. Вид *F. nematophilum* был выделен из пораженного нематодами клубня и не показал патогенности к клубню картофеля. Все остальные штаммы в пробах на ломтиках клубней картофеля или при заражении клубня уколом споровой суспензией показали способность к колонизации тканей клубня.

Результаты проделанной работы показывают, что анализ структуры участков ДНК позволяет точно и надежно диагностировать большинство видов рода *Fusarium*. Новые знания о видовом составе фитопатогенов и их биологических особенностях позволят уточнить системы защитных мероприятий, размещение культур в севооборотах, прогнозы развития заболеваний и, в целом, увеличить урожайность и рентабельность производства, повысить качество продукции.

Исследование выполнено при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-16-00048).

Таблица 1. Виды рода *Fusarium*, выделенные из клубней картофеля с симптомами грибного поражения.

Вид	Комплекс	Количество штаммов, выделенных в		
		Россия	Центральная Азия	Африка
<i>F. nematophilum</i>	FAISC**	—	1	—
<i>F. clavum</i>	FIESC	—	1	—
<i>F. duofalcatisporum*</i>	FIESC	—	—	2
<i>F. incarnatum</i>	FIESC	—	—	1
<i>F. flagelliforme</i>	FIESC	—	—	4
<i>F. annulatum</i>	FFSC	2	1	—
<i>F. verticillioides</i>	FFSC	—	2	—
<i>F. commune</i>	FNSC	3	1	—
<i>F. cugenangense</i>	FOSC	1	—	—
<i>F. curvatum</i>	FOSC	1	—	—
<i>F. glycines</i>	FOSC	—	—	1
<i>F. nirenbergiae</i>	FOSC	8	11	2
<i>F. odoratissimum</i>	FOSC	1	—	—
<i>F. oxysporum</i>	FOSC	2	7	1
<i>F. sp. 3</i>	FOSC	3	—	—
<i>F. triseptatum</i>	FOSC	—	—	2
<i>F. vanleeuwenii</i>	FOSC	1	—	—
<i>F. redolens</i>	FRSC	1	—	—
<i>F. asiaticum</i>	FSamSC	—	—	1
<i>F. culmorum</i>	FSamSC	—	—	3
<i>F. sambucinum</i>	FSamSC	11	3	—
<i>F. sporotrichioides</i>	FSamSC	7	1	—
<i>F. bostrycoides</i>	FSSC	—	—	1
<i>F. falciforme</i>	FSSC	—	1	2
<i>F. noneumartii</i>	FSSC	—	2	—
<i>F. solani</i>	FSSC	6	3	1
<i>F. stercicola</i>	FSSC	3	—	—
<i>F. tonkinense</i>	FSSC	—	—	2
<i>F. vanettenii</i>	FSSC	1	—	—
<i>F. acuminatum</i>	FTrSC	—	1	—
<i>F. avenaceum</i>	FTrSC	6	—	—
<i>F. flocciferum</i>	FTrSC	—	—	1
<i>F. arthrosporioides</i>	—	3	—	—
<i>F. caeruleum</i>	—	2	—	—
<i>F. merismoides</i>	—	1	—	—
<i>F. torulosum</i>	—	4	—	—
Всего штаммов	126	67	35	24
Всего видов	36	20	13	14

* – жирным шрифтом отмечены штаммы, впервые выделенные с клубней картофеля;
** – FAISC – *Fusarium albidum species complex*, FIESC – *F. incarnatum-equiseti* SC,
FFSC – *F. fujikuroi* SC, FNSC – *F. nisikadoi* SC, FOSC – *F. oxysporum* SC, FRSC – *F. redolens* SC, FSamSC – *F. sambucinum* SC, FSSC – *F. solani* SC, FTrSC – *F. tricinatum* SC.

Список литературы

1. Хютти А.В., Лазарев А.М. Фузариоз картофеля – причина потерь // Сельскохозяйственные Вести. 2019. № 118(3). С. 60–61.
2. Ярмеева М. М., Чудинова Е.М., Еланская А.С., Кокаева Л.Ю., Еланский С.Н. Грибы рода *Fusarium* на растениях томата в России // Микология и фитопатология. 2025. Т. 59. № 2. С. 169-180.
3. Du M., Ren X., Sun Q., et al. Characterization of *Fusarium* spp. Causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of

chinese potato germplasm to the pathogen // Potato Research. 2012. № 2(55). С. 175–184.
4. Gachango E., Hanson L.E., Rojas A., Hao J.J., Kirk W.W. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides // Plant Disease. 2012. № 12(96). С. 1767–1774.

ИНВАЗИВНАЯ МИКОБИОТА АБОРИГЕННОГО И ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ
ВИДОВ СОСНЫ В БЕЛАРУСИ

Головченко Л.А.¹, Пантелеев С.В.²

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск

²Институт леса НАН Беларуси, Гомель

В Республике Беларусь сосна обыкновенная является основной лесообразующей породой, занимающей более 50,0% покрытой лесом площади, а интродуцированные виды сосны широко используются в декоративном садоводстве, городском озеленении. Наиболее распространенными и вредоносными болезнями сосны в нашей стране являются корневые и комлевые гнили, тогда как сведения о распространенности и вредоносности значительного числа болезней хвои и побегов являются фрагментарными [1, 2]. Интерес к этой теме в Беларуси заметно возрос в последние десятилетия в связи с распространением в сосновых насаждениях соседних стран инвазивных фитопатогенов, способных вызвать гибель лесов [3-6].

Целью данной работы являлось изучение видового состава возбудителей болезней хвои и побегов аборигенного и интродуцированных видов сосны в разных типах насаждений Беларуси.

В период 2021-2024 гг. проведено рекогносцировочное фитопатологическое обследование представителей 20 видов сосны: аборигенный вид *Pinus sylvestris* и интродуцированные виды *P. sibirica*, *P. mugo*, *P. strobus*, *P. pallasiana*, *P. banksiana*, *P. nigra*, *P. peuce*, *P. ponderosa*, *P. pumila*, *P. rigida*, *P. cembra*, *P. korainensis*, *P. uncinata*, *P. contorta*, *P. kochiana*, *P. murrayana*, *P. jeffreyi*, *P. albicaulis*, *P. armandi*. Обследованию подлежали лесные культуры и молодняки сосны обыкновенной, участки естественного возобновления сосны на вырубках под пологом материнских древостоев, лесные питомники и мини-дендрарии при лесхозах, городские насаждения, питомники декоративных растений, садовые центры, ботанические сады и дендропарки. Микроскопическое изучение образцов и видовую идентификацию грибов проводили с использованием общепринятых в фитопатологии и микологии методик, отечественных и зарубежных определителей, руководств; верификацию проводили методами метагеномного анализа и секвенирования [8, 9].

В результате обработки собранного микологического материала выявлены 17 видов возбудителей болезней хвои и побегов сосны: *Lecanosticta acicola* (Thüm.) Syd., *Dothistroma septosporum* (Dorogin) M. Morelet., *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & B. Sutton., *Gremmeniella abietina* (Lagerb.) M. Morelet., *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall., *L. seditiosum* Minter, Staley & Millar, *L. conigenum* (Brunaud) Hilitzer, *Cyclaneusma minus* (Butin) DiCosmo, Peredo & Minter., *Truncatella hartigii* (Tubeuf) Steyaert., *Pestalotiopsis funerea* (Desm.) Steyaert, *Sydowia polyspora* (Bref. & Tavel) E. Müll., *Neocatenulostroma germanicum* (Crous & U. Braun) Quaedvl. & Crous., *Cenangium ferruginosum* Fr., *Microsphaeropsis olivacea* (Bonord.) Höhn., *Cytospora pinastri* Fr., *Phoma* sp., *Coleosporium* sp. Сведения о выявленных сапротрофных грибах, симбионтах в данной работе не представлены.

Установлено, что наибольшее количество возбудителей болезней (14) развивалось на хвое и побегах сосны обыкновенной (табл. 1). Из интродуцированных видов сосны наиболее разнообразна микобиота на хвое и побегах сосны горной (12), сосны черной (11), сосны желтой (10). На сосне Армана и сосне кедровой евро-

пейской поражение хвои и побегов фитопатогенными микромицетами не выявлено.

Отмечено довольно широкое распространение в насаждениях сосны инвазивных видов грибов, способных вызывать гибель деревьев – возбудителей красной пятнистости хвои (*D. septosporum*) и коричневого пятнистого ожога хвои (*L. acicola*). Если ранее мы отмечали единичные случаи этих болезней на интродуцированных видах сосны [1, 2], то в ходе данного исследования выявлено внедрение данных фитопатогенных грибов в лесные культуры и молодняки сосны обыкновенной. Ни в одном проанализированном образце хвои не выявлено моноинфекции этих фитопатогенов. Напротив, в хвое пораженных дотистромозом и леканостиктозом сосен формируются поливидовые комплексы, в которые наиболее часто входят возбудители обыкновенного шютте (*L. pinastri*, *L. seditiosum*, *L. conigenum*), склерофомоза (*S. polyspora*), склеродерриевого рака (*G. abietina*), болезни пожелтения хвои (*C. minus*), неокатенулостромоза (*N. germanicum*), диплодиоза (*S. sapinea*), фомоза (*Phoma* sp.).

Таблица 1. Видовой состав выявленных на аборигенном и интродуцированных видах сосны возбудителей болезней хвои и побегов.

Вид сосны	Выявленные виды возбудителей болезней хвои и побегов
<i>P. sylvestris</i>	<i>D. septosporum</i> , <i>L. acicola</i> , <i>T. hartigii</i> , <i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>L. seditiosum</i> , <i>L. conigenum</i> , <i>C. minus</i> , <i>G. abietina</i> , <i>S. polyspora</i> , <i>N. germanicum</i> , <i>M. olivacea</i> , <i>Phoma</i> sp., <i>Coleosporium</i> sp.
<i>P. mugo</i>	<i>D. septosporum</i> , <i>L. acicola</i> , <i>T. hartigii</i> , <i>P. funerea</i> , <i>S. sapinea</i> , <i>C. ferruginosum</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>C. minus</i> , <i>G. abietina</i> , <i>S. polyspora</i> , <i>N. germanicum</i> , <i>Phoma</i> sp., <i>Coleosporium</i> sp.
<i>P. nigra</i>	<i>D. septosporum</i> , <i>L. acicola</i> , <i>T. hartigii</i> , <i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>C. minus</i> , <i>G. abietina</i> , <i>S. polyspora</i> , <i>N. germanicum</i> , <i>Phoma</i> sp.
<i>P. ponderosa</i>	<i>D. septosporum</i> , <i>L. acicola</i> , <i>T. hartigii</i> , <i>P. funerea</i> , <i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>G. abietina</i> , <i>S. polyspora</i> , <i>N. germanicum</i> , <i>Phoma</i> sp.
<i>P. rigida</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>G. abietina</i> , <i>S. polyspora</i> , <i>N. germanicum</i>
<i>P. murrayana</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>C. minus</i> , <i>G. abietina</i>
<i>P. banksiana</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>C. minus</i> , <i>Coleosporium</i> sp.
<i>P. pumila</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>G. abietina</i> , <i>C. minus</i> , <i>S. polyspora</i> , <i>Phoma</i> sp.
<i>P. contorta</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>Coleosporium</i> sp.
<i>P. pallasiana</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>C. minus</i>
<i>P. kochiana</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i> , <i>C. minus</i>
<i>P. sibirica</i>	<i>G. abietina</i> , <i>S. polyspora</i>
<i>P. uncinata</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i>
<i>P. strobus</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>C. pinastri</i>
<i>P. jeffreyi</i>	<i>S. sapinea</i> , <i>L. pinastri</i>
<i>P. korainensis</i>	<i>G. abietina</i>
<i>P. peuce</i>	<i>S. sapinea</i>
<i>P. albicaulis</i>	<i>C. minus</i>
<i>P. armandi</i>	–
<i>P. cembra</i>	–

Внедрение возбудителей дотистромоза и леканостиктоза в лесные культуры и молодняки сосны обыкновенной вызывает опасение и требует дальнейшего изучения распространенности и вредоносности. Особого внимания заслуживают возбудители склерофомоза, неокатенулоstromоза, болезни пожелтения хвои, которые могут наносить значительный ущерб молодым растениям, широкое распространение которых обнаружено недавно и до сих пор дискуссионным остается вопрос, являются ли эти виды чужеродными для нашей страны.

Список литературы

1. Головченко Л.А., Дишук Н.Г., Пантелеев С.В. и соавт. Новый инвазивный вид *Mycosphaerella dearnessii* в составе микобиоты хвои сосны на территории Беларуси. Вести НАН Беларуси. Сер. биол. наук. – 2020. – Т. 65, № 1. – С.98-105.
2. Головченко Л.А., Дишук Н.Г., Пантелеев С.В. и соавт. Новые данные о распространении инвазивного вида *Dothistroma*

septosporum (Dorogin) M. Morelet на территории Беларуси». Вести НАН Беларуси. Сер. биол. наук. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 147–158.

3. Drenkhan R., Tomešová-Haataja V., Fraser S. et al. Global geographic distribution and host range of *Dothistroma* species: a comprehensive review. Forest Pathology. – 2016. – V. 46, no. 5. – P. 408–442.
4. Adamson K., Laas M., Drenkhan R. et al. Quarantine pathogen *Lecanosticta acicola*, observed at its jump from an exotic host to the native Scots pine in Estonia. Baltic Forestry. – 2018. – V. 24 (1). – P. 36–41.
5. Markovskaja S., Raitelaityte K., Kacergius A. et al. Occurrence of *Dothistroma* needle blight in Lithuania and Belarus: The risk posed to native Scots Pine forests. Forest pathology. – 2020. – e12626.
6. Жуков А.М., Гниненко Ю.И., Жуков П.Д. Опасные малоизученные болезни хвойных пород в лесах России: изд. 2-е, испр. и доп. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. – 128 с.
7. Падутов В.Е., Баранов О.Ю., Воропаев Е.В. Методы молекулярно-генетического анализа. – Минск: Юнипол, 2007. – 176 с.
8. Schneider S., Jung E., Queloz V. et al. Detection of pine needle diseases caused by *Dothistroma septosporum*, *Dothistroma pini* and *Lecanosticta acicola* using different methodologies. Forest Pathology. – 2019. – e12495.

BERKELEYOMYCES BASICOLA – ВОЗБУДИТЕЛЬ «ЧЕРНОЙ НОЖКИ» КОРНЕВЫХ ОТПРЫСКОВ МАЛИНЫ В ТЕПЛИЦЕ

Головин С.Е.

ФНЦ Садоводства и питомниководства, Москва

Berkeleyomyces basicola (Berk. Broome) Nel et al. — это почвенный гриб из семейства *Microascales* (*Ascomycota*), который является основной причиной корневой гнили у многих видов сельскохозяйственных и декоративных растений. Будучи гембиотрофом, гриб проникает в живые клетки корней своего хозяина во время биотрофной фазы своего жизненного цикла, прежде чем вызвать гибель клеток во время некротрофной фазы. Некроз корней вызывает задержку роста растений, что может привести к серьезным потерям урожая.

Первоначально описанные как *Thielaviopsis basicola*, и *Chalara elegans*, эти названия были даны на основе двух различных бесполой спор, производимых этим патогеном [Domsch et al., 1980; Shew and Meyer, 1992]. На основании анализа данных многолокусной последовательности вид не принадлежал ни к роду *Thielaviopsis*, ни к *Chalara* [Nel et al., 2018], и поэтому для размещения патогена был создан новый род *Berkeleyomyces*.

В 2024 г. при выращивании маточных растений малины (*Rubus idaeus*) в контейнерах в условиях защищенного грунта ФНЦ Садоводства, была отмечена гибель корневых побегов (отпрысков), причем стебель маточного растения оставался не пораженным или поражен в слабой степени. Из таких погибших корневых побегов часто выделялся гриб *Thielaviopsis basicola*, причем на коре пораженных отпрысков во влажных камерах наблюдалась большое количество хламидоспор гриба. Позже, в марте 2025 г. при размножении малины корневыми отпрысками, наблюдалась гибель укореняемых черенков с проявлением симптомов «черной ножки». Симптомы поражения также включали хлоротичность листьев, отсутствие корней и почернение на базальном конце побегов с последующей гибелью черенка.

Из пораженной базальной части черенков часто выделялся гриб, который характеризовался двумя различными типами спор. Эндоконидии гиалиновые и цилиндрические со слегка закругленными концами (7,0-18,5 x 3-5 мкм), образуются в удлинённых конечных фиалидах. Хламидоспоры производятся латерально или терминально в симподиально развивающихся акропетальных скоплениях из пяти-семи спор. Отдельные споры короткие, цилиндрические, темно-коричневые и гладкостенные, 6,0-14 x 9,5 -13,5 мкм. По этим признакам

гриб был идентифицирован как *Berkeleyomyces basicola*. Гриб образовывал серые и серо-коричневые колонии на КГА, при старении колонии приобретали темно-коричневый цвет.

Следует отметить, что исследователи из Калифорнии, сообщали о похожих симптомах поражения малины грибом *B. basicola*, при размножении этой культуры подобным способом в теплице [Ivors et al., 2023].

О поражении корневых отпрысков малины в России грибом *Berkeleyomyces basicola* не было найдено каких либо сообщений, хотя ранее С.Е. Головин [2016] сообщал о выделении гриба *Thielaviopsis basicola* совместно с другими почвенно-патогенными грибами из корней малины, поврежденных личинками майского жука.

Таким образом, данные исследования показали, что в России при размножении малины в условиях защищенного грунта существуют риски поражения корневых отпрысков грибом *Berkeleyomyces basicola*.

Исследования проведены по теме НИОКР Госзадания: «Изучить особенности биоэкологии и вредоносности вредителей и болезней плодовых и ягодных культур, разработать элементы рационального применения экологизированных средств защиты многолетних агроценозов с использованием цифровых технологий» (FGUW -2024-0002).

Список литературы

1. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.H., 1980. Compendium of soil fungi., Volumes 1 and 2 London, UK : Academic Press Ltd . vii + 859 pp., 405 pp.
2. Shew H.D., Meyer J.R., 1992. Thielaviopsis. In: Methods for Research on Soilborne Phytopathogenic Fungi., [ed. by Singleton, L.L., Mihail, J.D., Rush, C.M.]. St. Paul, Minnesota, USA : APS Press . 171 – 174.
3. Nel W.J., Duong T.A., Wingfield M.J. et al., 2018. Heterothallism revealed in the root rot fungi *Berkeleyomyces basicola* and *B. rouxiae* // Fungal Biology, 122 (11) 1031 – 1040.
4. Ivors K., Warres B., Ho T. et al., 2023. First Report of *Berkeleyomyces basicola* Causing Black Shoot Rot of Raspberry in Nursery Production in the United States and Worldwide // Plant Dis. – 2023. – doi: 10.1094/PDIS-04-23-0799-PDN.
5. Головин С.Е. Корневые и прикорневые гнили садовых растений: распространенность, вредоносность, диагностика. – М. 2016. – ООО«ПРИНТ-2». – 440 стр.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЯВЛЕННОЙ МИКОБИОТЫ НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

Камилов Ш.Г., Холмуродов У.Э., Халмурадов Э.А.

Ташкентский государственный аграрный университет НУ Республики Узбекистан

Узбекистан располагает огромными запасами лекарственных растений. В настоящее время насчитывается до 12 тыс. растений, применяемых в народной и профессиональной медицине. Известно, что из 100 тыс. современных лекарственных веществ и препаратов около 30 000 приходится на вещества растительного происхождения (Курмуков, Белолипов, 2012). По А.Эргашеву с соавторами (2010) около 50% лекарственных средств производится из сырья лекарственных растений.

В Узбекистане имеется достаточная сырьевая база и огромный потенциал для производства фармацевтических препаратов из лекарственных растений. Лекарственные растения подвергаются многочисленным заболеваниям. По литературным данным установлено, что лекарственные растения поражаются такими болезнями, как мучнистая роса, ржавчина, различные пятнистости и корневые гнили, которые наносят большой урон не только урожаю, но и ухудшают качество получаемой продукции. Достаточное производство лекарственного сырья в значительной степени зависит от максимального сокращения потерь урожая от вредных организмов.

Защита лекарственных растений от болезней занимает важное место в числе мероприятий по увеличению производства лекарственного растительного сырья. Потери урожая лекарственных растений от болезней по литературным данным составляет 10-30%. Вредоносность многих заболеваний на лекарственных растениях весьма значительна и складывается из потерь урожая сырья, семян, снижения содержания биологически активных веществ, а нередко и полной гибели посевов. Вопросу поражаемости болезнями лекарственных растений данные отечественной литературы ограничены и они нуждаются в тщательном анализе.

В результате проведенных нами в 2022-2023 годах исследований на 6 видах травянистых лекарственных растений отмечено развитие 29 видов фитопатогенных грибов. В работе были задействованы культуры мяты, ромашки, календулы, шалфей, алтей, валериана возделываемых в лаборатории лекарственных растений Ташкентского ботанического сада АН РУз.

Целью данной публикации является анализ выявленной микобиоты некоторых лекарственных растений, т.к. только зная видовой состав патогенов, можно в дальнейшем решать вопросы их относительного экономического значения, вредоносности и др. Только после детального изучения перечисленных вопросов можно разработать схему мероприятий по борьбе с болезнями лекарственных растений.

Материал и методика исследований. Материалом исследования служили образцы пораженных лекарственных растений, собранные на территории Ботанического сада АН РУз Узбекистана, в лаборатории лекарственных растений.

Сбор материала осуществлялся путем маршрутных обходов территории в течении всего периода вегетационного сезона. Гербаризация проводилась по общепринятой методике.

Идентификация грибов проводилась в лабораторных условиях путем микроскопирования непосредственно больных частей растений. Для качественного определения использовали метод «влажных камер», исходя из способности мицелия гриба находящегося в ткани растения, прорасти наружу и образовывать спороношение при повышенной влажности окружающего пространства (Дудка и др., 1982).

Идентификацию видов грибов проводили по классическим и известным определителям и монографиям, в зависимости от систематического положения патогенных грибов: Н.И.Василевского, Б.П.Каракулина (1937, 1950), В.И.Ульянищева (1978), Т.А.Доброзраковой и др. (1956), М.А.Литвинова (1969), Н.М.Пидопличко (1977-1978), а также

изданием «Флора грибов Узбекистана» (1983-1990) и научными статьями в периодических журналах и сборниках.

В работе необходимо придерживаться определенной системы, в частности, например, системы изложенной в справочнике Айнсворта и Бисби (Ainsworth, Bisbi, 1998). Современное систематическое положение выявленной микобиоты сверяли по современным базам данных, такие как www.indexfungorum.org, www.mycobank.org, www.gbif.org.

Частота встречаемости, степень развития и вредоносность определяются по пораженности растений, а также валовому сбору урожая (Чумаков и др., 1974, Дудка и др., 1982).

Полученные результаты. В результате выявления видового состава фитопатогенных грибов поражающих лекарственные растения в условиях г.Ташкента было отмечено 29 видов из 17 родов, 13 семейств, 11 порядков, 6 классов 3 отделов грибов и грибоподобных организмов (табл.1.). Из всего состава выявленных видов, 3 относятся к царству Chromista (отдел Oomycota) и 26 видов к царству Eumycota (настоящие грибы). Среди настоящих грибов 19 видов относятся к филуму Ascomycota и 7 видов к Basidiomycota.

Проведенные обследования показали, что основными болезнями лекарственных растений в условиях Ташкента являются мучнистая роса, ржавчина, фузариоз и на некоторых культурах встречаются пятнистости. Из приведенной таблицы видно, что основными болезнями травянистых дикорастущих лекарственных растений является мучнистая роса и ржавчина.

Так, мучнистая роса встречалась почти на всех культурах, где максимальная поражаемость отмечалась на ромашке – 16,2 %, затем идут мята (15,4%), пижма (12,2%). Остальные виды поражались менее 10% случаев.

Ржавчиной растений поражались 5 из 7 видов растений. Максимальное поражение отмечалось у алтея – 21,9%, следом идут – мята (18,6%), ромашка (16,5%). Остальные виды, также, поражались менее 10% случаев.

Также, отмечались различные пятнистости (рамуляриоз, септориоз, церкоспороз, аскохитоз, пероноспороз). Наиболее часто пятнистости отмечались на алтее.

Выводы. Микобиота фитопатогенных грибов поражающих лекарственные растения в условиях г.Ташкента было отмечено 29 видов из 17 родов, 13 семейств, 11 порядков, 6 классов 3 отделов грибов и грибоподобных организмов (табл.1.). Из всего состава выявленных видов, 3 относятся к царству Chromista (отдел Oomycota) и 26 видов к царству Eumycota (настоящие грибы). Среди настоящих грибов 19

видов относятся к филуму Ascomycota и 7 видов к Basidiomycota.

Основными болезнями травянистых дикорастущих лекарственных растений являются мучнистая роса и ржавчина, также отмечались различные пятнистости.

Список литературы

Таблица 1. Систематическое положение выявленного видового состава возбудителей болезней лекарственных растений в Ташкентском ботаническом саду (2022-2023)*.

Отдел (Филум)	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Растение-хозяин		
Oomycota	Peronosporae	Peronosporales	Pythiaceae	Globisporangium Uzuhashi, Tojo& Kakish. Pythium Pringsh.	P. debaryanum Hesse	Шалфей Календула		
		Peronosporales	Peronosporaceae	Peronospora Corda	P. swinglei Ell. et Kell. P. leptosperma DB.	Шалфей Ромашка		
		Leotiomycetes	Helotiales	Erysiphaceae	Erysiphe R.Hedw. ex DC.	Erysiphe cichoracearum DC.	Мята	
E.cichoracearum DC.	Валериана							
E. cichoracearum DC.	Ромашка							
Neoerysiphe U.Braun Erysiphe R.Hedw. ex DC.	Erysiphe labiatarum Chev.				Шалфей			
	Podosphaera Kunze Sphaerotheca Lev.				Sphaerotheca fuliginea f. calendulae (Malbr. & Roum.) Jacz.	Календула		
Sclerotiniaceae	Sclerotium Fuck.				S. sclerotiorum (Lib.) DB.	Валериана		
	Botrytis P.Micheli ex Pers.			B. cinerea Fr.	Ромашка			
Sordariomycetes	Hypocreales			Nectriaceae	Fusarium Link	Fusarium sp.	Ромашка Мята Шалфей	
				Glomerellales	Glomerellaceae	Colletotrichum Corda	C. malvarum (Br.et Cap.) Southw.	Алтей
				Microascales	Cyrtocystidaceae	Thielaviopsis Went	Th. basicola (Berk. et Br.) Ferr.	Шалфей
		Delonicolales	Delonicolaceae	Septoria Fr.	S. menthae Oudem.	Мята		
			Hypocreaceae		Verticillium Nees	V. alboatrum Reinke et Berth	Ромашка	
	Dothideomycetes	Mycosphaerellales	Mycosphaerellaceae	Ramularia Unger	R. menthicola Sacc.	Мята		
					R.malvae Fuck.	Алтей		
					R. valerianae (Speg.) Sacc.	Валериана		
				Cercospora Fresen.	C. calendulae Jacz.	Календула		
		C. polymorpha Bull.	Алтей					
Pleosporales	Didymellaceae	Ascochyta Lib.	A. malvicola Sacc.	Алтей				
Basidiomycota	Pucciniomycetes	Pucciniales	Pucciniaceae	Puccinia Micheli ex Haler	P. menthae Pers.	Мята		
					P. malvacearum Bertero ex Mont.	Алтей		
					P. commutata Sydow	Валериана		
					P. flaveria Jack.	Календула		
					P. pyrethri Rbnh.	Ромашка		
					S. lachastriana Sacc. et Lab.	Алтей		
	Agaricomycetes	Cantharellales	Ceratobasidiaceae	Rhizoctonia DC.	Rh.solani Kuhn	Валериана Календула		
Bcero: 3	6	11	13	17	29	6		

*курсивом показано ранее принятое традиционное наименование

1. Курмуков А.Г., Белолипов И.В. Дикорастущие лекарственные растения Узбекистана: ботаника, химия, фармакология, медицина. — Ташкент: Extremum press, 2012. — 288 с.
2. Эргашев А., Ахмедов У., Абзалов А., Юлчиева М., Азимбоев С. Практические занятия по технологии производства лекарственных растений. — Ташкент, 2010 — 128 с (узб.).
3. Дудка И.А., Вассер С.П., Элланская И.А., Коваль Э.З. и др. Методы экспериментальной микологии//Справочник. Под ред. Билай В.И. — Киев: Наукова думка, 1982 -550 с.
4. Василевский Н.И., Каракулин Б.П. Паразитные несовершенные грибы. т.1, Гифомицеты- М.-Л., Изд.АН СССР, 1937 — 256 с.
5. Ульянцев В.И. Определитель ржавчинных грибов СССР. Ч 2. — Л.,Наука, 1978. — 384 с.
6. Доброзракова Т.А., Летова М.Ф., Степанов К.М., Хохряков М.К. Определитель болезней растений. — Москва-Ленинград: Сельхозгиз, 1956. — 430 с.

7. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. — Л., 1967 — 174 с.
8. Пидопличко Н.М. Грибы-паразиты культурных растений. Определитель. Т. I-III, — К.: НД, 1977-1978
9. Флора грибов Узбекистана. В I-VII томах. — Ташкент, Фан, 1983-1997
10. Ainsworth G.C., Hawkworth D.I., Bisby G.C., Ainsworth et Bisbys Dictionary of the fungi, wort book publishing. — 1998 — P.616. JSB № 7506235390
11. Чумаков А.Е., Минкевич И.И., Власов Ю.И., Гаврилова Е.А. Основные методы фитопатологических исследований — М.,Колос, 1974 — 191 с.

ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА МИКРОМИЦЕТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНОВ СЕВЕРНОГО КAVKAZA, ВЫДЕЛЕННЫХ С ПОРАЖЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Коломиец Т.М.¹, Манукян И.Р.², Панкратова Л.Ф.¹

¹ ВНИИ фитопатологии, (ВНИИФ), р.п. Большие Вяземы

² Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного сельского хозяйства — филиал Владикавказского НЦ РАН, с. Михайловское

Обеспечение продовольственной безопасности территории Российской Федерации приобретает все большую актуальность, становясь одной из ключевых проблем глобального характера на современном этапе развития общества. Одной из таких проблем является контроль биобезопасности стратегически важных сельскохозяйственных культур. По оценке экспертов ООН (ФАО), общим показателем национальной безопасности любой страны служит производство зерна, в экономически развитых странах этот показатель составляет 900-1000 кг на 1 человека.

Пшеница — одна из главных продовольственных зерновых культур в современном мире. Согласно данным ФАО, в 2014 году мировое производство пшеницы составляло 729 млн. тонн, к 2024 году оно было увеличено до 788 млн. тонн [<https://www.fao.org/documents>]. Основные лидеры по ее производству: Россия Китай, Индия, США, Франция, Германия, Канада, Пакистан, Австралия и Украина [<https://sfera.fm/articles/zernovye/top-10-stran>].

Российская Федерация является одним из крупнейших производителей пшеницы, посевные площади которой составляют порядка 26 млн. га. Наблюдаемый в последнее десятилетие рост урожайности и производства зерна в России, происходит не только за счет совершенствования технологий возделывания культуры, но и за счет селекционно-генетического улучшения сортов пшеницы [1, 2].

В последние годы в России происходит нарастание зараженности посевов сельскохозяйственных культур возбудителями болезней грибной этиологии. Основными причинами такой ситуации является однотипность выращиваемых сортов и бесконтрольное возделывание на больших площадях сортов с расоспецифической устойчивостью. Доля близкородственных сортов в ареалах возделывания пшеницы в России превышает 50%. Из-за генетической однотипности возделываемых сортов пшеницы генофонд местных сортов, адаптированных к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам, меняется и обедняется. Все это обуславливает восприимчивость пшеницы к патогенам [3, 4].

Во ВНИИ фитопатологии на протяжении нескольких десятилетий проводится контроль за появлением новых видов, рас и генов вирулентности, необходимый для обеспечения продовольственной безопасности и опережающей селекции на иммунитет к вредоносным болезням. В результате многолетних исследований изучения видового состава микромицетов на посевах пшеницы, выявлены наиболее распространенные виды грибов различной этиологии, определена частота их встречаемости.

Материалом для исследований служили гербарные образцы растений и зерно районированных и перспективных сортов озимой пшеницы с признаками поражения возбудителями болезней грибной этиологии, поступившие из Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного сельского хозяйства (ВНЦ РАН СКНИИГПСХ).

Грибы выделяли из образцов пшеницы по методике И.А. Дудки [5]. По мере роста колоний грибы отсеивали кусочком мицелия на новую питательную среду в центр чашки Петри. Чистые культуры грибов просматривали под микроскопом при увеличении x20 на предмет поиска в них спор, по морфологии которых идентифицировали виды. В качестве справочной литературы при установлении видовой принадлежности использовали определители В.И. Билай [6, 7], F.M. Dugan [8], W Gerlach, H. Nirenberg [9]. Современный таксономический статус выделенных видов *Fusarium* уточняли по адресу <http://www.indexfungorum.org/>.

Однородность колоний штаммов по морфологическим признакам оценивали по 20 моноконидиальным культурам гриба, которые получали методом истощающего штриха.

Коллекции штаммов хранили в биологических пробирках на косяках питательной среды — картофельно-глюкозный агар (КГА) в холодильнике при температуре 7-10°C и поддерживали, систематически пересеивая один раз в три месяца. Отличные по морфолого-культуральным признакам, патогенности и фитотоксичности коллекционные штаммы, закладывали на длительное

хранение с использованием методов лиофилизации и криоконсервации.

Частоту встречаемости отдельных видов грибов рассчитывали по формуле:

$$P (\%) = (100 * n)/N, \text{ где}$$

P – частота встречаемости вида в популяции, %;

N – общее количество изолятов в популяции,

n – количество изолятов определенного вида в популяции.

В результате микологического анализа пораженных образцов выявлены патогенные и сапротрофные микромицеты. Сапротрофные грибы из родов *Rhizopus*, *Mucor*, *Chaetomium*, а также виды *Trichoderma harzianum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Epicoccum nigrum* и другие присутствовали как на растениях пшеницы, так и в зерне. С высоким процентом встречаемости (73,8%) из пораженных растений был выделен фитопатогенный гриб *Alternaria alternata*. Метаболиты грибов рода *Alternaria* (альтернариол и его метиловый эфир, тентоксин, тенуазоновая кислота и альтертоксин I, II и III) могут являться опасными токсичными веществами для животных и человека, попадая в продукты питания. Изоляты *Cochliobolus sativus* (*Bipolaris sorokiniana*) преимущественно находили на корнях и прикорневой части стеблей пшеницы.

Большое внимание при изучении микобиоты пораженных образцов пшеницы было уделено грибам из рода *Fusarium* – продуцентам опасных микотоксинов. Частота встречаемости видов фузариевых грибов была неоднозначной. С высокой частотой (53,7) среди грибов этого рода встречался возбудитель *Fusarium graminearum*. Как правило, этот фитопатоген идентифицировался с пораженного зерна. Кроме того, выделено большое количество еще не определенных до вида фузариевых грибов (39,7%) из-за их специфики роста, морфотипа и репродуктивной способности в лабораторных условиях. С небольшой частотой в популяции предгорных районов Северного Кавказа встречались два вида фузариевых патогенов: на зерне и растениях – *Fusarium lolii* (Wm.G. Sm.) Sacc (*F. heterosporum*) – 4,1%, только на растениях пшеницы – *Fusarium oxysporum* Schltdl. – 2,5%.

Таким образом, в популяции грибов горных и предгорных районов Северного Кавказа России идентифицированы патогенные и сапротрофные микромицеты. На посевах пораженных сортов пшеницы идентифицированы грибы, относящиеся к разным видам из родов *Rhizopus*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Fusarium*, включающим виды *Fusarium heterosporum*, *Fusarium graminearum* и др., а также *Alternaria alternata*, *Bipolaris spicifera*, *Trichoderma harzianum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Epicoccum nigrum* и другие. Среди грибов рода *Fusarium* наибольшую опасность представляет возбудитель *F. graminearum*.

Изученные по морфолого-культуральным свойствам, патогенности, фитотоксичности, микромицеты отобраны в Государственную коллекцию фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ и заложены на длительное хранение методом лиофилизации.

Для дальнейшего обеспечения биобезопасности стратегически важных сельскохозяйственных культур необходимо усилить популяционно-генетический контроль в следующих направлениях:

- Контроль видовой и внутривидовой изменчивости наиболее вредоносных патогенов.
- Генотипирование ДНК самых различных микроорганизмов с применением микросателлитного анализа, составление генетических карт сцеплений генома.
- Выявление потенциально-опасных рас и генов вирулентности с целью идентификации эффективных генов устойчивости к болезням на территории России.
- Выявление заносной инфекции для предотвращения биотерроризма и обеспечения продовольственной безопасности.
- Определение влияния биотических и абиотических факторов на формирование популяций патогенных организмов.
- Создание генетического банка возбудителей наиболее опасных болезней, характеризованных по морфологическим признакам, патогенности и генотипу вирулентности для использования в опережающей селекции на иммунитет к вредоносным болезням и обеспечении продовольственной безопасности страны в случае применения биологического оружия.

Список литературы

1. Раджарам С., Браун Х.Е. Потенциал урожайности пшеницы. Агромеридиан. – 2006. – № 2(3). – С. 5-12.
2. Бабкенов А.Т. Урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы на различных агрофонах. Культурные растения для устойчивого сельского хозяйства в XXI веке. – М. Россельхозакадемия. – 2004. – Т. 2. – С. 421-426.
3. Мартынов С.П., Добротворская Т.В., Пухальский В.А. Динамика генетического разнообразия сортов озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), районированных на территории России в 1929-2005 гг. Генетика. – 2006. – 42 (10). С. 1359-1370.
4. Смирнова Л.А. Использование эффективных Lr-генов в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине. Методические рекомендации. – М.: ВАСХНИЛ. -1990.- С. 1-32.
5. Дудка И.А. Методы экспериментальной микологии. К.: НД. – 1982. – 550 с.
6. Билай В.И., Курбатская З.А. Определитель токсинообразующих микромицетов. Киев. – 1990.
7. Билай В.И. Микроорганизмы – возбудители болезней растений. К.: НД. – 1988. – 552 с.
8. Dugan F.M. The identification of fungi. All Illustrated Introduction with Keys, Glossary, and Guide to Literature. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota. USA. – 2008. – 176 p.
9. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* — a pictorial atlas. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt for Land- und Forstwirtschaft. – 1982. – 209. – P. 1-406.

АНТРАКНОЗ (ВОЗБ. *COLLETOTRICHUM COCCODES*): ВАЖНЫЙ ПОДХОД К ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ПОСАДКАХ КАРТОФЕЛЯ

Кузнецова М.А., Демидова В.Н., Семенюк И.Н., Вятчинов А.А., Сметанина Т.И., Рогожин А.Н., Ерохова М.Д.
ВНИИ фитопатологии, Большие Вяземы

Антракноз картофеля, возбудителем которого является фитопатогенный гриб *Colletotrichum coccodes* (Wallr) Hughes (синоним *C. artamentarium* Berk. et Broome), в настоящее время широко распространенное заболевание во многих странах Европы, Азии, Америки, Австралии и России. К сожалению, многие производители картофеля недооценивают это заболевание, поскольку симптомы схожи на клубнях с серебристой паршой (гриб *Helminthosporium solani* Dur. Et Mont).

Вредоносность антракноза заключается в преждевременном отмирании ботвы, загнивании клубней в период вегетации и хранения, снижении семенных качеств клубней [1,2,3].

По результатам фитосанитарного мониторинга, проведенного нами в последние годы в Северо-Западном, Центральном, Сибирском и Приволжском федеральных округах, симптомы антракноза были обнаружены на разных сортах картофеля российской и зарубежной селекции. Было отмечено, что в большей степени антракнозом поражались растения картофеля, ослабленные абиотическими стрессами, а также пораженные *Phytophthora infestans*, *Alternaria* sp. и др.

Для изучения эпифитотииологического процесса возбудителя *Colletotrichum coccodes* был проведен полевой опыт на двух сортах картофеля, различающихся по устойчивости к фитофторозу: Аризона (восприимчивый) и Санта (умеренно-восприимчивый).

Цель исследования – определить распространённость антракноза на защищённых и без защиты от фитофтороза сортах картофеля.

Исследования проводили на экспериментальном поле ФГБНУ ВНИИФ.

Дата посадки сортов – 05.05.2023; дата уборки – 20.08.2023.

Агротехнические мероприятия по уходу за опытными растениями включали: 27.10.2022 – зяблевая

вспашка, 15.04 2023 – дискование; 27.04.2023 – глубокая культивация; 01.05.2023 – нарезание гряд; 26.05.2023 – окучивание с фрезерованием.

С осени на поле внесли 70 т/га органических удобрений и перед посадкой картофеля – минеральные в дозе 60 кг/га по д.в.

Против сорняков проводили обработку (29.05.2023) гербицидом на основе метрибузина в дозе 0,6 кг/га; 27.06.2023 гербицидом на основе просульфокарба в дозе 2 л/га.

Каждый тестируемый сорт включал два варианта:
1) контроль (без обработки);
2) обработки растений фунгицидом на основе флуазинама (0,4 л/га), (6 обр.).

Повторность опыта трехкратная, площадью каждой учетной делянки – 42 м².

Учеты пораженности растений фитофторозом проводили каждую неделю по шкале Британского микологического общества (James, 1972); на основании результатов учетов определяли площадь под кривой (AUDPC) с помощью компьютерной программы «Потери» [4].

Оценку пораженности картофеля антракнозом проводили при уборке урожая: учитывали распространённость болезни – количество больных растений, выраженное в процентах – от общего числа обследованных растений на участке определенной площади. Ее вычисляют по формуле: $(P = n \times 100):N$, где P – распространённость, в N – общее количество обследованных растений; n – количество больных растений.

Растение считалось пораженным, если на основании стеблей куста наблюдали обильное продуцирование черных склероциев. На таких растениях также поражены столоны и корни антракнозом.

При уборке урожая оценивали показатели: общий вес урожая (ц/га) и товарность клубней, %.

Таблица 1. Метеорологические данные периода вегетации 2023 г. (по данным метеостанции ВНИИФ, Московская область).

Основные показатели	Месяц/декада														
	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Температура воздуха, °С														
Среднегодовья	3,2	5,2	8,1	11,2	12,2	13,9	15,3	16,4	17,4	17,7	18,5	18,4	17,9	16,4	15,0
Среднее	5,5			12,6			16,3			18,2			16,4		
Текущего года	7,9	9,2	11,4	6,7	13,9	14,3	13,8	17,5	17,0	19,7	16,1	17,8	22,5	20,2	14,9
Среднее	9,5			11,7			16,1			17,9			19,0		
	Относительная влажность воздуха, %														
Среднегодовья	72	70	67	65	67	68	69	72	72	74	74	74	74	77	78
Среднее	69			66			71			74			76		
Текущего года	75	52	44	54	57	73	65	51	72	67	76	77	68	79	81
	63			62			63			73			76		
	Осадки, мм														
Среднегодовья	10,8	12,7	11,7	13,6	18,6	21,7	22,6	22,1	24,6	26,0	27,2	23,4	19,6	24,6	23,7
Сумма	S			S			S			S			S		
Текущего года	17,3	3,7	1,0	11,7	2,7	31,8	18,2	0,1	59,3	18,0	49,8	49,8	0,3	27,7	26,7
Сумма	22,0			46,2			72,6			117,6			54,7		

Статистическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа по Доспехову Б.А. («Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований» М., 1985 г.).

В 2023 году погодные условия благоприятствовали раннему и в дальнейшем эпифитотийному развитию фитофтороза (табл.1). В начале вегетационного сезона наблюдались перепады температуры и влажности воздуха, по сравнению со среднемноголетними показателями: в первой декаде мая – снижение температуры воздуха на 4,5 °С, во второй и третьей декадах – превышение температуры на 1,7 °С и 0,4 °С. Снижение влажности воздуха в первой и второй декадах мая на 11% и 10%; в дальнейшем, в третьей декаде июня, второй и третьей декадах июля выпали обильные осадки (в третьей декаде июня на 34,7 мм, во второй и третьей декадах июля на 22,6 и 26,4 мм.), по сравнению со среднемноголетними показателями (табл.1). Таким образом, влаги в почве в этот период времени было достаточно для массовой закладки и развития клубней картофеля. Вместе с тем, сложившиеся погодные условия благоприятствовали достаточно раннему и в дальнейшем эпифитотийному развитию фитофтороза, а также активному развитию антракноза.

Учитывая экстремальные погодные условия по осадкам в третьей декаде мае, третьей декаде июня, первой и второй декадах июля, интервалы между фунгицидными обработками против фитофтороза составляли 7 суток.

При таких погодных условиях, на восприимчивом сорте картофеля Аризона первичное проявление фитофтороза было отмечено 29 июня. В первой декаде июля, контрольные растения (без обработки) поразились на 20%, в третьей декаде июля – 85%, в первой декаде августа –100%.

На умеренно-восприимчивом сорте картофеля Санте проявление фитофтороза было отмечено 04 июля. В конце первой декаде июля, контрольные растения (без обработки) поразились на 10%, в третьей декаде июля – 50%, в первой декаде августа –80%. Таким образом, площадь под кривой (AUDPC) – интегральный показатель развития фитофтороза на надземной части растений на сорте Аризона составила: контроль (без обработки) – 2685 ед., в варианте 2, где проводили защитные обработки от фитофтороза – 677 ед., $HCP_{0,95}=210$. На сорте Санте – контроль (без обработки) – 1690 ед., в варианте с проведением защитных обработок – 420 ед., $HCP_{0,95}=178$ (табл. 2).

По результатам оценки было установлено, что на защищенных от фитофтороза сортах картофеля: Аризона (восприимчивый) и Санте (умеренно-восприимчивый) наблюдалось достоверное снижение вредоносности антракноза. Так, в контроле на сорте Аризона (без обработки фунгицидами от фитофтороза), распространение антракноза составило 70%, в варианте с фунгицидной защитой – 30%; в контрольном варианте сорта Санте – 40%, в варианте с защитой – 20%. В испытываемых вариантах было также установлено, что общая урожайность и товарность клубней картофеля увеличились на 284 ц/га и 35% для сорта Аризона и на 230 ц/га и 28% для сорта Санте (табл.5). Очевидно, что снижение поражения картофеля фитофторозом является одним из ключевых факторов повышения иммунного статуса сортов картофеля по отношению к заражению *Colletotrichum coccodes*.

Полученные данные подтверждают, что перераспределение инфекции в посадках картофеля активнее

происходит на зараженных фитофторозом растениях, у которых снижен иммунный статус и активнее происходит проникновение в ткани растений возбудителя *Colletotrichum coccodes*.

Таблица 2. Влияние интенсивности поражения сортов картофеля фитофторозом на поражение растений антракнозом (ВНИИФ, 2023г.).

Вариант	AUDPC, ед.	Количество пораженных антракнозом растений (от общего числа обследованных), %	Урожайность, ц/га	Товарность, %
Сорт Аризона (восприимчивый)				
1. Контроль, (без обр.)	2685	70,0	274	56
2. Защита от фитофтороза (6 обр.)	677	30,0	558	91
$HCP_{0,95}$	210	12	39	3
Сорт Санте (умеренно-восприимчивый)				
1. Контроль, (без обр.)	1690	40,0	349	64
2. Защита от фитофтороза (6 обр.)	420	20,0	579	92
$HCP_{0,95}$	178	10	31	5

Таким образом, для снижения вредоносности антракноза в посадках картофеля требуется комплексный подход, включающий не только проведение фитосанитарных и агротехнических приемов [6], но и обязательная защита от фитофтороза восприимчивых и умеренно-восприимчивых сортов фунгицидами.

Список литературы

- Зейрук В.Н., Жевора С.Н., Васильева С.В. и др. Болезни, вредители и сорняки картофеля и мероприятия по борьбе с ними. М: Наука, 2020. 332 с.
- Belov G.L., Belosokhov A.F., Kutuzova I.A., Statsyuk N.V., Chudinova E.M., Alexandrova A.V., Kokaeva L.Y., Elansky S.N. *Colletotrichum coccodes* in potato and tomato leaves in Russia Journal of Plant Diseases and Protection, 2017. DOI: 10.1007/s41348-017-0138-0. Springer. p. 1–7.
- Белов Д. А., Хютти А. В. Современные фитопатогенные комплексы болезней картофеля и меры по предотвращению их распространения в России. Картофель и овощи. – 2022. – № 5. – С. 18-24. – DOI 10.25630/PAV.2022.52.94.003.
- Филиппов А.В., Кузнецова М.А., Рогожин А.Н. Сроки обработки картофеля для защиты от фитофтороза. Защита и карантин растений. 2005. № 3. С. 30
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Кузнецова М. А., Рогожин А. Н., Сметанина Т. И., Денисенков И. А. Защита картофеля от ризоктониоза, антракноза и серебристой парши. Картофель и овощи. – 2017. – № 4. – С. 27-29.

ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКРОМИЦЕТОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ
С РАСТЕНИЯМИ КУКУРУЗЫ МЕКСИКАНСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Кузнецова А.А., Смирнова А.В., Костин Н.К., Игнатьева И.М.
Всероссийский центр карантина растений (ВНИИКР), р.п. Быково

Кукуруза (*Zea L.*) является одной из распространенных зерновых культур, возделываемой не только на территории Российской Федерации, но и в различных странах мира. Благодаря своему широкому применению кукуруза занимает третье место по посевным площадям после пшеницы и риса в мире. Благодаря своим полезным свойствам используется как на кормовые цели для животных, так и на производственные цели (крахмал, масло, крупа и мука), а также употребляется в пищу в вареном и консервированном виде [1, 2]. Кукуруза – универсальная и стратегически важная культура, с каждым годом спрос на нее и на посевные площади увеличиваются, особенно в странах с развивающейся экономикой и растущим населением [3]. Основные страны производители — это США, Китай, Бразилия и Мексика, где производят до 70% всей мировой кукурузы [4]. Кукуруза, как и все культурные растения, подвержена множеству грибным заболеваниям, которые негативно сказываются на возделывание кукурузы. Основными болезнями кукурузы являются пузырчатая головня (гриб *Ustilago maydis* (DC.) Corda), образует опухоли (галлы) на початках, листьях, стеблях кукурузы, нарушая этим развитие растения; гельминтоспориоз (грибы рода *Cocliobolus*), вызывает на листьях различные виды пятнистости; фузариоз початков и стебля (грибы рода *Fusarium*), поражают стебель и початки кукурузы, вызывая полегание кукурузы перед сбором урожая; антракноз (гриб *Colletotrichum graminicola* (Ces.) GW Wilson), образует темные пятна, язвы или гнили на листьях, стеблях, побегах и плодах растений; угловатая пятнистость листьев (грибы рода *Curvularia* и серая пятнистость листьев (*Cercospora zea-maydis*), также образуют пятнистости и темные некрозы на листьях, которые при сильном поражении растений усыхают и отмирают. Грибная инфекция значительно снижает урожайность, качество зерна и накапливает в нем опасные микотоксины, которые могут быть опасны для животных и человека [5].

Материалами научного исследования являлись 23 образца вегетативных частей кукурузы, полученные в ходе выездной экспедиции в Мексику. Отбор образцов проводили в фазе созревания растений, которые состояли из листьев с различными пятнистостями по цвету и форме неизвестной этиологией, также некротическими повреждениями с локальными усыханиями растительной ткани. Целью исследований являлось определение видового состава микромицетов, выделенных с листьев кукурузы, с дальнейшим выделением их в чистую культуру и пополнением коллекции грибов ФГБУ «ВНИИКР».

Первично визуально осматривали пораженные участки растений кукурузы и отбирали фрагменты с темными пятнами, некрозами и язвенными углублениями на листьях. Отобранные пробы обеззараживали поверхность 70% этиловым спиртом и закладывали на питательную среду 2% КГА (рН 5,0) с добавлением антибиотиков – 1% стрептомицина и ампициллина. Культивировали в термостате при температуре 25 С с целью получения морфологических структур грибов. Далее мицелий пересевали на новую питательную среду 2% КГА, выделяя грибы в чи-

стую культуру. Развившийся мицелий предварительно микроскопировали и секвенировали по Сенгеру с применением универсальных праймеров ITS 4/ITS 5 [6]. В результате исследований было выделено в чистую культуру 32 изолята различных видов грибов из растительной частей кукурузы мексиканского происхождения. Идентифицированы такие виды микромицетов, как: *Curvularia coatesiae* Y.P. Tan & R.G. Shivas, *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch, *Botrytis cinerea* Pers., *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) GA de Vries, *Colletotrichum graminicola* (Ces.) GW Wilson, *Phoma herbarum* Westend., *Diplodia seriata* De Not., несколько видов из рода *Epicoccum*, *Didymella*, *Fusarium* и *Alternaria*. Видовой состав микромицетов, выделенных из растений кукурузы из Мексики представлен в таблице 1.

Таблица 1. Видовой состав микромицетов, выделенных из растений кукурузы из Мексики.

Количество выделенных изолятов, шт											
<i>C. carbonum</i>	<i>B. cinerea</i>	<i>Epicoccum</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.	<i>C. cladosporioides</i>	<i>Didymella</i> sp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>C. graminicola</i>	<i>N. oryzae</i>	<i>P. herbarum</i>	<i>C. coatesiae</i>	<i>D. seriata</i>
3	1	4	8	1	3	5	1	1	1	3	1
											Общее количество, шт
											32

Особенно важным для данной работы было выделение из листьев кукурузы такого вида, как *C. carbonum*, являющегося карантинным организмом для РФ. Территориально данный вид был выявлен в районе Сантьяго дель Монте штате Мехико. Следует отметить, что по базе данных ЕОКЗР на карте распространения вид *C. carbonum* считается отсутствующим на территории Мексики. Вид *C. carbonum* – факультативный паразит, он может долгое время находиться в растении, не вызывая симптомов болезни, а в дальнейшем проявить себя как гемибииотроф. Гриб проявляет свои паразитические свойства на ослабленных растениях, вызванных поражением другими возбудителями, зачастую присутствует в комплексе с другими патогенными грибами. При поражении листьев кукурузы грибом *C. carbonum* отчетливо отмечались вытянутые размытые шоколадно-коричневые пятна, продолговатой и некоторые неправильной формы, без четкой зональности. При микрокопировании конидии имели удлинненно-эллипсоидальную форму, расширенную середину, оливково-коричневую окраску, с 8-10 перегородками, размером в среднем 60-80 х 14-16 мкм. Колония *C. carbonum* имела опушенный бархатистый мицелий, на начальном росте имел оливково-серый цвет, в дальнейшем приобретала более темно-коричнево-черный оттенок мицелия, с небольшим волнистым краем.

Все изоляты грибов выделенные в 2024 году из растений кукурузы (происхождение Мексика) были депонированы в коллекцию ФГБУ «ВНИИКР». Данные виды могут быть использованы в лабораторной

практике при фитосанитарных исследованиях для точного определения карантинных и опасных грибных организмов в подкарантинной продукции кукурузы.

Список литературы

1. Агро Экспорт Групп. Кукуруза. [Электронный ресурс]. – URL: <https://agroex.ru/culture/kukuruza>.
2. Мелихов В.В., Кружилин И.П., Кузнецова Н.В. Руководство по возделыванию кукурузы на зерно. Волгоград: Издатель. – 2003. – С. 88.
3. Soare E. et al. World market research on maize. Agriculture for Life, Life for Agriculture” Conference Proceedings. – 2018. – Т. 1. – №. 1. – С. 216-222.

4. Kumar S., Bhatt B. Status and production technology of maize. Status of Agricultural Development in Eastern India Eds.: BP Bhatt, AK Sikka, Joydeep Mukherjee, Adlul Islam, A. Dey. – 2012. – С. 151-167.
5. ur Rehman F. et al. Seed-borne fungal diseases of maize (*Zea mays* L.): A review. Agrinula: Jurnal Agroteknologi dan Perkebunan. – 2021. – Т. 4. – №. 1. – С. 43-60.
6. White T. J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications. – 1990. – Т. 18. – №. 1. – С. 315-322.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАСПОРЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ И КОРНЕПЛОДОВ КАРТОФЕЛЯ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Ларина Г.Е., Серая Л.Г., Мудреченко С.Л.
ВНИИ фитопатологии, Большие Вяземы

Введение. В сельскохозяйственном производстве актуален вопрос продолжительного хранения плодов и овощей, в частности, хранение семенного картофеля, который составляет до 15% валовой продукции растениеводства и более 8% валовой продукции [1]. Отметим ряд особенностей в хранении картофеля: 1) перед загрузкой секции хранения дезинфицируют, проветривают и просушивают, 2) картофель с поля доставляют в хранилище в необработанном виде, 3) после взвешивания картофель сортируют и загружают в секции на хранение, 4) после загрузки в течение 15 суток картофель проходит «лечебный» период при температуре $15 \pm 3^\circ\text{C}$, 5) хранение происходит россыпью в насыпи высотой 4 м в условиях активной вентиляции с искусственным охлаждением при температуре $2-4^\circ\text{C}$ и относительной влажности 90–95% [2]. Достаточно много работ по хранению картофеля в хранилищах навалного типа [3]. Но наиболее продолжительный срок сохраняют товарные качества овощи и плоды, заложенные в холодильные камеры (ХК) с регулируемой газовой средой или РГС (<https://nwref.ru/catalog/detail/kamery-rgs-i-ulo/?ysclid=m8bdjbilzy892159994>). В них принудительно снижают в воздухе окружающей среды концентрацию кислорода для подавления жизнедеятельности фитопатогенов (вредители, аэробные микроорганизмы) и замедления старения. В научных источниках много внимания уделяется анализу качества растительной продукции и достаточно мало информации о поведении фитопатогенов на этапе хранения.

Цель работы – изучение заспоренности семенного материала товарного картофеля и конструкций холодильной камеры с регулируемой газовой средой после длительного хранения.

Методы и объекты. В течении двух сезонов проводили фитопатологический мониторинг урожая семенного картофеля, после продолжительного хранения в холодильных камерах (ХК) РГС. После загрузки картофеля в камеру, из нее удаляли часть воздуха (кислорода) и добавлялся углекислый газ, для создания оптимальных условий продолжительного хранения. После 6-8 месяцев хранения, камеры открывали и с разных элементов конструкции (стены, пол, конструкция вытяжной вентиляции) проводили смывы и одновременно отбор проб картофеля для микологического анализа. Выделение микромицетов проведено традиционными метода-

ми микробиологии и фитопатологии (посев на твердые агаризованные среды, влажная камера) в лабораторных условиях на базе отдела патологии декоративных и садовых культур ВНИИ фитопатологии [4]. Номенклатура приведена в соответствии с *Index Fungorum* (<http://www.indexfungorum.org>). Обработку данных проводили с помощью программных средств MS Excel (2013) при 95%-ом уровне вероятности (P_α). Оценивали частоту встречаемости (ЧВ) или обилие микромицетов, % в составе грибного комплекса; колониеобразующие единицы (КОЕ/м³) – показатель количества жизнеспособных микроорганизмов в единице объема.

Результаты и обсуждение. Основные источники инфекции в ХК – это растительные остатки и частицы почвы, больные клубни. В целом содержание спор грибов в воздухе хранилища колебалось от 200 до 20000 КОЕ в 1 м³ в зависимости от рода/вида. Высокая обсемененность грибами обследуемых помещений – цех сортировки и упаковки, камера хранения, объясняется повышенной влажностью необходимой для хранения овощной продукции.

Данные микологического анализа набора проб показали различия в составе грибного комплекса и доминирующих микромицетах (табл. 1). Для картофеля выделяют наиболее опасные фитопатогены, влияющие на основные потери продукции: *Alternaria alternata*, *A. infectoria*, *A. tenuissima*; *Phoma exigua* var. *exigua*; *Fusarium sambucinum*, *F. gibbosum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*; *Colletotrichum coccoides*; *Rhizoctonia solani* (= *Hypochnus solani*); *Pythium ultimum* и др. Интересный результат получен при анализе места, где был зафиксирован тот или иной возбудитель опасных инфекционных болезней для картофеля: представители рода *Alternaria* и *Fusarium* присутствовали повсеместно, но род *Pythium* только на деревянной и пластиковой таре (контейнеры, ящики), а род *Rhizoctonia* – на плодах картофеля. Это позволяет нам предположить, что тара загрязнена остатками почвы и растительным мусором и является источником фитопатогенов в ХК, а клубни картофеля, закладываемые на хранение, имеют много механических повреждений, в которые поражает возбудитель ризоктониоза.

В воздушной среде цеха по сортировке и упаковке определены грибы рода *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*. Споры грибов присутствуют в воздухе посто-

янно и в условиях влажности воздуха (75-90%) и температуры воздуха (19-20°C) начинается их активный рост и развитие. В воздушной среде камеры состав грибного комплекса имел отличия с учетом высоты забора образцов осеменения:

- на уровне пола (t 1,0-2,3 °C) - *Cladosporium*, *Geomyces*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*;
- на высоте 7,2 м (t 2,9-3,0 °C) – *Botrytis*, *Penicillium*, *Talaromyces*, *Trichocladium*.

Таблица 1. Состав микроорганизмов в пробах семенного материала товарного картофеля в холодильных камерах (жирным шрифтом выделены опасные фитопатогены)

Местоположение (место отбора)	Доминирующие (обильно), ЧВ выше 80%	Редкие виды (единичны), ЧВ менее 20%	Прочие виды, ЧВ 20-80%
воздушная среда хранилища	<i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i>	<i>Geomyces</i> , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Talaromyces</i> , <i>Trichocladium</i>	<i>Botrytis</i>
контейнеры, ящики	<i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i>	<i>Pythium</i>	<i>Aspergillus</i> , <i>Aureobasidium</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Clonostachys</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Trichoderma</i>
продукция (картофель)	<i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Clonostachys</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Trichoderma</i>
ХК (смывы с конструкций, стен и пола)	<i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i>	<i>Acremonium</i> , <i>Verticillium</i>	<i>Aspergillus</i> , <i>Aureobasidium</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Clonostachys</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Trichoderma</i>

Интересный факт, в верхней части камеры (уровень отбора 7,2 см) в воздухе выделен микромицет *Botrytis* sp., *Botrytis cinerea* - возбудитель «серой плесени», который чаще всего встречается на поверхности культурных растений и компостных субстратах. Но в случае хранилища может быть объяснено малоэффективными фильтрами системы вентиляции и низким качеством работ по дезинфекции (в т.ч. человеческий фактор) в верхней части камеры.

В нижней части камеры определены грибы рода *Geomyces*, сапротрофиты, активно растущие при пониженных температурах и переувлажнении на бетонных конструкциях. Идентифицирован гриб рода *Scopulariopsis*, хорошо переносящий экстремальное воздействие, в т.ч. прогревание, воздействие мыльных растворов (щелочи), но способный активно разрушать органические субстраты. Недостаточную эффективность работ по дезинфекции тары подтверждает обилие фитопатогенов рода *Verticillium*, *Fusarium* и плесневых грибов – *Mucor*, *Paecilomyces* и др. Определены различия в грибном комплексе контейнеров, расположенных на разной высоте в исследуемой камере:

- на уровне пола (t 1,0-2,3 °C) – *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*;
- на высоте 7,2 м (t 2,9-3,0 °C) – *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Clonostachys*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*.

Из смывов с тары (пластиковые и деревянные контейнеры) выделен *Aspergillus* sp., способный поражать

людей или животных аспергиллезами. Обилие его на контейнерах может быть связано с плохой просушкой тары перед заполнением продукцией. Недостаточную эффективность работ по дезинфекции тары подтверждает обилие фитопатогенов рода *Pythium*, *Fusarium* и плесневых грибов – *Mucor*.

Не зависимо от высоты и места отбора определено обилие темнопигментированного микромицета *Aureobasidium* sp. (в камере хранения КОЕ=900-20000 в 1 м³ и на контейнерах КОЕ=300-3600 в 1 м³), отличающегося устойчивостью к стрессам. Он способен поражать культурные растения, вызывая полиспороз и пятнистости. В этом случае также можно говорить о вторичном источнике загрязнения в результате низкого качества работ по очистке от остатков и дезинфекции внутри камеры хранения.

Заключение. Итак, преимущество использования ХК с РГС для длительного хранения корнеплодов заключается: 1) в предотвращении болезней и гниения, т.к. низкое содержание кислорода и повышенный уровень углекислого газа создают неблагоприятные условия для развития микроорганизмов; 2) замедление процессов окисления и старения, которые обычно происходят при контакте с кислородом. В результате инструментального анализа образцов, взятых с элементов конструкции хранилища, тары и картофеля, выделен комплекс микроорганизмов из 19 родов: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Botrytis*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Paecilomyces*, *Acremonium*, *Verticillium*, *Geomyces*, *Scopulariopsis*, *Talaromyces*, *Trichocladium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*. Разнообразие грибов в воздушной среде и на элементах конструкции хранилища характеризуют высокую влажность в ХК, необходимую для создания оптимальных условий хранения овощной продукции (картофель).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FGГУ-2025-0007).

Список литературы.

1. Попадын Н.И., Казакевич С.А., Иванов С.В., Питалев В.Г., Писаренко В.В. Коммерческое использование стационарных и транспортабельных хранилищ плодовоовощной продукции с регулируемой газовой средой // Magyar Tudományos Journal. 2020. №40, С. 4-9.

2. Турсунов С., Шарифжонов Ж.А.У. Особенности хранения картофеля // Universum: технические науки. 2022. №10-4 (103). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-hraneniya-kartofelya> (дата обращения: 16.03.2025).

3. Зейрук В.Н., Абашкин О.В., Васильева С.В., Абросимов Д.В., Пшеченков К.А., Белов Г.Л. Защита картофеля в период хранения // Земледелие. 2018. №8, С. 17-19.

4. Красноженов Е.П. Руководство к практическим занятиям по медицинской микробиологии. – Томск: СибГМУ, 2003. – 260 с.

ФИТОПАТОГЕННАЯ МИКОБИОТА НА ЯГОДАХ МАЛИНЫ

Лавринова В.А.¹, Жидехина Т.В.²¹ Среднерусский филиал ФНЦ им. И.В. Мичурина, пос. Новая жизнь*² ФНЦ им. И.В. Мичурина, Мичуринск

Малина – ценная ягодная культура, но несмотря на все достоинства в плодородных хозяйствах ее не выращивают. Причины: высокая трудоемкость, нестабильная урожайность и поражение наиболее опасными болезнями при хранении. Поэтому целью нашего исследования было выявление вредоносной микобиоты на ягодах малины после уборки урожая. Материалом для изучения служила ягода малины, выращенная на опытных полях «Федерального научного центра им. И.В. Мичурина». Микологические исследования проводили в лаборатории защиты растений Среднерусского филиала «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

Впервые в северо-восточной части Центрального Черноземного Региона проведенные исследования по изучению фитопатогенных грибов выявили, что чаще других отмечались виды гнилей: черная (*Alternaria alternata* (Fr) Keissler), сухая (*Fusarium lateritium* Ness), кожистая ((*Phytophthora cactorum* (Lebert et Cohn) Schroet)), серая (*Botrytis cinerea* Pers.); плесени: черная ((*Cladosporium cladosporioides* (Fresen.)), зелено-голубая (*Penicillium expansum* Link), зелено-желтая (*Aspergillus* P. Micheliex Haller), серая головчатая (*Rhizopus nigricans* Ehrenb), головчатая (*Mucor piriformis* Fisch.); загнивание костянок (*Pucciniastrum americanum* Arth).

Доминирующее положение в микобиоте ягоды малины занимали микромицеты из pp. *Alternaria* и *Fusarium*. Они малотребовательны к условиям окружающей среды, чрезвычайно пластичны, широко распространены в природе и причиняют значительный вред сельскохозяйственным культурам [1]. Грибы рода *Fusarium* выделяют микотоксины, р. *Alternaria* – канцерогенные вещества, те и другие вредоносны для человека и животных [2, 3]. По мнению иностранных ученых, токсины *Alternaria* сохраняются в процессе переработки зараженных плодов и обнаруживаются в яблочных соках [4]. При визуальном осмотре после влажной камеры на пораженных черной гнилью ягодах образовывались черные вмятины, покрытые мицелием темно-серое войлочное спороношение альтернариевых грибов, наблюдались сгнившие костянки. (рис. 1 А). При микроскопировании конидии *Alternaria alternata* образовывались в длинные ветвистые цепочки или одиночно. Форма которых обратнобулавовидная, обратногрушевидная, яйцевидная или эллиптическая. Признаки поражения *Fusarium lateritium* визуально чаще просматривались в виде нежно-пушистого белого, розового паутинистого мицелия. (рис. 1 Б). Идентифицировались макроконидии серповидной формы, бесцветные поодиночке, с тремя и более перегородками и микроконидии (одноклеточные).

Известно, что вредоносная болезнь малины – фитофторозная корневая гниль (возб. *Phytophthora fragariae* var. *Rubi*). Тем не менее наряду с другими заболеваниями наиболее опасными болезнями при хранении являлась и является фитофторозная кожистая гниль, возбудитель которой *Phytophthora*

cactorum. На ягодах отмечались твердые кожистые пятна коричнево-лиловых оттенков, мицелий белого цвета. Со временем пятна разрастались, мякоть уплотнялась, от плодоножки шло потемнение ткани. (рис. 1 В). Выявлялись шаровидные и эллиптические зооспорангии с заметным сосочком и небольшой ножкой, также отмечались шаровидные ооспоры

Большинство видов плесневых грибов (*Penicillium* *Aspergillus*) – исконно почвенные сапротрофы, меньшая доля – паразиты растений, поражающие ослабленные всходы и длительно хранящиеся плоды растений [5-7]. Характеризуется экологической пластичностью [8]. При сильном развитии грибов зерно может приобрести токсические свойства, за счет их продуктов жизнедеятельности микотоксинов и токсинов [9]. В результате проведенного микологического анализа также были выявлены представители плесневых грибов: pp.

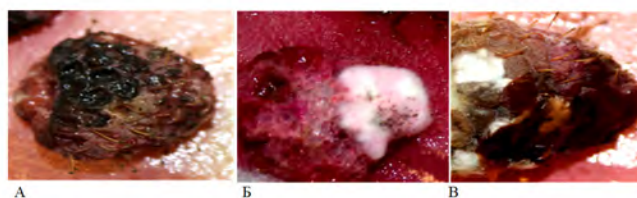


Рисунок 1 Плоды малины пораженные микрогрибами *Alternaria alternata* (А), *Fusarium lateritium* (Б) и *Phytophthora cactorum* (В).

Penicillium возбудителя зелено-голубой плесени и *Aspergillus* – зелено-желтой. Колонии грибов рода *Penicillium* низкие, бархатистые, серого, голубого или зеленого цвета края более светлые (рис. 2 Г). Грибница бесцветная с перегородками. Конидиеносцы разветвлялись кверху вертикально в виде кисточки. Конидии – шаровидные, эллиптические, яйцевидные, одноклеточные, бесцветные или слегка зеленоватые. Поверхность конидий и гладкая, и шероховатая. Аспергиллы широко распространены в природе. На ягоде патоген отмечался в виде колоний из плесневого налета различных цветов (бесцветного, бурющего, зелено-желтого), но чаще голубовато-зеленых оттенков (рис. 2 Д). Хорошо развивался во влажных средах при хранении ягод малины. Идентифицировались конидиеносцы с конидиальными головками, отходящие от специализированных увеличенных толстостенных гифальных клеток в виде веточек, примерно под прямым углом. Отмечались одноклеточные конидии, одна за другой в цепочках в виде шаровидной головки, окраска и поверхность разнообразная.

Заселение плодов серой гнилью (*Botrytis cinerea*) возможно из-за сочетания неблагоприятных погодных условий во время созревания с неудовлетворительной агротехникой. Серая гниль также является одной из опаснейших болезней ягод малины при хранении. При визуальном осмотре на них можно было увидеть отдельные размягченные бурые пятна. Пятна быстро разрастались и вызвали полное загнивание ягод,

которые покрывались пылящим серым бархатистым налетом с черными бугорками (склероции). Пораженные плоды становились водянистыми, или впоследствии мумифицировались, теряя свой вкус и аромат. У конидиеносцев оболочка довольно толстая, внизу буроватая, на вершине бесцветная. Наблюдались эллиптически округлые и яйцевидные конидии от бесцветных до серо-оливковых, в массе дымчатые. Склероции – первоначально серовато-белые, со временем чернели, поверхность бугорчатая (рис. 2 Е).

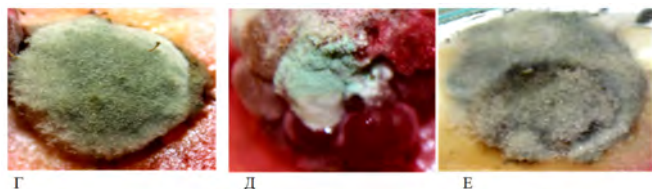


Рисунок 2 Плоды малины пораженные микрогрибами pp. *Penicillium* (Г), *Aspergillus* (Д) и *Botrytis cinerea* (Е).

Плесневый гриб-паразит *Rhizopus nigricans*, возбудитель серой головчатой плесени, мокрой гнили поражал ягоды и также являясь одной из опаснейших болезней ягод малины. При визуальном осмотре после влажной камеры встречались ягоды бурого, серого цвета. Они быстро покрывались обильным, вначале белым, затем чернеющим (за счет вызревших спор) войлочным, бархатистым, пушистым налетом. Удалив спороношение над вдавленным пятном, под ним обнаруживалось начинающееся гниение мякоти: ее консистенция делалась кашеобразной и местами водянистой, цвет – каштановый. Спорангиеносцы были коричневатые, ветвистые; спорангии с темной оболочкой, округлые, легко разрывались; споры неправильно-округлые, со складчатой оболочкой.

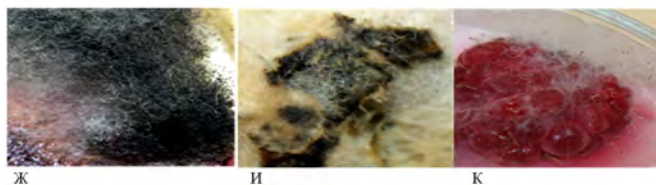
Возбудитель черной плесени гриба рода *Cladosporium* spp. Болезнь на ягоде проявлялась в виде бурого овального пятна. Кладоспориозные грибы образовывали темно-оливковые (массовое созревание конидий) и коричневые колонии с 1-2 клеточными, яйцевидными, цилиндрическими оливковыми и коричневыми конидиями. В начальной стадии мицелий и конидиеносцы светло-серые. По внешним симптомам кладоспориоз чем-то напоминает альтернариоз

Виды мукоровых грибов (*Mucor* spp.) вызывают плесень, которую называют серой плесенью или головчатой плесенью. Грибница светло-серая, нити мицелия утолщенные, быстро распространяющиеся во влажной камере. Споры шаровидные и угловатые развивались в спорангиях – черных телах, заметные простым глазом (рис. 3 Ж, И, К).

Рисунок 3 Плоды малины пораженные микрогрибами *Rhizopus nigricans* (Ж), *Cladosporium cladosporioides* (И) и видами *Mucor* sp. (К)

При визуальном осмотре пустулы на ягодах развивались на отдельных костяниках, производя желтые массы спор (*Pucciniastrum americanum*), возбудителя ржавчина. В результате микологического анализа были идентифицированы вытянутые телеитоспоры с толстой гладкой оболочкой на длинной ножке.

Таким образом, анализ данных, полученных в результате микологического исследования, показал, что микобиота ягод малины при хранении по вариантам



была различной. Особое место среди патогенов занимали грибы-токсинообразователи pp. *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, они доминировали. Что касается рода *Fusarium*, его представители практически во всех вариантах занимали лидирующее положение. Исключением служил вариант, в котором доминировал род *Phytophthora*. Самыми опасными заболеваниями после уборки ягод оставались кожистая гниль, серая гниль и серая головчатая плесень.

Список литературы

1. Полунина Т.С., Лавринова В.А. Семенная инфекция на сортах озимой пшеницы в ЦЧР. Экология, сбережение и адаптивная селекция: Мат. Зей Всерос. нуч.-практ. интернет конф. с межд. участием 20-22 марта 2019 года. Саратов, 2019. – С. 54-57.
2. Лавринова В.А., Полунина Т.С. Зависимость микробиоты почвы в насаждениях яблони от степени увлажнения и приемов агротехники. Садоводство и виноградарство. 2019; 4: 21-29.
3. Полунина Т. С., Лавринова В. А., Леонтьева М. П. Зависимость фитопатогенной микобиоты семян и корней озимой пшеницы от погодных факторов и фунгицидов. М: Научный Журнал «Chronos», 2019. – С. 14-17.
4. Delgado T., Gomez-Cordoves C. Natural occurrence of alternariol and alternariolmethylether in
5. Spanish apple juice concentrates, Journal of Chromatography A, 1998;815:93-97.
6. Houbraeken J., Wang L., Lee H. B., Frisvad J. C. New sections in *Penicillium* containing novel species producing patulin, pyripyropens or other bioactive compounds. Persoonia. – 2016. – Vol. 36 (1). – P. 299-314.
7. Pitt J. I., Hocking A. D. *Penicillium* and related genera. Fungi and Food Spoilage. – Third edition. – Springer, 2009. – P. 169-273.
8. Тахтаджян А.Л. (гл. ред.) и др. Мир растений. Том 2. Грибы. Москва.: Просвещение, 1991. – 475 с.
9. Красникова Л.В., Гунькова П.И. Общая и пищевая микробиология: Учеб. пособие. Часть I. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 134 с.
10. Гулятьева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Шипилова Н.П. и др. Болезни зерновых культур в северо-западном регионе в 2017 г.. Защита и карантин растений. 2018; 4: 19-21.

МИКРОМИЦЕТЫ РОДА *Pythium* НА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУРАХ

Лавринова В.А., Полунина Т.С.

Среднерусский филиал ФНЦ им. И.В.Мичурина, пос. Новая жизнь

Была проведена фитоэкспертиза семян озимой пшеницы и ячменя в рулонах фильтровальной бумаги и кроме основных часто встречающихся возбудителей болезней (*Fusarium* sp., *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Mucor* sp.) были выявлены представители рода *Pythium*, семейство оомицетов в порядке *Peronosporales*. Микологические исследования проводили в Среднерусском филиале «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

На начальной стадии прорастания корешков и проростков выделялись при просмотре под микроскопом МИКРОМЕД 3 U3 ооспоры и мицелий микромицетов *Pythium* sp., хотя видимых признаков поражения не отмечалось (рис. 1А). При просмотре рулонов через 10 дней под микроскопом OLIMPUS SZX10 с проростков идентифицировался хорошо разветвленный одноклеточный мицелий и на обработанном семенном материале, и на необработанном (рис. 1Б). На корешках зерновых культур во влажных условиях образовывалась обильная тягучеобразная белая (бесцветная), местами целлюлозо-слизистая грибница (рис. 1В).



Рисунок 1. Мицелий микромицетов р. *Pythium* на проростках и корешках.

При микроскопировании идентифицировался мицелий, на котором развивались верхушечные нитевидные зооспорангии в цепочках или одиночные шаровидной и бочкообразной формы. В зооспорангиях образовывались зооспоры, оогонии шаровидные, расположенные на концах гиф. Ооспоры с гладкой, сетчатой или щетинистой бесцветной, или коричневой оболочкой, шаровидные, одиночные (рис. 2).

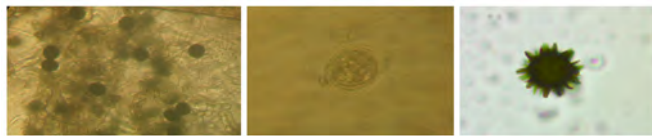


Рисунок 2. Габитусы микроструктур грибов р. *Pythium* с корешков и проростков.

Более того на сухих зерновках убранного урожая ячменя микрогриб в основном идентифицировался в области хохолка или чуть ниже; на зерновках пшеницы – и на хохолке, и в брюшной бороздке в виде прозрачного тягучеобразного мицелия (рис. 3).

В 2007-2009 гг. Горьковенко В.С. в статье «Распространение грибов рода *Pythium* Pringsh. в агроценозе пшеницы» указала, что полная неконкурентоспособность патогенов р. *Pythium* на более поздних стадиях развития растений пшеницы приводит к быстрой смене их в патогенном комплексе другими, более адаптированными ко всем фазам развития растений патогенами [1]. В наших исследованиях уже начиная с 2015 года до 2019 год с периодичностью встречались габитусы данного возбудителя на семенах и на протяжении всей вегетации на корнях растений, и уже с 2019 года микрогрибы р. *Pythium* стали постоянно отмечаться и на зерновках,

и на корешках, и на проростках после фитоэкспертизы семян. Помимо этого, они занимали и продолжают активизироваться на корневой системе (включая эпикотиль), стеблях, междоузлиях, листьях и колосьях. К тому же аналогичным образом встречались и представители возбудителей основных болезней зерновых в комплексе или каждый патоген самостоятельно.

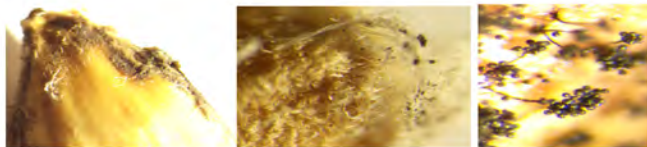


Рисунок 3. Микроформы структур грибов р. *Pythium* на хохолках зерновых культур.

Грибы р. *Pythium* в силу своих биологических особенностей поражают растения пшеницы на ранних этапах онтогенеза, заражение семенных зародышей в почве происходит в зонах давления и растяжения клеток корневого чехлика и являются «воротами» для проникновения в органы растения других возбудителей.

Характерный симптом поражения корней отмечался в образовании бурых, черных перетяжек, отсутствие корневых волосков, побурение и отмирание корней, начиная с их кончиков. На пораженной ткани на 8 день (влажная камера) проявлялась одноклеточная нежная, обильная бесцветная, в массе белая рыхлая грибница с оогониями, антеридиями и различными зооспорангиями. Также на пораженных корнях пшеницы отмечались светло-коричневые пятна и после просмотра под микроскопом были идентифицированы габитусы микроструктур питиевых микрогрибов (рис.4).

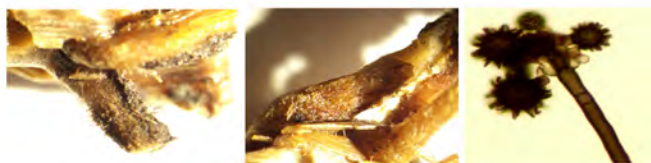


Рисунок 4. Признаки поражения корней озимой пшеницы грибами р. *Pythium*.

Более того по всему первому сухому междоузлию растений озимой пшеницы вначале отмечались светло-коричневые пятна в виде полосок с сетчатой структурой внутри. Затем пятна увеличивались в ширину в виде глазков, с неровной коричневой каймой, внутри которой отмечались светлые полосы. При микроскопировании мицелий питиевых грибов располагался внутри эпидермиса, идентифицировались микроформы грибов рода *Pythium* (рис.5).



Рисунок 5. Поражение нижнего междоузлия озимой пшеницы грибами р. *Pythium*.

На 10 день влажной камеры были выделены и идентифицированы микроформы патогена с эпикотилиа (рис.6). Аналогичным образом, питиевые микрогрибы выделялись с колосовых чешуй пшеницы и ячменя (рис.7). После уборки зерновых культур на листьях (влажная камера, 6 день) было идентифицировано споронхождение в виде тяжеобразного целлюлозосодержащего мицелия расположенного по гелиминтоспориозным микроформам. Отмечались ооспоры покрытые шипиками с проростковыми гифами (рис. 8).

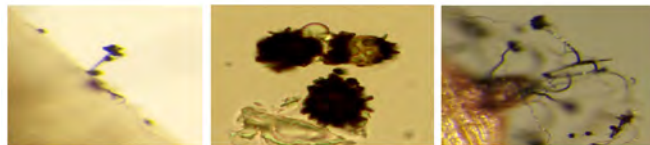


Рисунок 6. Габитусы микроструктур грибов р. *Pythium* на эпикотиле озимой пшеницы.



Рисунок 7. Микроформы микромицетов р. *Pythium*.

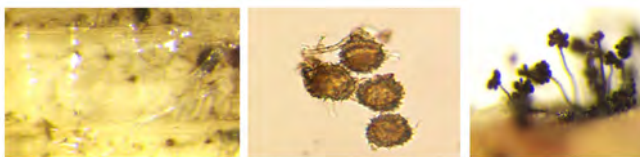


Рисунок 8. Габитусы микроформ грибов полупаразитов р. *Pythium* на листьях озимой пшеницы.

Список литературы

1. Горьковенко В. С. Распространение грибов рода *Pythium* Pringsh. В агроценозе пшеницы. Защита и карантин растений. 2011; 4.

ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА СЕМЯН СОРГО КАК ЗАЛОГ БУДУЩЕГО ЗДОРОВОГО УРОЖАЯ

Кинчарова М.Н., Матвиенко Е.В.

Поволжский НИИСС – филиал Самарского научного центра РАН, Кинель

Под влиянием неблагоприятных факторов в процессе формирования, уборки, послеуборочной обработки и хранения у семян сорго снижаются посевные качества – лабораторная и полевая всхожесть, энергия прорастания и сила начального роста, что, по мнению ряда исследователей, приводит к снижению урожайности [1, 2].

Фитоэкспертиза семян как обязательный прием при оценке посевного материала дает возможность правильно оценить его состояние, подобрать оптимальный фунгицид для протравливания семян и тем самым получить относительно здоровый фитоценоз, который позволит повысить урожайность посева и его качественные характеристики. Правильная диагностика и знание причин возникновения болезни, особенности развития того или иного патогена на сортовом уровне будут являться фундаментом для успешного проведения защитных и профилактических мероприятий в сортовых технологиях. Итоги фитоэкспертизы, позволяют сделать заключение о возможности или не возможности использования партии для семенных целей и о необходимости проведения их предпосевной обработки [3]. Результативность защитных мер от вредных организмов во многом определяется численностью вредных объектов и своевременностью использования пестицидов против них [4].

В связи с этим целью данной работы было оценить посевной материал на наличие грибной патогенной микрофлоры и дать рекомендации по совершенствованию методов фитопатологической экспертизы по культуре сорго. Оценка посевного материала проводилась на базе лаборатории инновационных технологий в селекции, семеноводстве и семеноведении Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН. Для лабораторных опытов было взято зерновое сорго селекции Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН.

Фитопатологическую экспертизу семян сорго зернового выполняли по ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями» микроскопическим и биологическим методами. Семена проращивали во влажной камере с естественной вентиляцией на гофриро-

ванной фильтровальной бумаге. Всхожесть и энергию прорастания определяли по ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Идентификацию патогенов, вызывающих болезни, определяли в условиях лаборатории с использованием общепринятых методик с предварительным содержанием материала во влажной камере в течение 8 дней при 24 ± 2 °С при чередующихся циклах: 14 часов – дневной свет, 10 часов – темнота. Определение видового состава грибов было проведено методом световой микроскопии при прямом просмотре колоний и по споронхошению с использованием стереомикроскопа и микроскопа отраженного света при увеличении $\times 40$. Предпосевная обработка семян проводилась непосредственно перед началом исследования в лабораторных условиях.

Варианты предпосевной обработки семян: 1. Контроль (без обработки семян); 2. Селест Макс, СК – 1,5 л/т (высокоэффективный инсектофунгицидный протравитель контактно-системного действия. Действующее вещество: 15 г/л Тебуконазола + 125 г/л Тиаметоксам + 25 г/л Флудиоксонил); 3. ТМТД, ВСК – 4 л/т (контактный фунгицидный протравитель семян. Действующее вещество: 400 г/л тирама); 4. Максим, КС – 1,5 л/т (контактный фунгицидный протравитель. Действующее вещество: 25 г/л флудиоксонил); 5. Доспех, КС – 0,4 л/т (высокоэффективный системный фунгицид. Действующее вещество: 60 г/л тебуконазола); 6. Витарос, ВСК – 2,5 л/т (фунгицид контактно-системного действия. Действующее вещество: 98 г/л тирама + 198 г/л карбоксина).

Микологический анализ показал, что в видовой структуре микрофлоры преимущественно идентифицировались 11 родовых таксонов: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Botrytis*, *Nigrospora*, *Cercospora*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Trichothecium*, *Rhizopus*. На семенном материале зернового сорго, в варианте без обработки семян протравителями выявлена высокая степень заражения грибами, вызывающими плесневение семян, такими как *Cladosporium sp.*, *Trichothecium roseum*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.* (в среднем на 70,6 % от

всех проверенных семян), патогенные грибы из рода *Alternaria* были выявлены на поверхности 17,8 % семян сорго. Кроме того, на 3,2 % от всех исследованных семян отмечались грибы рода *Fusarium sp.*, на 3,4 % – грибы вида *Cercospora sorghi* (табл. 1).

Таблица 1. Влияние предпосевной обработки семян сорго зернового фунгицидами на зараженность их патогенами (среднее за 2019-2020 гг.), %.

Показатель	Вариант обработки семян сорта					
	Контроль	Селест Макс	ТМТД	Максим	Доспех	Витарос
Здоровых семян	2,6	76,0	87,0	75,8	78,8	88,8
Семян, зараженных патогенами, всего:	97,4	24,0	13,0	24,2	21,2	11,2
<i>Alternaria sp.</i>	17,8	0,8	1,0	1,6	0	1,4
<i>Fusarium sp.</i>	3,2	1,0	1,6	4,0	2,2	2,6
<i>Botrytis cinerea</i>	1,6	0,8	0,2	1,8	1,2	0
<i>Nigrospora sp.</i>	0,4	0	0	0	0	0
<i>Cercospora sorghi</i>	3,4	0,5	0	0,6	0,6	0
Др. плесневые грибы (<i>Mucor</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Trichothecium</i> , <i>Cladosporium</i>)	70,6	17,4	8,6	11,8	15,2	4,0
С колониями бактерий	0,4	3,5	1,6	4,4	3,2	3,0

Обработка семенного материала сорго зернового протравителями ТМТД, «Витарос», «Доспех», «Максим» и «Селест Макс» эффективно снижает зараженность семян и проростков фитопатогенными грибами родов и

видов: *Cladosporium sp.*, *Trichothecium roseum*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.*, а также из рода *Alternaria sp.* и *Fusarium sp.*, *Nigrospora sp.*, *Cercospora sorghi* (эффективность составляла от 75,8 до 88,8 %).

Испытываемые протравители можно рекомендовать к использованию для обработки посевного материала от семенной инфекции и на более чувствительной культуре – зерновом сорго. Это дает возможность исключить фунгицидную обработку в течение вегетации сорго зернового и в итоге уменьшить затраты на полевую обработку, снизить пестицидную нагрузку на окружающую среду и получить экологически безопасную и более чистую продукцию. Также следует для производства дать рекомендации, что своевременная фитоэкспертиза семян сорго не посредственно перед посевом и после уборке культуры и позволяют целенаправленно подобрать протравители, что способствует успешной защите посевного материала от поражения и хранить семена без потерь посевных качеств.

Список литературы

1. Землянов А. Н., Землянов В. А. Технологический комплекс и его влияние на фитосанитарное состояние посевов сорго. Научный журнал КубГАУ. 2012. № 83 (09). С. 396–408.
2. Ашмарина Л.Ф., Шевцова М.С. Защита суданской травы от болезней в условиях лесостепной зоны Республики Хакасия. Достижения науки и техники АПК. 2013. №9. С. 47-49.
3. Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Влияние окраски семян сорго зернового на заселение их патогенной микрофлорой. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 108–113. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-108-113.
4. Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Эффективность предпосевной обработки семян в борьбе с болезнями зернового сорго. Аграрный вестник Урала. 2021. № 09 (212). С. 2–10. DOI: 10.32417/1997- 4868-2021-212-09-2-10

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ И ХВОЙНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПРОЦЕССЕ СУКЦЕССИОННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

Некляев С.Э.^{1,2}, Ларина Г.Е.¹, Серая Л.Г.¹

¹Всероссийский НИИ фитопатологии, Большие Вяземы

²Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства», Пушкино

Введение. При сукцессионных изменениях на древесине нелинейно происходит поселение биотрофов, ксилотрофов, сапроксилотрофов, сапроксилотрофов-гумификаторов. Существенный вклад (99%) в разрушение древесины принадлежит ксилотрофным и сапроксилотрофным базидиальным макромицетам [1]. Характер межвидового взаимодействия грибов во многом определяет, как скорость прохождения ксилолиза, так и видовое биоразнообразие, участвующих в нем организмов [2]. Влияние множества факторов изменяет зависимости от стадии сукцессии и условий окружающей среды (состояние деревьев-хозяев, климатические условия, состав почвы, конкуренция за ресурсы и др.). Данные по этому вопросу разрознены и противоречивы. Цель работы – изучение особенностей взаимоотношений дереворазрушающих грибов при конкуренции за субстрат представляет большое значение для создания природоподобных технологий детритного цикла.

Методы и объекты. В период 2019-2024 гг. было проведено исследование 416 модельных деревьев ели и сосны в лесопарковых насаждениях и зеленых зонах населенных пунктов на территории г. Москвы, Московской, Рязанской и Тверской области. Были проведены полевые измерения влажности древесины (ГОСТ

18610-82) и уровень инсоляции поверхности ствола. Одновременно провели отбор образцов древесины для изучения стадий ксилолиза, идентификации типа разложения древесины, особенностей развития мицелия и объема гнили на погонный метр. Определение видовой принадлежности дереворазрушающих грибов (ДРГ) проведено по морфологическому строению с использованием специализированных определителей и микроскопирования [3-6].

Результаты. Анализ хода поселения ДРГ на субстрате выявил, что между родами различных эколого-трофических групп ксилотрофных базидиомицетов существует зависимость последовательности их поселения на древесине. Ксилотрофы рода *Fomitopsis*, *Trichaptum* поселялись на ели после освоения ствола биотрофами рода *Heterobasidion*, *Stereum*, *Phaleolus* ($r = 0,72-0,86$, $P \leq 0,05$). Поселение представителей рода *Rhodofomes* следовало за поселением на субстрате ксилотрофа рода *Fomitopsis* ($r = 0,7$, $P \leq 0,05$), а сапроксилотрофы рода *Coniophora*, *Neoantrodia*, *Pycnoporellus*, *Skeletocutis*, *Antrodia*, *Fuscopostia* осваивали субстрат после поселения на нем ксилотрофов рода *Rhodofomes*, *Trichaptum*, *Gloeophyllum* ($r = 0,6-0,83$, $P \leq 0,05$). На сосне ксилотрофы представлены большим разнообразием. Предста-

вители рода *Trichaptum* создали условия для успешного развития грибов рода *Fomitopsis* ($r=0,76, P\leq 0,05$) и рода *Neoantrodia* ($r=0,74, P\leq 0,05$), *Coniophora* ($r=0,72, P\leq 0,05$), *Antrodia* ($r=0,7, P\leq 0,05$). Определено, что поселение представителей рода *Gloeophyllum* создало условия для развития грибов рода *Fuscopostia* ($r=0,7-0,8, P\leq 0,05$), *Antrodia* ($r=0,72-0,87, P\leq 0,05$), *Rigidoporus* ($r=0,97, P\leq 0,05$), *Antrodia xantha* ($r=, P\leq 0,05$), *Incrustoporia biguttulata* ($r=0,77, P\leq 0,05$), *Rigidoporus* ($r=0,91, P>0,05$). Рост мицелия *Fomitopsis pinicola* создавал благоприятные условия для последующего развития на субстрате представителей рода *Neoantrodia* ($r=0,95, P\leq 0,05$) и *Coniophora* ($r=0,94, P>0,05$).

Сравнительный анализ развития мицелия в поперечном сечении ствола показал, что ксилотрофы как на ели, так и на сосне, предпочитали осваивать верхнюю половину лежащего ствола, в то время как, сапроксило-трофы занимали нижнюю и боковые части стволов. Измерение уровня инсоляции модельных деревьев ели показало, что ксилотрофы активно развивались в диапазоне освещения от 2691 до 5129 люкс, в отличие от сапроксило-трофов, для которых оптимален диапазон от 1078 до 1904 люкс. На модельных деревьях сосны ДРГ развивались в иных диапазонах освещения, что видимо объясняется иными механизмами приспособления в освоение субстрата. Так ксилотрофы рода *Trichaptum* развивались в диапазоне от 2425 до 4234 люкс, а типичные сапроксило-трофы рода *Neoantrodia* и *Coniophora* в более широких пределах – от 738 до 3423 люкс, что значительно превосходило условия их роста на ели, по-видимому, по причине особенностей приспособления к стрессам, например, погодные условия.

В ходе исследования было установлено, что грибы для занятия субстрата в ходе ксилолиза выработали три типа стратегии колонизации. Этот подход позволяет им занимать и удерживать субстрат до полного потребления доступных питательных веществ с учетом биологии вида (Таблица 1).

Данные сравнительного анализа периодов активности плодоношения на ели продемонстрировали образование базидиом биотрофами и ксилотрофами, новые слои гименофора на многолетних телах формировались не далее III стадии ксилолиза. Сапроксило-трофы начи-

нали образовывать базидиомы не раньше II стадии и завершали к IV стадии. При изучении данного процесса на сосне определены заметные различия. Подавляющее количество видов биотрофов плодоносило не далее II стадии. Ксилотрофы уже на III стадии снижали интенсивность плодоношения, в то время как сапроксило-трофы плодоносили на II-IV стадии ксилолиза. На V-VI стадиях на древесине обоих породах начинали активно плодоносить сапроксило-трофы-гумификаторы.

Закключение. По данным зависимостей на основе многолетних экспериментальных данных можно сделать вывод об активном росте ксилотрофных базидио-мицетов в процессе ксилолиза хвойных пород с разным строением древесины, который изменялся во времени или под воздействием лесохозяйственных мероприя-тий. Эволюционное развитие видов ДРГ определило их стратегию взаимоотношений с другими микро- и мак-ромицетами.

Работа выполнена в рамках государственного за-дания Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FGGU-2025-0007).

Список литературы

1. Stokland J.N., Siitonen J., Jonsson B.G. Biodiversity in dead wood. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 509 p.
2. Стороженко В.Г. Эволюционные принципы поведения дереворазрушающих грибов в лесных биогеоценозах. Тула: Гриф и К, 2014; 184 с.
3. Ниемеля Т. Трутовые грибы Финляндии и прилегающей территории России. Norrlinia 8, 2001, 120 с.
4. Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Котко-ва В.М., Бондарцева М.А. Атлас-определитель дереворазруша-ющих грибов Русской равнины. М.: Товарищество научных изда-ний КМК, 2014; 198 с.
5. Zabel R.A., Morrell J.J., Robinson S. Wood Microbiology. Decay and Its Prevention. London: ELSEVIER Academical Press, 2020; 556 P.
6. Переведенцева Л.Г. Определитель грибов (агарикоид-ные базидиомицеты). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015; 119 с.

Таблица 1. Характеристики, определяющие жизненные стратегии видов.

Характеристики	Активные антагонисты	Пассивные антагонисты	Обратный антагонизм
Особенности	быстрый рост; захват первичных ресурсов	устойчивость к специфическим стрессам	способность игнорировать жизнедеятельность конкурентов
Темпы роста	быстрое прорастание и рост спор	иногда медленно	не особенно медленно
Ферментативная способность	относительно узкая способность	широкие возможности	широкие возможности
Утилизируемые субстраты	субстрат с незначительно биомодифициро-ванным составом	субстрат с биомодифицирован-ном составом	субстрат с биомодифициро-ванным составом
Сроки образования базидиом	на ранних стадиях жизненного цикла	на более поздних стадиях жизненного цикла, иногда спорадические	на более поздних стадиях жизненного цикла, иногда спорадические
Устойчивость к конкуренции	низкий; легко заменяется	стойкий, при этом замедляется специфический стрессом	зависит от способности захватывать и защищать территорию

МЕТАГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ ПАТОГЕНОВ ЗЕМЛЯНИКИ

Никитинский Д.А.¹, Никитинская Е.В.¹, Очирова Э.М.², Игнатов А.Н.²
¹ Всероссийский центр карантина растений» (ВНИИКР), Быково
² Российский университет дружбы народов» (РУДН), Москва

Земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier), сем. Шиповниковые (лат. Rosaceae), является наиболее распространенной ягодной культурой. По данным FAOSTAT (2020) в мире производят почти 9 млн. т. плодов земляники, что составляет 70% общего урожая ягодных культур. В настоящее время особую актуальность приобретает выведение новых сортов, устойчивых к болезням, и разработка технологий производства, обеспечивающих реализацию генетического потенциала сортов. Цель настоящего исследования заключалась в оценке потенциала метагеномного анализа для изучения комплекса возбудителей грибных (Index Fungorum, 2022, Котова, Кунгурцева 2014, Холод, 2010) и бактериальных болезней (Холод, 2010) земляники в условиях Московской области. Для анализа были использованы образцы растений, предоставленные сельскохозяйственными предприятиями в рамках рутинного фитосанитарного мониторинга в 2024 г. Образцы растений с разной степенью поражения неидентифицированными болезнями были сгруппированы в соответствии со степенью поражения, проанализированы в соответствии с лабораторным регламентом NGS (Next Generation Sequencing) на платформе Illumina MiSeq. Технология двухстадийной полимеразной цепной реакции (ПЦР) с амплификацией гипервариабельных участков генов 18S рРНК для грибов и 16S рРНК для бактерий применяли для создания и баркодирования библиотек. Было получено до 15 тыс. парных последовательностей в первичных данных. Обработка первичных данных секвенирования проведена алгоритмом QIIME 1.9.1, включающим объединение прямых и обратных прочтений и выравнивание прочтений на референсную последовательность генов рРНК. Распределение последовательностей по таксономическим единицам проводили с использованием базы данных Silva вер.132. Был использован алгоритм классификации операционных таксономических единиц (ОТЕ) с порогом классификации 97%. В результате анализа было выявлено до 1550 отдельных таксономических единиц (ОТЕ). Количество ОТЕ для образцов с сильным развитием симптомов болезней было существенно ниже (различия достоверны на 95% уровне вероятности), чем для образцов, отнесенной к группе здоровых. В группе больных растений на первом месте по частоте встречаемости прочтений 18S рРНК были представители семейства Glomerellaceae, возбудителей антракноза (Таблица 1) – до 68% последовательностей. На втором месте (до 37% прочтений) – возбудитель пятнистости листьев *Gnomoniopsis fructicola* (G. Arnaud) Sogonov. В числе минорных компонентов популяции фитопатогенов (от 0,05 до 2,6%) были обнаружены возбудитель корончатой гнили *Coniella fragariae* (Templeton et al., 1996), возбудители листовой пятнистости *Alternaria alternata*, *Alternaria metachromatica*, *Calophoma rosae*, возбудитель септориоза *Parastagonospora avenae*, и серой гнили *Botrytis cinerea*.

Всего на землянике садовой описаны 23 вида грибов, вызывающих антракноз (Ji, et al. 2022), поэтому, присутствие ОТЕ, не идентифицированных до уровня вида, скорее ожидаемо, и требует отдельного

исследования. Новое для РФ заболевание, вызываемое *Gnomoniopsis fructicola* (EPPO Code: GNOMFR), распространено в США, Канаде, западной Европе и Прибалтике, потенциально опасным является и выделение нового для РФ вида *Calophoma rosae* (EPPO Code: CPHORO) (Grantina-Ievina, 2015). Выявление *Alternaria alternata*, *Alternaria metachromatica*, и *Parastagonospora avenae*, хотя и описано на землянике ранее, скорее всего связано с заражением сопутствующих растений. Фитопатогенные бактерии были выявлены только в виде минорного элемента патокомплекса земляники (от 0,1 до 1,24% фрагментов ДНК), в частности встречались потенциально-патогенные представители родов *Curtobacterium*, *Pseudomonas*, *Pantoe*, *Acidovorax*, *Rhizobium*, *Rathayibacter* и *Erwinia*. Бактериальное поражение было незначительным, потенциальную опасность представляет латентная бактериальная инфекция, сохраняющаяся в течении длительного времени и развивающаяся в условиях более теплого и влажного климата. Большее количество последовательностей ДНК, принадлежащих видам, считающимся патогенными для земляники садовой, еще не может быть принято в качестве доказательства поражения растений этими возбудителями в полевых условиях. Но получение подобных результатов указывает на необходимость проведения целенаправленного тестирования с применением как молекулярно-генетических, так и традиционных микологических и микробиологических исследований патокомплекса растений. В некоторых случаях, использованные базы данных ДНК (NCBI и Kraken) располагают информацией только о таксономическом положении штамма, без его характеристики по агрессивности и вирулентности к определенным видам растений. Несмотря на указанные выше ограничения, полученные данные позволяют нам сделать вывод о том, что метод NGS полезен для выявления новых патогенов сельскохозяйственных растений.

Таблица 1. Частота обнаружения фрагментов ДНК (прочтений NGS) фитопатогенных грибов среди пораженных болезнями образцов садовой земляники в Московской области в 2024 г.

№	Доля прочтений ДНК, %	Таксон	Болезнь
1	0,40 – 68,40	<i>Glomerellaceae</i>	Антракноз
2	0,33 – 37,44	<i>Gnomoniopsis fructicola</i>	пятнистость листьев
3	2,40 – 2,60	<i>Coniella fragariae</i>	Корончатая гниль
4	0,31 – 1,30	<i>Alternaria alternata</i>	Пятнистость листьев
5	0,10 – 0,27	<i>Alternaria metachromatica</i>	Пятнистость листьев
6	0,05 – 0,27	<i>Calophoma rosae</i>	Пятнистость листьев.
7	0,50 – 0,26	<i>Parastagonospora avenae</i>	Септориоз листьев
8	0,10 – 0,26	<i>Botrytis cinerea</i>	Серая гниль

Список литературы

1. FAOSTAT (2020). <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
2. Index Fungorum. CABI Bioscience, 2025. <http://www.indexfungorum.org/>

3. Холод Н.А. Современная структура патогеноза земляники и пути ее оптимизации. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2010. № 3. С. 15–23.
4. Котова В.В., Кунгурцева О.В. Антракноз сельскохозяйственных растений. СПб.: ВИЗР, 2014. 132 с. (Приложение к журналу “Вестник защиты растений”, № 11)
5. Ji, Y., Li, X., Gao, QH. *Colletotrichums* species pathogenic to strawberry: discovery history, global diversity, prevalence in China, and the host range of top two species. *Phytopathol Res* 4, 42 (2022). DOI: 10.1186/s42483-022-00147-9

6. Grantina-Ievina, L. Fungi Causing Storage Rot of Apple Fruit in Integrated Pest Management System and their Sensitivity to Fungicides. *Rural Sustainability Research*. 2015. 34 (329): 2–11. doi:10.1515/plua-2015-0007
7. Templeton M.D., Erik H.A., Rikkerink Sarah L. Cloning and molecular characterization of the glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase-encoding gene and cDNA from the plant pathogenic fungus *Glomerella cingulata*. *Gene*. 1992. V. 122 (1). P. 225–230. DOI: 10.1016/0378-1119(92)90055-T

К ВОПРОСУ О ПРОРАСТАНИИ СКЛЕРОЦИЕВ *CLAVICEPS PURPUREA* (FR.) TUL. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗИМНЕГО ПОКОЯ

Ориненко К.Ю.¹, Смирнов А.Н.²

¹Московский педагогический государственный университет

²РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Claviceps purpurea – опасный фитопатогенный гриб из класса Sordariomycetes, поражающий культурные и дикорастущие злаки. Зерно, засоренное склероциями спорыньи, не может быть использовано для пищевых и кормовых целей. Отравления спорыньей, называемые эрготизмом, у человека, скота и птицы сопровождаются гангреной дистальных частей тела, изменением поведения, потерей привесов у молодых животных, агалактией и абортами у беременных, конвульсиями и нервными расстройствами, потерей способности передвигаться и даже стоять, хромотой, зудом, ознобом, позывами к рвоте, нарушениями сердечной и дыхательной деятельностью и смертью [1]. Ситуация осложняется еще и тем, что на склероциях спорыньи и на ее анаморфной стадии “медвяной росы” могут паразитировать виды рода *Fusarium*, также производящие опасные микотоксины. Наиболее чувствительны к алкалоидам спорыньи крупный рогатый скот, менее – лошади и овцы [2].

Несмотря на очень широкое распространение, наиболее вредоносен гриб в условиях Прибалтики, Белоруссии, в Северо-Западных районах, в центральных регионах Нечерноземной полосы и Кировской области Европейской части России [3].

Агентом первичной инфекции *Claviceps purpurea* весной служат аскоспоры, созревающие в головчатых стромах, которыми при стечении благоприятных условий прорастает склероций. Чтобы склероций прорасти, он должен определенное время пробыть в состоянии физиологического покоя, спячке. Количество произведенных аскоспор весной (и, соответственно, инфекционная нагрузка на злаки) зависит от условий прорастания и условий физиологического покоя склероциев. Всестороннее изучение условий покоя и прорастания склероциев у *C. purpurea* позволяет получать точный фитосанитарный прогноз при мониторинге развития фитопатогенов.

Несмотря на свою высокую значимость, *Claviceps purpurea* изучается в основном в перечисленных районах, в местах, где он больше всего вредит, в то время, как сведения о нем из южных регионов России и особенно с дикорастущих злаков (которые являются важными резервуарами и источниками первичной инфекции весной) крайне скудны. Сведения о биологии возбудителя спорыньи ржи и пшеницы из южных регионов России (с Кавказа) важны еще и постольку, поскольку Кавказ и Закавказье прямо примыкают

к предполагаемому центру происхождения ржи и пшеницы, территории Передней Азии.

Склероции гриба для исследования были собраны 3 августа 2024 года с высохших мелкозерновковых дикорастущих злаков в окрестностях высокогорного (1800 м над уровнем моря) села Матлас (Хунзахский район, р. Дагестан) в количестве по меньшей мере 280 шт. Склероции были большей частью мелкие или средние: от 3 мм до 2 см. Длина среднего склероция: ~1 см. Склероции раскладывали по чашкам Петри на ватные диски. Увлажнение производилось пульверизатором.

Проводилось 2 линии экспериментов: по степени “суровости” условий физиологического “зимнего” покоя (А) и по степени влажности при “весеннем” прорастании склероциев (Б).

В каждой из линий было по 2 группы по 70 склероциев каждая (усреднены по размеру).

В первой линии экспериментов (А): 1 группа – “суровые” условия покоя (А1); 2 группа – “мягкие” условия покоя (А2). Склероции “суровой” группы пробыли в покое 125 дней, из которых 20 дней при -16°C, все остальное время при +4°C. Склероции “мягкой” группы пробыли в покое 110 дней, все время при +4°C. Выводились из периода покоя склероции обеих групп в течение 15 дней при температуре +15°C. После этого все склероции помещались в комнатную температуру на проращивание.

Во второй линии экспериментов (Б): 1 группа – “влажное” прорастание (Б1); 2 группа – относительно “сухое” прорастание (Б2). Склероции обеих групп пробыли в состоянии покоя 90 дней при +4°C. После они 20 дней выводились из периода покоя при +15°C, а после это прорастали и наблюдались при комнатной температуре. “Влажная” группа регулярно увлажнялась (влажность: 90%), “сухая” группа увлажнялась менее обильно и только после подсыхания. Было произведено 7 наблюдений за ходом прорастания склероциев: 05.01.2025; 10.01; 16.01; 23.01; 01.02; 15.02; и 07.03.2025.

В результате экспериментов были сделаны следующие наблюдения:

Первая линия экспериментов:

Группа А1, “суровый” покой: проросло за весь эксперимент 6 склероциев (около 8% от всей группы). Все они были обнаружены на 20 день после вывода из покоя (4°C): после 15 дней +15°C и еще 5 дней при +25°C. При этом из 6 склероциев нормальную головчатую



Рисунок 1. Часть непроросших склероциев.

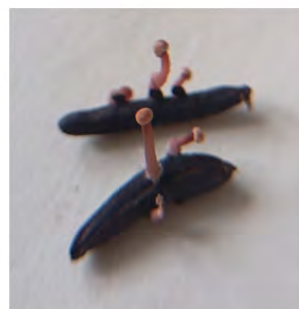


Рисунок 2. Склероции с молодыми головчатыми строматами.



Рисунок 3. Склероции с развитыми головчатыми строматами.



Рисунок 4. Дегенерирующие стромы.

строму развили только трое, у остальных стромы только “наклеивались”. Еще через 7 дней было обнаружено, что один склероций погиб, трое остановились в росте, и только двое продолжили активно расти и удлинять ножку стромы. Через 10 дней обнаружено, что два склероция продолжили рост. Через 15 дней все склероции остановились в росте, но оставались живы. Через 20 дней все склероции были мертвыми.

Группа А2, “мягкий” покой: проросло 14 склероциев (почти 20% от всей группы). 13 из них были обнаружены на 30 день вывода из состояния “зимнего” покоя (4°C): после 15 дней при +15°C и еще 15 дней при +25°C. На момент обнаружения стромы на трех склероциях только проклюнулись, а на 10 уже сформировали развитую ножку. При этом 2 из этих 10 уже были мертвыми. Через 5 дней проклюнулись стромы еще на одном. Другие продолжили рост. Еще через 5 дней из 14 склероциев 4 умерло, 1 остановился в росте, остальные продолжили расти. Через 7 дней роста стром склероциев не было отмечено, но все склероции оставались живы. Через 10 дней живым оставался только 1 склероций (роста нет), стромы на остальных погибли. Еще через 15 дней живых склероциев не было. При этом считается, что в естественных условиях телеоморфа, половая стадия спорыньи образуется крайне редко [4].

Вторая линия экспериментов:

Группа Б1, влажное прорастание: проросло (на 50 день после вывода из покоя, из которых 20 дней при +15°C, а 30 дней при +25°C) 5 склероциев (7% от всей группы), из которых 1 уже погиб, а 4 погибали. Все успели развить полноценные стромы. Еще через 5 дней все были мертвыми.

Группа Б2, сухое прорастание: проросло (на 50 день после вывода из покоя, из которых 20 дней при +15°C, а 30 дней при +25°C) 2 склероция (около 3%), оба из которых были на момент просмотра уже мертвы. Оба успели сформировать развитые стромы и аскоспоры.

Проведенное исследование позволяет отметить следующие закономерности и особенности прорастания

склероциев *Claviceps purpurea*, собранных в высокогорьях республики Дагестан:

Гриб *Claviceps purpurea* имеет большой запас первичной инфекции даже в высоких (1800 метров) горах Дагестана.

Склероции прорастали уже через 35 дней (чуть более месяца!) после температуры -16°C;

Для прорастания строматами склероциям во время физиологического покоя НЕ требовались минусовые температуры;

Склероции активнее прорастали в условиях мягкой и влажной зимы (20% и 7% проросших склероциев) относительно суровых и сухих условий (8% и 3%). Склероции способны переживать по меньшей мере 90 дней при +4°C, более трех месяцев!;

Даже в относительно сухих условиях склероции (пользуясь короткими периодами влажности) успевали сформировывать головчатые стромы;

Проросшие стромы патогена могут сохранять жизнеспособность на протяжении по меньшей мере 37 суток.

Необходимо дальнейшее изучение биологии *Claviceps purpurea* в условиях южных регионов России, его распространения в горах, степень вирулентности его аскоспор, более точной приуроченности к конкретным видам злаков, зависимость степени прорастания склероциев от погодных условий.

Список литературы

1. Попов В.С., Самбулов Н.В., Воробьева Н.В. Проблемы микотоксикозов в современных условиях и принципы профилактических решений: монография. – Курск : Планета+, 2018 – 158 с. : ил., табл.
2. Труфанов О., Лохов В., Родригес И. Алкалоиды спорыньи: современное состояние проблемы и методы профилактики отравлений: . Эксклюзивные технологии. – 2009. – №6. – С. 50-55.
3. Щеклеина Л.М. Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области . Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. 20(2):134-143
4. Коваль Э.З. Клавипитательные грибы СССР. — К.: НД, 1984. — 287 с. ил.; 22,;

ХРАНЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ШТАММОВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ГЕРБАРНЫХ ОБРАЗЦАХ РАСТЕНИЙ-ХОЗЯЕВ

Пахолкова Е.В., Сальникова Н.Н.

Всероссийский НИИ фитопатологии (ВНИИФ), Большие Вяземы

Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов во Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии (ВНИИФ) содержит в своем составе штаммы наиболее вредоносных и широко распространенных возбудителей септориоза зерновых культур. Септориоз остается опасной и экономически значимой болезнью, занимающей в настоящее время доминирующее положение в патогенном комплексе на посевах пшеницы в большинстве зернопроизводящих регионов Российской Федерации. В эпифитотийные годы потери урожая от него могут достигать 40% [1].

На сегодняшний день в коллекции хранится 116 штаммов *Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous и 257 штаммов *Zymoseptotia tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous, выделенных с пшеницы и ячменя. Географическое происхождение штаммов охватывает 9 регионов России (Центральный, Центрально-Черноземный, Северокавказский, Северо-Западный, Поволжский, Волго-Вятский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский и Дальневосточный). Есть также штаммы, выделенные из Украины, Беларуси, Молдовы, Казахстана и республик Прибалтики. Основная цель формирования и поддержания коллекции состоит в обеспечении селекционных центров и сортоиспытательных станций, расположенных в разных агроклиматических зонах, необходимым количеством биоматериала для создания искусственного инфекционного фона при испытании сортов на устойчивость к септориозу. Помимо иммунологических исследований, штаммы возбудителей септориоза используются для оценки эффективности фунгицидов против этого заболевания, а также могут служить потенциальным источником генетического разнообразия патотипов в фундаментальных научных работах при решении задач популяционной генетики, таксономии, систематики, идентификации и т.д.

Одной из главных задач коллекции является сохранение основных важных свойств штаммов. Известно, что при частых пересевах грибы способны терять свои культурально-морфологические признаки, а также могут утратить такое важное свойство, как патогенность. С целью сохранения или восстановления исходных свойств рекомендуется периодически проводить пассаж штаммов через растение-хозяина [2]. Эту работу выполняют в контролируемых условиях теплицы либо в камерах искусственного климата на растениях, выращенных в вазонах. Одновременно зараженные образцы растений служат способом длительного хранения гриба. Для этого листья с хорошими четкими симптомами (для *Z. tritici* обязательно наличие пикнид) гербаризируют, помещают в бумажные пакеты и хранят в холодильнике при температуре +4–8°C. При необходимости реинокуляции штаммов в чистую культуру в случае *P. nodorum* фрагменты пораженной ткани растений после поверхностной стерилизации помещают на питательную среду (КГА) в чашки Петри. Через 2-3 дня после образования небольшого белого мицелиального пушка чашки переносят в камеру с ультрафиолетовым освещением, которое способствует спорообразованию гриба. Для этой цели хорошо подходят эритемные лампы ЛЭ-30 с длиной волны 300-320 нм. Культуры инкубируют в

таких условиях в течение примерно 10 дней до формирования характерных колоний гриба. В случае *Z. tritici* фрагменты пораженной ткани с пикнидами помещают в каплю стерильной воды на 5-10 минут. После выхода спор каплю с помощью проволочной петли переносят на питательную среду (КГА) в чашки Петри, размазывая по поверхности агара зигзагообразным движением. Через 5-7 суток происходит образование дрожжеподобных колоний, поскольку данный вид гриба является диморфным организмом и при культивировании начинает рост в дрожжеподобной форме.

Заражение растений-хозяев с целью получения гербарного материала можно осуществлять разными способами. Первый способ – опрыскивание растений в фазу 2-х листьев споровой суспензией гриба. Для этого используют биоматериал гриба, выращенный на питательной среде КГА в чашках Петри. Концентрация споровой суспензии – 1×10^6 спор/мл для *P. nodorum* и 1×10^7 спор/мл для *Z. tritici*. Растения после инокуляции помещают на 48 ч во влажную камеру. Образование пятен на зараженных листьях обычно наблюдается, спустя 5-7 дней (*P. nodorum*) или 14-20 дней (*Z. tritici*). Второй способ – инокуляция растений шприцом в фазу 3-5 листьев. Иглу вводят во влагалище листа под косым углом, не допуская ее выхода с другой стороны. Споровую суспензию вводят до ее появления от вершины листового завитка (кольца вокруг стебля), обеспечивая тем самым полный контакт с развивающейся в трубке стебля листовой пластиной. Когда лист будет полностью развернутым, в месте укола на нем образуется характерное пятно (с хорошо выраженными пикнидами в случае *Z. tritici*). Преимущество данного способа в том, что даже при низкой концентрации споровой суспензии вероятность заражения остается высокой. Кроме того, инокулированные уколом растения не обязательно помещать во влажную камеру. Недостатком является получение меньшего количества пятен, чем при опрыскивании, однако данную проблему можно закрыть, заражая большее количество растений.

Как показала реинокуляция 285 культур *P. nodorum* и 315 культур *Z. tritici* с гербарных образцов разных сроков хранения, жизнеспособность штаммов в большой степени зависит от вида гриба. Так, реинокуляция 90,3-93,5% штаммов *P. nodorum* одинаково успешно осуществлялась с гербарных образцов, имеющих возраст 1-5 лет. По мере старения образцов жизнеспособность штаммов снижалась до 66,7-69,7%, но оставалась на этом уровне даже при сроке хранения 11-14 лет. А вот оптимальный срок хранения штаммов *Z. tritici* на высушенных растениях составлял не более 3-х лет. Через 4-5 лет доля успешных реинокуляций сокращалась с 96,6 до 74,4%, через 6-8 лет – до 50,6%, а через 9-10 лет составляла только 7,1%. После 10 лет хранения гербарных образцов реинокулировать грибок уже не удавалось (рисунок).

Таким образом, гербарные образцы растений-хозяев являются простым, удобным, не требующим дорогостоящего оборудования и довольно длительным способом хранения коллекционных штаммов септориоза. При этом штаммы *P. nodorum* значительно дольше сохраняют свою жизнеспособность на высушенных растениях, чем штаммы *Z. tritici*, и способны храниться более 10 лет.

По мере старения гербарный материал рекомендуется обновлять: с целью хранения штаммов *P. nodorum* – через 5, максимум 10 лет, а для *Z. tritici* лучше это делать чаще – через 3, максимум через 5 лет.

Такая же тенденция дольше выживать *ex situ* у штаммов *P. nodorum* по сравнению с *Z. tritici* наблюдалась и при использовании других методов хранения: в стерильной почве, в лиофилизированном состоянии, на высохших косяках питательной среды, на сыпучих субстратах и др. [3, 4, 5]. Это может быть связано с биологическими особенностями видов и с их требованиями к условиям окружающей среды.

Для проведения исследований использовалось оборудование Центра коллективного пользования ВНИИФ.

Список литературы

1. Санин С.С., Санина А.А., Мотовилин А.А., Пахолкова Е.В., Корнева Л.Г., Жохова Т.П. и соавт. Защита пшеницы от септориоза. Приложение к журналу «Защита и карантин растений», №4, 2012.
2. Санина А.А., Анциферова Л.В. Способы выделения и хранения возбудителей септориоза пшеницы. Микология и фитопатология. 1989, т. 23, вып. 2, стр. 172-175.
3. Зеленева Ю.В., Судникова В.П. Хранение инфекционного материала возбудителей септориоза пшеницы (*S. tritici*, *S. nodorum*). Вестник ТГУ, 2014, т. 19, вып.2, с. 780-784.
4. Pakholkova E.V., Salnikova N.N., Kurkova N.A., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I. Pathogenic Strains Storage of the Main Causative Agents of Cereals Crops Septoriososis (Leaf Spot) in The State Collection of Phytopathogenic Microorganisms in All-Russian Research Institute of Phytopathology. International Journal of Pharmaceutical & Allied Sciences, 2017, 6 (4): 123-130.
5. Пахолкова Е.В., Сальникова Н.Н. Качество хранения лиофилизированных культур возбудителей септориоза пшеницы *P.nodorum* и *Z.tritici* при температуре -200С. Современная микология в России, 2024, т. 10, с.269-270.

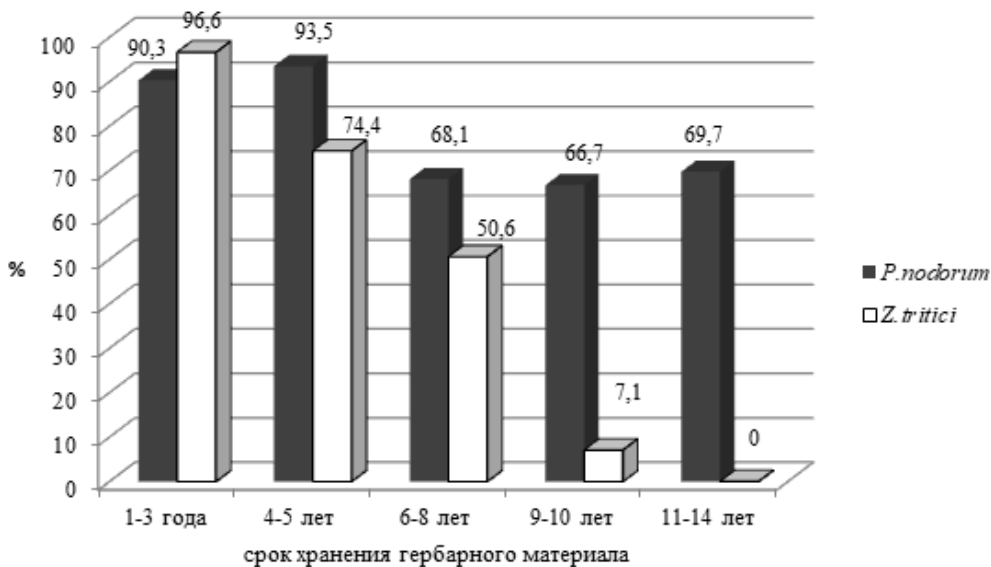


Рисунок 1. Жизнеспособность штаммов *P.nodorum* и *Z. tritici* на гербарных образцах разных сроков хранения.

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ МИКОЗОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЯ

Пантелеев С.В., Константинов А.В., Падутов А.В., Можаровская Л.В., Кирьянов П.С., Разумова О.А., Хархасова И.А., Комарова В.А., Шевко В.Н., Куфко И.Э.
Институт леса НАН Беларуси, Гомель

В настоящее время наблюдаются тенденции климатических изменений, связанные в первую очередь с аномальными сезонными колебаниями температур и длительными периодами влагодефицита в летний период, приводящих к возрастанию абиотических нагрузок на древесно-кустарниковые растения в условиях городской среды. Снижение биологической устойчивости насаждений сопряжено с рисками возникновения очагов инфекционных заболеваний, вызываемых в том числе и инвазивными видами фитопатогенов. В связи с чем существует необходимость разработки и масштабного внедрения дополнительных комплексных мер, направленных на организацию системного мониторинга фитосанитарного состояния объектов растительного мира на урбанизированных территориях для своевременного выявления и профилактики распространения опасных фитозаболеваний.

Объектами исследования являлись виды и декоративные формы ели, псевдотсуги, туи, можжевельника, липы, березы, клена, ясеня и ивы, произрастающие в различных типах посадок на территории парковых зон, скверов и придорожных полос г. Гомеля (Республика Беларусь). С обследованных растений были отобраны листья (хвоя) и фрагменты ветвей с признаками инфекционного поражения (пятнистости, некрозы и др.). Препараты суммарной ДНК были получены с использованием СТАВ-метода. С целью диагностики спектра грибной инфекции проводилась ПЦР с универсальными праймерами ITS1-F/ITS2 для амплификации ITS1-локуса рДНК. Спектр видов анализировался методами фрагментного анализа и секвенирования ампликонов по Сэнгеру. Идентификация секвенированных последовательностей осуществлялась в базе данных NCBI на базе онлайн-ресурса NCBI BLAST.

В придорожных посадках и скверах в тканях хвои ели сизой (*P. glauca*) с признаками некроза доминировал фитопатогенный гриб *Rhizosphaera minteri* (номер доступа в NCBI: PV441507). Вид описан впервые в 2023 г. и был обнаружен сотрудниками Королевского ботанического сада Эдинбурга (Великобритания) в составе микобиома хвои ели ситхинской (*P. sitchensis*) [1]. *R. minteri* по морфологическим характеристикам схож с *R. pini*, но отличается от последнего по маркерному региону ITS рДНК примерно на 2,5% (в среднем 6 SNP и 5 инделей на 500 нуклеотидов). Поражение хвои деревьев ели сизой и ее усыхание на обследованных объектах в ряде случаев достигало 15% от общей площади кроны, что приводило к образованию просветов, ажурности и снижению декоративно-эстетических качеств. Данный вид малоизучен, требует дальнейшего мониторинга и изучения вредоносности. В комплексе с ним с учетом прочих групповых посадок выявлены *Fusarium lateritium*, *Neocatenulostroma abietis*, *Phoma* sp., *Epicoccum nigrum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Lophiostoma corticola*, а также вид не имеющий морфологического описания (NCBI: PV390902). Следует отметить, что выявленный новый вид (PV390902) характеризовался 99% идентичностью по нуклеотидной последовательности маркерного ITS1-локуса (2 SNP) с депозитом NCBI Uncultured fungus FJ761150.1, выявленным в тканях листьев дуба *Q. macrocarpa*, произрастающего в городской среде (Канзас, США). Другие депозиты NCBI, с которыми был установлен высокий процент сходства, также не имели таксономического описания.

В парковых зонах и скверах на ели европейской (*P. abies*) доминировали *Diaporthe* sp. (номер доступа в NCBI: PV441509) и *N. abietis*. Им сопутствовали в основном *F. lateritium*, *C. cladosporioides* и *L. corticola*. Выявленный вид *Diaporthe* sp. согласно филогенетическому анализу в NCBI BLAST Tree View (методы минимальной эволюции и ближайшего соседа) входит в кладу *D. eres* (99,6-100% идентичность ITS1-локуса с депозитами NCBI *Diaporthe* sp. и *D. eres*).

На псевдотсуге Мензиса (*P. menziesii*) в составе смешанной инфекции листьев доминировали грибы *Teratosphaeria microspora*, вызывающего различного рода пятнистости, и *Calvophomopsis rubenticola* (номер доступа в NCBI: PV441510) – малоизученный эндофит, описанный в 2018 г. на ели *P. rubens* [2]. Согласно филогенетическому анализу с депозитами NCBI *C. rubenticola* близок к фитопатогенам рода *Allantophomopsis* (99% идентичности по ITS1).

В листьях туи (*T. occidentalis*) выявлены возбудители песталотиоза (*Pestalotiopsis funerea*), фомоза (*Microsphaeropsis olivacea*, *Phoma herbarum*, *Phoma* sp.), кладоспориоза (*C. cladosporioides*) и *Pseudocamarosporium propinquum* (NCBI: PV441510).

В хвое можжевельника казацкого (*J. sabina*) идентифицированы *Phoma* sp. и *Alternaria alternata*, можжевельника обыкновенного (*J. communis*) – *Lophodermium juniperinum* (NCBI: PV441513) и ранее не описанный вид *Colpoma* sp. (NCBI: PV441512), характеризующийся наибольшим сходством (97%) по последовательности ITS1 рДНК с *Colpoma junipericola* и наличием 7 SNP и двух динуклеотидных инделей. Также вид рода *Colpoma*, требующий дополнительного изучения, выявлен в составе смешанной инфекции на можжевельнике скальном (*J. scopulorum* ‘Skyrocket’).

На листьях лип (*T. cordata*), произрастающих в придорожных посадках, с признаками темно-бурой пятнистости идентифицирован инвазивный фитопато-

генный гриб *Amycosphaerella africana* (NCBI: PP961887). Данный вид впервые описан на растениях родов Цитрус (*Citrus* spp.) и Эвкалипт (*Eucalyptus* spp.) в Южной Африке, и вызывает пятнистость и дефолиацию листьев.

Согласно оценкам зарубежных специалистов в странах Европы фитосанитарные риски распространения и наносимого ущерба *A. africana* являются низкими в связи с отсутствием доступности растений-хозяев, а также неподходящими климатическими условиями биогеографического региона. Возбудитель зафиксирован в Испании, Марокко и Австралии [3], где на данный момент повреждения плодов и потери урожая цитрусовых и эвкалиптов не зафиксированы. Однако потенциальные риски дальнейшей интродукции патогена возрастают за счет его возможной акклиматизации в странах культивирующих цитрусовые и миртовые (Испания, Италия, Китай, Индия, Бразилия и др.), а также в результате колонизации новых растений-хозяев. В исследованных образцах листьев липы *A. africana* доминировала в комплексе с возбудителем антракноза *Apiognomonia errabunda* (NCBI: PV037555.1), который имеет широкое распространение (Европа, Азия, Северная Америка, Австралия и Океания) и спектр растений-хозяев (дуб, бук, липа, береза и др.) [4].

В некротизированных тканях древесины клена ясенелистного (*A. negundo*), произрастающего в парковой зоне, идентифицирован ранее не зафиксированный на территории Беларуси возбудитель некроза ветвей клена – гриб *Dothidotthia negundinis* (NCBI: PP961888.1). Данный вид был впервые описан в США на клене ясенелистном, бересклете крылатом (*E. alatus*) и фендлере скальной (*F. rupicola*). Виды рода *Dothidotthia* вызывают отмирание двух-трехлетних побегов. В исследованных образцах *D. negundinis* выявлен в комплексе с фитопатогеном *Nectria cinnabarina*, что, по мнению ряда авторов, является типичным патоконкомплексом ветвей клена [5].

На усыхающих листьях березы повислой (*B. pendula*) выявлен ранее не описанный тафриновый гриб (NCBI: PP961936.1). Филогенетический анализ данного вида по маркерному региону ITS1 рДНК показал наиболее близкое сходство (85%) с *Taphrina tormentillae*, который описан в основном как фитопатоген лапчатки (*Potentilla* spp., *Drymocallis* spp.). Полученные данные с учетом полиморфизма ITS-локусов депозитов тафриновых грибов в базе данных NCBI GenBank (идентичность депозитов *Taphrina* spp. по региону ITS рДНК – 85-99%) свидетельствуют о том, что выявленный гриб является отдельным видом (*Taphrina* sp.). Другой вид тафриновых грибов (NCBI: PP968833.1) идентифицирован на листьях клена (*A. platanoides*). Этот образец по нуклеотидной последовательности ITS1 рДНК показал 96-99% сходство с депозитами NCBI *T. dearnessii* и согласно филогенетическому анализу относится к данному виду либо является близкородственным. *T. dearnessii* описан на клене в ряде штатов США еще в середине XX века [6]. Упоминания о данном виде в настоящее время в литературных источниках являются фрагментарными.

На ясене пенсильванском (*F. pennsylvanica*) в некротизированных тканях коры ветвей идентифицирован аскомицет *Pleurophoma pleurospora* (NCBI: PP968836.1), а в усохших почках и древесине ветвей *Neoleptosphaeria rubefaciens* (NCBI: PP968837.1).

P. pleurospora – форма-подобный гриб, описанный на ряде древесно-кустарниковых растений (сем. Розоцветные, Лавровые и др.) в качестве патогена, а также эндофита тканей без признаков поражения. На урбанизированных территориях отмечался зарубежными

исследователями на иве *S. caprea*. [7]. *N. rubefaciens* – форма-подобный гриб, фитопатоген спектра древесных и других групп растений (тополь, дуб, липа и др.), ассоциированный с сосудистым увяданием, поражением тканей древесины и коры [8].

На ясене обыкновенном в некротизированных тканях древесины ветвей выявлен ранее не описанный вид из порядка Плеоспоровые (*Pleosporales* sp., NCBI: PP968835.1). По нуклеотидной последовательности ITS1 рДНК данный образец идентичен депозитам NCBI неизвестного вида *Pleosporales* sp. (OQ358094.1 и OQ358093.1), выявленного в Чехии на абрикосе (*P. armeniaca*) и ассоциированного с поражением ствольных тканей.

На иве *S. babylonica* в некротизированных тканях тонких ветвей (d ~ 3-5 мм) диагностирован фитопатоген *Drepanopeziza triandrae* (NCBI: PP968834.1) – возбудитель пятнистости листьев ивовых деревьев. Распространение данного вида наиболее широко изучено в Великобритании.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего молекулярно-генетического мониторинга возбудителей заболеваний в городских зеленых насаждениях, что позволит сформировать эффективные профилактические и защитные мероприятия по контролю численности фитопатогенов в городских зеленых насаждениях.

ПРОЯВЛЕНИЕ «ЧУВСТВА КВОРУМА» НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ

Пасечник Т.Д., Осипян М.В.

Всероссийский НИИ фитопатологии, Большие Вяземы

Развитие инфекционных заболеваний растений зависит от состояния инокулюма и условий окружающей среды. Прорастание спор происходит при благоприятных условиях – оптимальной инфекционной нагрузке, температуре, влажности и т.д. Ранее мы обнаружили, что степень развития болезни зависит от концентрации инокулюма. Это связано с экзометаболитами патогенов, образующими активные формы кислорода (АФК) [1,2]. Взаимодействие микроорганизмов между собой называется «чувством кворума». Они секретируют сигнальные молекулы, с помощью которых происходит регуляция различных процессов, в том числе и связанных с патогенезом. Это явление хорошо исследовано у бактерий [3]. У грибов оно изучено меньше [4,5,6]. Для успешной борьбы с болезнями необходимо определить природу таких сигналов и механизм их действия.

Целью работы было выяснить – распространено ли чувство кворума у разных фитопатогенных грибов и оценить природу возможных сигнальных веществ.

Материалы и методы.

Споры фитопатогенных грибов *Cladosporium cucumerinum*, *Alternaria solani*, *Fusarium culmorum*, *Staganospora odorum* прорастивали в 96-луночных культральных планшетах 18 ч [3]. Исследовали влияние концентрации спор на развитие грибов *in vitro*. Для исследования действия секретируемых веществ жидкость, в которой прорастали споры, собирали и центрифугировали (8000g, 10 мин) [2]. В супернатантах (=диффузатах) прорастивали новые порции спор. К 45 мкл диффузата или воды добавляли 5 мкл суспензии спор того же тест-объекта, из которого споры диффузат был получен. Через 18 ч споры фиксировали спиртом

Список литературы

1. Taylor J.E., Koukol O. Towards resolving *Nothophaeocryptopus* and *Rhizosphaera* inhabitants of spruce needles . *Forest Pathology*. – 2023. – Vol. 53. – No. 3: e12807.
2. Tanney J.B., Seifert K.A. *Phacidia* endophytes of *Picea rubens* in Eastern Canada . *Botany*. – 2018. – Vol. 96. – No. 9. – P. 555-588.
3. Aguilera-Cogley V.A., Berbegal M., Catala S. et al. Characterization of *Mycosphaerellaceae* species associated with citrus greasy spot in Panama and Spain . *PLoS ONE*, 2017. Vol. 12(12): e0189585.
4. Boron P., Grad B., Nawrot-Chorabik K. et al. The genetic relationships within *Apiognomonia errabunda* and related species . *Mycologia*. – 2019. – Vol. 111. – No. 4. – P. 541-550.
5. Булгаков Т.С. Тиростромозы деревьев и кустарников в степной зоне юга России . *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2021. – №. 59. – С. 123-128.
6. Mix A. J. Notes on some species of *Taphrina* . *Transactions of the Kansas Academy of Science*. – 1956. – Vol. 59. – No. 4. – P. 465-482.
7. Feige G.B., Ale-Agha N., Dachowski M. et al. Surveys of microfungi in a former industrial area in Duisburg-Nord . *Mededelingen (Rijksuniversiteit te Gent. Fakulteit van de Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen)*. 2002. – Vol. 67. – No. 2. – P. 227-239.
8. Kwasna H., Szewczyk W., Baranowska M. et al. *Mycobiota* associated with the vascular wilt of poplar . *Plants*. – 2021. – Vol. 10. – No. 5.: 892.

и подсчитывали. Изучали влияние кипячения (10 мин на водяной бане) и диализа (18 ч) диффузатов на прорастание в них спор.

Результаты. Прорастание спор *C. cucumerinum* было наиболее высоким при 10^5 спор/мл. Как при низких, так при высоких концентрациях спор оно было меньше (Рис.1 А). Аналогичная закономерность, но менее выраженная, наблюдалась у *S. odorum* (Рис.1 Б). В случае с *F. culmorum* (Рис.1 В), и *A. solani* (Рис.1 Г) прорастание при низких концентрациях достоверно не отличалось от прорастания при оптимальной, при высоких – было меньше.

Таким образом, в суспензии грибных спор происходит самоингибирование прорастания. Оно необходимо для предотвращения траты ресурсов в неблагоприятных условиях и регуляции отношения хозяин-паразит.

Механизм самоингибирования может быть связан с метаболитами гриба, выделяемыми в окружающую среду. Были исследованы супернатанты суспензий спор

Диффузаты спор *C. cucumerinum*, проросших и при низкой, и при высокой концентрации, подавляли прорастание новой порции спор. После кипячения все они его стимулировали (Рис.2 А). Диализ усиливал токсичность начиная с 5×10^4 спор/мл.

В случае остальных грибов – и кипячение, и диализ устраняли ингибирование в диффузатах при любых концентрациях (Рис.2 Б-Г). То есть соединения, участвующие в самоингибировании прорастания, и, возможно, в системе кворума, низкомолекулярные.

У различных грибов обнаружены вещества-мессенджеры кворума – спирты, феромоны, оксипирины, летучие вещества. Все они низкомолекулярные [7]. Та-

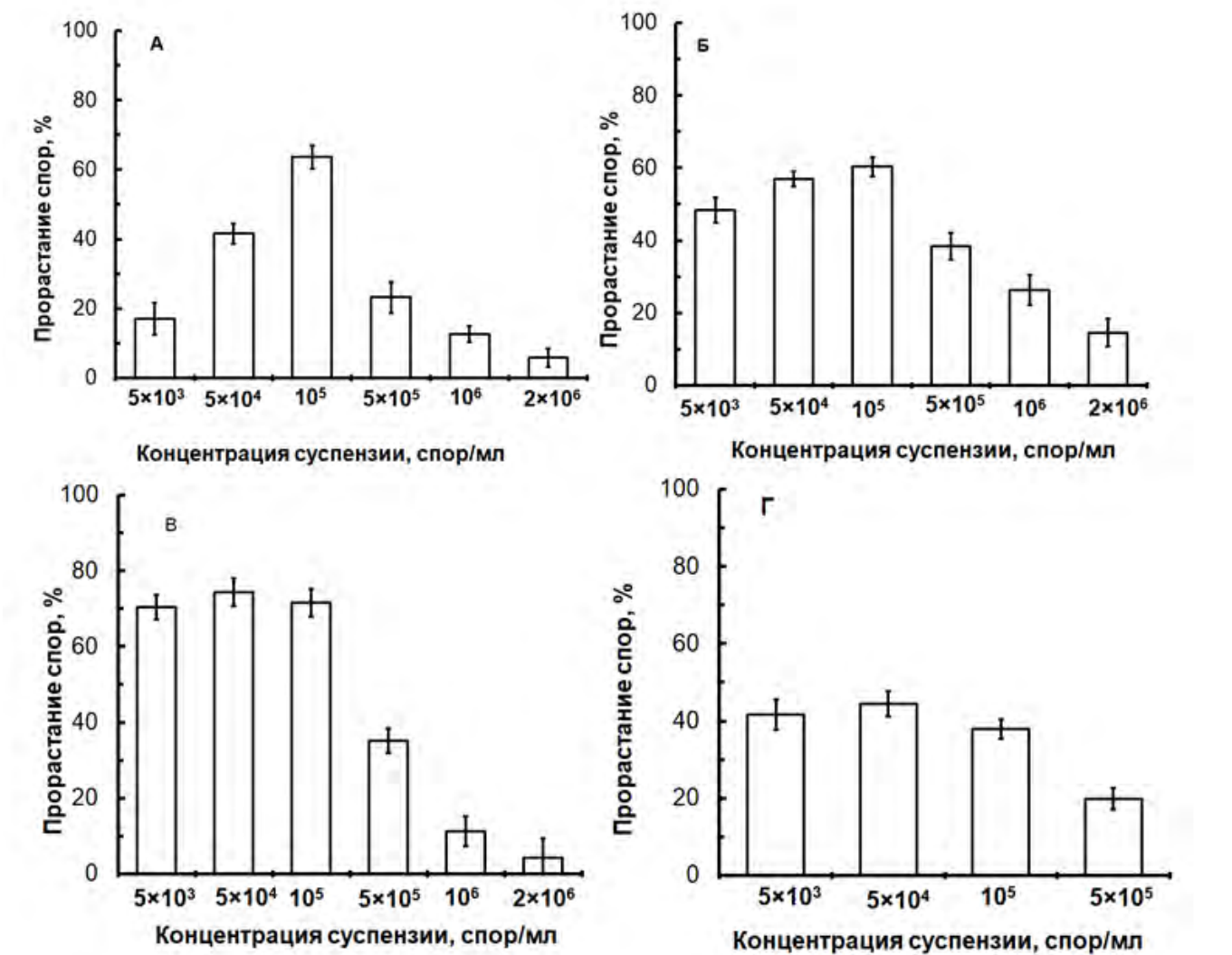


Рисунок 1. Прорастание спор. А – *C. cucurbitinum*, Б – *S. nodorum*, В – *F. culmorum*, Г – *A. solani*. Здесь и далее подсчитывали % прорастания в 5-ти повторностях по 100 спор. Указаны средние $\pm$ стандартное отклонение.

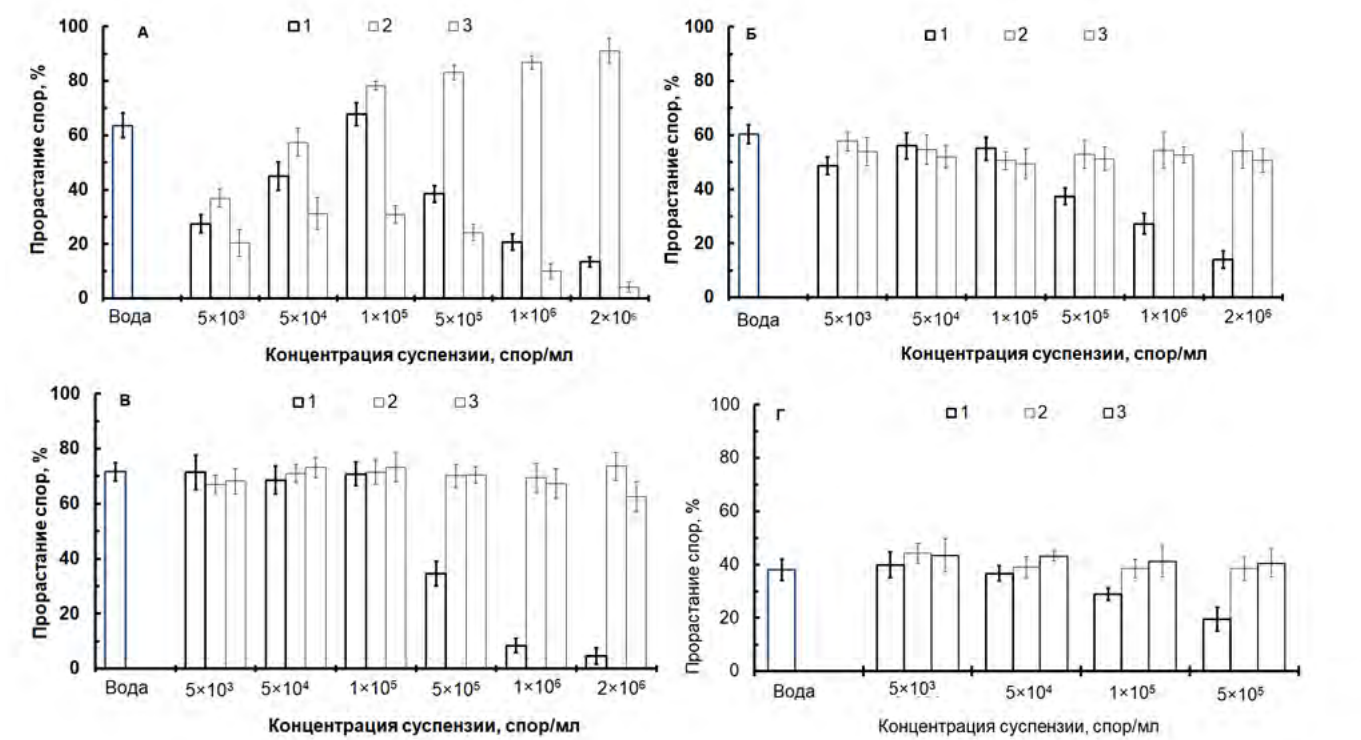


Рисунок 2. Прорастание спор в диффузатах. 1 – нативный, 2 – кипяченый, 3 – диализованный. Каждый использовали со своим тест-объектом.
А – *C. cucurbitinum*, Б – *S. nodorum*, В – *F. culmorum*, Г – *A. solani*.

кие вещества влияют на рост и дифференциацию гиф, образование токсинов, вирулентность. Нами впервые показано участие в системе кворума высокомолекулярного термолabileного соединения, возможно, белка.

Исследование сигналов кворума может помочь в создании фунгицидных препаратов. Так, на основании фарнезола, выделенного из дрожжей, создан лечебный препарат [8].

Выводы. В регуляции прорастания спор *C. sisiterinut* участвовал как высокомолекулярный ингибитор, так и низкомолекулярный стимулятор.

У других патогенов в этом процессе участвовали низкомолекулярные термолabileные ингибиторы.

Таким образом, «чувство кворума» характерно для многих микроорганизмов и осуществляется через сигнальные молекулы.

Список литературы

1. Aver'yanov, A. A., & Lapikova, V. P. (1990). Activated oxygen as a possible factor in the autoinhibition of spore germination of the fungus *Pyricularia oryzae*. *Biokhimiya* (Moscow), 55, 1397–1402
2. Aver'yanov, A. A., Lapikova, V. P., Pasechnik, T. D., Zakharenkova, T. S., & Baker, C. J. (2011). Self-inhibition of spore germination via reactive oxygen in the fungus *Cladosporium cucumerinum*, causal agent of cucurbit scab. *European Journal of Plant Pathology*, 130(4), 541–550. doi:10.1007/s10658-011-9776-4
3. Whiteley M, Diggle SP, Greenberg EP. Progress in and promise of bacterial quorum sensing research. *Nature*. 2017 Nov 15;551(7680):313-320. doi: 10.1038/nature24624. Erratum in: *Nature*. 2018 Feb 28;555(7694):126. doi: 10.1038/nature25977.
4. Hogan, D. A. (2006). Talking to Themselves: Autoregulation and Quorum Sensing in Fungi: FIG. 1. *Eukaryotic Cell*, 5(4), 613–619. doi:10.1128/ec.5.4.613-619.2006. doi:10.1128/EC.5.4.613-619.2006.
5. Albuquerque P, Casadevall A. 2012. Quorum sensing in fungi—a review. *Med. Mycol.* 50:337–345
6. Tian X, Ding H, Ke W, Wang L. Quorum Sensing in Fungal Species. *Annu Rev Microbiol.* 2021 Oct 8;75:449-469. doi: 10.1146/annurev-micro-060321-045510. Epub 2021 Aug 4. PMID: 34348030.
7. Barriuso J, Hogan DA, Keshavarz T, Martínez MJ. Role of quorum sensing and chemical communication in fungal biotechnology and pathogenesis. *FEMS Microbiol Rev.* 2018 Sep 1;42 (5):627-638. doi: 10.1093/femsre/fuy022.
8. Boone C.H.T., Parker K.A, Gutzmann D. J, Atkin A. L, Nickerson K.W. Farnesol as an antifungal agent: comparisons among MTL_a and MTL_a haploid and diploid *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Front. Physiol.* , 20 November 2023, Sec. itochondrial Research. Volume 14 – 2023 | DOI: 10.3389/fphys.2023.1207567

МИКОБИОТА СЕМЯН РЕДЬКИ МАСЛИЧНОЙ, ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ И СУРЕПИЦЫ (ВНИИ КОРМОВ, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Пирязева Е.А.¹, Зотова Е.В.¹, Сергеева С.Е.²

¹ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, Москва
²ФНЦ ВИК– ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, Лобня

Интерес биологической науки к микромицетам, содержащихся в семенах сельскохозяйственных растений, не ослабевает уже многие десятилетия и объясняется их участием в важнейших физиологических процессах (покоя, прорастания, горизонтального переноса), реакциях организма на внешние воздействия, а также обнаружением соответствий с генотипической принадлежностью. Среди масличных культур наиболее подробно изучена горчица сарептская (*Brassica juncea* (L.) Czern.). Так, в Пакистане установлены межсортовые особенности и изменчивость состава микобиоты семян при хранении [1], в Индии определены доминирующие виды, а также изменчивость комплекса эндогенных микромицетов в период вегетации [2] и по годам выращивания [3–6]. В нашей стране получены лишь отдельные сведения по этой культуре [7, 8] и в последние годы проведено микологическое обследование семян подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) и рапса масличного (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (Metzg.) Sinsk) после их поверхностной дезинфекции [9, 10].

Целью этой работы являлось изучение субэпидермальной микобиоты семян редьки масличной (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.), горчицы белой (*Sinapis alba* L.) и сурепицы (*Brassica campestris* fr. *biennis*), полученных в 2021 и 2023 гг. на опытных участках ФНЦ ВИК им. В.Р. Вильямса в Московской области. По 100 семян обрабатывали в течение 20 сек раствором формальдегида с последующей двукратной нейтрализацией раствором аммиака [10]. Далее семена раскладывали в чашки Петри на агар Чапека-Докса (ЧДА) с 10%-ным содержанием желчи и антибиотиками и инкубировали посе­вы в темноте при комнатной температуре. Через 7–10 сут грибы, намеченные к дальнейшей видовой идентификации, отсе­вали на чашки Петри с ЧДА, желчью и антибиотиками и после подтверждения чистоты – в пробирки с ЧДА. Пораженность проб грибами определенного рода учитывали в первичных посевах и выражали числом инфицированных семян в процентах. Для видовой идентификации изолятов использовали определители [11–13].

Результаты анализа семян редьки масличной и горчицы белой суммированы в табл. 1. У редьки (сорт «Снежана») массовым (90%) было инфицирование семян грибами *Alternaria* с участием *A. tenuissima* и поливидового комплекса ‘*A. infectoria*’ при редкой встречаемости представителей родов *Penicillium* и *Fusarium*. В семенах рапса масличного также доминировали те же два таксона (*A. tenuissima* и ‘*A. infectoria*’), а вид *F. avenaceum* находили эпизодически [10].

У горчицы белой между сортами наблюдались как признаки сходства, так и различия. У всех образцов грибы рода *Alternaria* находили примерно с равной частотой, и общим был вид *A. tenuissima*. У сорта Афродита также встречался другой мелкоспоровый вид – *A. alternata*, у сортов Луговская и Радуга – ‘*A. infectoria*’. Из-за отсутствия спороношения видовая принадлежность двух изолятов осталась невыясненной. Сорт «Афродита» отчетливо отличался от двух других большей степенью инфицирования грибами *Penicillium*, среди которых, кроме вида *P. jenseni*, одну культуру

Penicillium sp. идентифицировать не удалось. Виды *Aspergillus* (*A. nidulans*, *A. ochraceus*), а также *P. meleagrinum* и *Cladosporium* sp. были в семенах горчицы белой столь же редкими, как и у рапса [10].

Образцы сурепицы яровой формы (сорт Надежда) и озимой формы (сорта Заря, Любава, Гордея) резко отличались по интенсивности инфицирования грибами (табл. 2).

У яровой сурепицы (сорт Надежда) в 40% семян присутствовали грибы *Alternaria* – *A. tenuissima* и ‘*A. infectoria*’, тогда как у озимой в посевах всех трех сортов рост грибов практически отсутствовал (в основном семена оказались стерильными). Случаи обнаружения *Penicillium* sp., а также *P. meleagrinum* и *Aspergillus pseudoglaucus* (у сорта Гордея) были единичными. Различия по степени инфицирования семян яровой и озимой форм наблюдали и у рапса, но они не были столь резкими [10].

Таблица 1. Степень инфицирования микромицетами семян редьки масличной и горчицы белой, %.

Таксон	Редька масличная	Горчица белая		
	Снежана	Афродита	Луговская	Радуга
<i>Alternaria</i> spp.	90 (<i>A. tenuissima</i> , <i>A. infectoria</i>)	30 (<i>A. tenuissima</i> , <i>A. alternata</i> , <i>Alternaria</i> sp.)	26 (<i>A. tenuissima</i> , <i>A. infectoria</i> , <i>Alternaria</i> sp.)	25 (<i>A. tenuissima</i> , <i>A. infectoria</i>)
<i>Penicillium</i> spp.	2 (<i>P. meleagrimum</i>)	30 (<i>P. jenseni</i> , <i>Penicillium</i> sp.)	–	1 (<i>P. meleagrimum</i>)
<i>Aspergillus</i> spp.	–	1 (<i>A. nidulans</i>)	1 (<i>A. ochraceus</i>)	–
<i>Fusarium</i> spp.	2 (<i>F. avenaceum</i>)	–	–	–
<i>Cladosporium</i> spp.	–	–	–	2

Таблица 2. Степень инфицирования микромицетами семян сурепицы, %

Таксон	Сорта			
	Надежда	Заря	Любава	Гордея
<i>Alternaria</i> spp.	40 (<i>A. tenuissima</i> , <i>A. infectoria</i>)	1 (<i>A. alternata</i>)	–	–
<i>Penicillium</i> spp.	–	1 (<i>Penicillium</i> sp.)	1 (<i>Penicillium</i> sp.)	1 (<i>P. meleagrimum</i>)
<i>Aspergillus</i> spp.	–	–	–	1 (<i>A. pseudoglaucus</i>)

Таким образом, в ходе проведенных исследований для семян редьки масличной, горчицы белой и яровой сурепицы установлено интенсивное внутреннее инфицирование микромицетами с доминированием нескольких представителей рода *Alternaria*. В семенах озимой сурепицы присутствие грибов носило единичный характер.

Список литературы

1. Khan T., Khan K., ul Haq M.Z. Effect of storage fungi on seed quality parameters of different mustard varieties. *Biological Sciences – PJSIR*. 2005. 48(5): 362–365.
2. Ghugal S.I., Thakre R.P. Incidence of microorganisms in Mustard seeds during the storage and its toxic effects on seed germination and seedling diseases. *International Journal of life Sciences*. 2014. Special issue, A2: 69–72.
3. Meena S., Godika S., Ghasolia R.P., Nitharwal N., Meena P., Kardam V.K. Incidence of mycoflora in indian mustard (*Brassica juncea*) seeds in Rajasthan. *Biological Forum – An International Journal*. 2022. 14(1): 529–534.
4. Mumtaz B., Fatima S. Evaluation of mycoflora and mycotoxins contamination of mustard seeds (*Brassica juncea* L.). *Epitome: International Journal of Multidisciplinary Research*. 2017. 3(1): 11–15.
5. Ghoch T., Biswas M.K., Aikat K. A review on seed borne mycoflora associated with different oilseed crops and their management.

International Journal of Pure and Applied Biosciences. 2018. 6(1): 1526–1538.

6. Debbarma A., Banic S. Seed-borne mycoflora of important oilseeds of Nagaland. *Journal of AgriSearch*. 2021. 8(4): 351–355.
7. Пивень В.Т., Сердюк О.В. Динамика поражения горчицы сарептской альтернариозом в период вегетации в условиях Западного Предкавказья. *Масличные культуры*. 2007. №2(137): 106–109.
8. Сердюк О.А. Особенности развития грибов рода *Alternaria* Nees. на горчице сарептской и мероприятия по снижению их вредности. Автореф. канд. наук., Воронеж. 2008. 26 с.
9. Пирязева Е.А., Зотова Е.В. Распространенность видов *Aspergillus* в общей и субэпидермальной микобиоте семян подсолнечника. *Современная микология в России*. 2024. 10: 272–274.
10. Пирязева Е.А., Зотова Е.В., Воловик В.Т., Сергеева С.Е., Кононенко Г.П. Состав субэпидермальной микобиоты семян рапса масличного. *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2025. №1(53): 58–68.
11. Simmons E.G. *Alternaria* an identification manual. Utrecht, CBS Fungal Biodiversity Centre. 2007. 775 p.
12. Raper K.B., Thom C., Fennell D.I. *A manual of the Penicillia*. Baltimore: The Williams & Wilkins comp. 1949. 875 p.
13. Raper K.B., Fennel D.I. *The genus Aspergillus*. The Williams & Wilkins Company. Baltimore. 1965. 686 p.

О ВЫЯВЛЕНИИ В БЕЛАРУСИ АНТРАКНОЗА ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

Поликсенова В.Д., Федюшко И.А., Горнак А.Ю.
Белорусский государственный университет, Минск

Введение. Антракнозы – это группа заболеваний растений, возбудителями которых являются некоторые аскомицеты, преимущественно в стадии анаморфы (*Melanconiaceae*). Признаки поражения проявляются в виде увядания растений-хозяев, отмирания тканей, язв. Часто болезнь вызывают грибы рода *Colletotrichum* или *Gloeosporium*, которые производят массу конидий в ацервулах. По отношению к растениям они являются патогенами или эндофитами, иногда сапротрофами.

Возбудителями антракноза земляники являются фитопатогены рода *Colletotrichum*, которые вызывают симптомы в виде гнили плодов, ожога цветков, пятнистости листьев, язв на стеблях и черешках, загнивания укороченных побегов (рожков).

Среди видов возбудителей антракноза земляники широко известен и вредоносен *Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds, вызывающий гниль плодов многих травянистых и древесных растений, однако основной поражаемой культурой является земляника садовая (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier). Впервые патоген был обнаружен на садовой землянике и папайе в Австралии (1965), а позднее описан как самостоятельный вид [1]. В настоящее время антракноз земляники, вызываемый *C. acutatum*, распространился по всему миру, отмечен на 5 континентах [2]: в 27 странах Европы, 15 странах Азии, 10 странах Африки, 17 странах Американского континента, в Австралии и Океании (3), и представляет собой яркий пример микоинвазии.

Развитию заболевания способствует теплая погода (+20–25 °C) в сочетании с высокой влажностью воздуха и большим количеством осадков. Часто патоген живет в растениях в скрытой форме и развивается только при благоприятных условиях [3].

Цель – выявить наличие карантинного объекта в Беларуси.

Для земляники садовой патоген вида *C. acutatum* является одним из самых серьезных возбудителей заболеваний в промышленном производстве, вызывая потерю урожая плодов до 80 % [3]. В связи с экономической важностью *C. acutatum* на землянике садовой патоген в течение многих лет на территории Евразийского Экономического Союза был включен в перечень карантинных объектов Европейской и Средиземноморской организаций по защите растений (ЕРРО) (в списке ЕРРО за 2023 г. уже отсутствует). Заболевание является карантинным для Израиля и Чили [2]. В Республике Беларусь служба по карантину растений также отслеживает антракноз как карантинный объект [4]. В таком же плане подается информация об антракнозе земляники садовой в средствах массовой информации для населения и фермеров.

В статье о вспышке антракноза земляники, возбудителем которого оказался *C. acutatum*, в российском журнале за 2014 г. предполагалось, что в Воронежской области она была связана с завозом бессимптомного, но зараженного посадочного материала из Беларуси [2]. Фитопатологи БГСХА выделили из зараженных растений этот патоген и предположили, что он встречается в стране единично [1].

Методы исследования: полевое обследование, микроскопия, культура in vitro.

В 2024 г. антракноз земляники был отмечен в Минске на приусадебном участке на *Fragaria × ananassa* сорта Азия и земклунике сорта Купчиха в середине июня. Заболевание вызвало значительное поражение плодов (ботанически – ложных плодов). На плодах разной степени зрелости, но преимущественно на окрашенных, появились темные пятна со временем по форме напоминающие вдавленность от пальца. Орешки ложных плодов почернели. Немного позднее вдавленные пятна превратились в неглубокие ямки, на дне которых появилась слизь лососево-желтого цвета. Под микроско-

пом в составе слизи видно огромное скопление мелких бесцветных конидий узкоэллиптической формы, часто заостренных с обоих концов 8,5–16,5 x 2,3–4,0 мкм. Щетинки отсутствуют. Чашелистики и плодоножки желтеют.

В теплую (днем +23–25, до +27 °С, ночью +15–17 °С) и влажную (ночью 91–99 % влажности) погоду (этот период длился примерно до середины третьей декады июня) наблюдалось особенно сильное поражение, количество загнивших плодов в одном сборе достигало 50 % (сорт Азия).

Кроме того, на листьях в полевых условиях отмечены бурые мелкие сливающиеся пятна; иногда поражения имеют V-образную форму.

На внешне здоровых листьях, помещенных в условия «влажной камеры», появились такие же, как и на плодах слизистые лососево-желтые участки со спорами, что, по-видимому, свидетельствует о бессимптомном присутствии возбудителя антракноза в тканях хозяина, как это указывается в литературе [3].

У части растений наружные листья побурели, засохли и полегли, некоторые растения полностью погибли. При косом разрезе укороченного побега (рожка) отмирающих растений на срезе наблюдалось красновато-бурое окрашивание ткани.

Необходимо отметить, что вегетационный период 2024 г. отличался по показателям среднегодовых значений. В июне средняя температура воздуха составила +18,9 °С, что выше климатической нормы на 1,9 °С. В первую и вторую декаду количество выпавших осадков составило 189 % и 156 % декадной нормы соответственно [6], что в целом объективно создало благоприятные условия для развития тепло- и влаголюбивого патогена.

К концу первой декады июля, когда влажность упала, на пораженных плодах перестали появляться язвы и они начали засыхать на побеге. Спороношение без слизистых образований на плодах присутствовало.

Такие же симптомы в виде засохших, но со спороношением плодов наблюдались на ремонтантной мелкоплодной землянике.

Проведенное нами искусственное заражение новых плодов (зеленых и зрелых) с использованием образовавшихся на плодах конидий позволило воспроизвести те же признаки антракноза. При этом зрелые плоды поразились раньше и сильнее. Заражение листьев той же суспензией конидий оказалось менее удачным, некрозы проявились позднее и не распространялись за пределы инфекционной капли.

Возбудитель заболевания был выделен в чистую культуру и выращен на овсяном агаре. Форма сформировавшихся колоний округлая, мицелий ватообразный. Колонии в культуре светлые. Субстратный и воздушный мицелий по периферии имеет белый цвет, а вокруг центра образует уплотнения мицелия серо-зеленого цвета. Имеется экссудат в виде прозрачных капель. На 10-й день культивирования на овсяном агаре при температуре +23±2 °С появилось конидиальное спороношение в виде слизистых капелек (ацервул) оранжевого цвета. Конидии в большом количестве, мелкие, бесцветные, одноклеточные, удлинено-овальные.

Косвенным подтверждением, того, что 2024 г. был благоприятным для массового развития патогена является первое за 8 лет сообщение ГУ «Государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите рас-

тений» об обнаружении среди карантинных объектов с 17 по 23 мая 2024 г. в результате фитосанитарного контроля импортных подкарантинных грузов, следующих в Республику Беларусь, 1 случая антракноза земляники свежей (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) [4]. Кроме того, 18 августа 2024 г. на рынках г. Минска продавалась садовая земляника с многочисленными симптомами антракнозной пятнистости на ранней стадии проявления болезни.

Заключение. Таким образом, целый ряд морфологических признаков, а также благоприятные погодные условия дают основания говорить о поражении в Республике Беларусь земляники садовой опасным карантинным инвазионным патогенным грибом *Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds.

Список литературы

1. Simmonds J. H. A study of the species of *Colletotrichum* causing ripe fruit rots in Queensland. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Science*. – 1965. – 22. – P. 437–459.
2. Скрипка О.В. и соавт. Антракноз *Colletotrichum acutatum* Simmonds – опасное заболевание земляники. Карантин растений: наука и практика. – 2014. – № 4/10. – С. 28
3. Говорова Г. В., Говоров Д. Н. Грибные болезни земляники: Монография. – М.: ВСТИСП, 2010. – С. 84–88.
4. Об обнаружении карантинных объектов с 17 по 23 мая 2024 года [Electronic resource] / Государственное учреждение «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений». – Mode of access: https://ggiskzr.by/news/1654.html?sphrase_id=31168 / Date of access: 15.10.2024.
5. Камедько Т. Н. Результаты оценки различных методов искусственного заражения семян земляники садовой антракнозом (*Colletotrichum acutatum* J. H. Simmonds). Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 81–84.
6. Климатическая характеристика июня 2024 года [Electronic resource] / Белгидромет. – Mode of access: <https://pogoda.by/information/news/22055/> – Date of access: 15.10.2024.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА СПОРОБАКТЕРИН, СП НА ЗЕМЛЯНИКЕ САДОВОЙ В ЗАЩИТЕ ОТ СЕРОЙ ГНИЛИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

Приходько Е.С., Смирнов А.Н.
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва

Земляника садовая многолетнее травянистое растение семейства Розоцветные (Rosaceae), род *Fragaria* L. Эта культура является экономически выгодной. В нашей стране выращивается 6% мирового объема производства земляники, при этом 95% выращивается населением. В последние годы увеличивается потребительский спрос на свежую продукцию, это является причиной увеличения объемов производства ягод земляники. Также актуальным является устойчивость сортов к грибным заболеваниям, таким как: пятнистости различного характера, гнили ягод и корней, вертициллез, фузариоз, мучнистая роса и т.д., а также, немаловажную роль играют контрастные климатические условия.

Целью работы являлось изучение биологической эффективности биофунгицида Споробактерин, СП в норме расхода 20 г/100 м кв. в фазу бутонизации и после сбора урожая, с защитным и иммунизирующим эффектом на ягодах земляники садовой в защите от серой гнили в период вегетации, в полевых условиях Нечерноземной зоны.

Работа проводилась в вегетационном сезоне 2023 года на базе УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Почва дерново-подзолистая, pH 6,2, содержание гумуса-2%.

Материалом для работы являлось 3 сорта земляники и 1 сорт земклуники: Вима Кимберли, Торпеда, Царица и Купчиха, высаженных в 2020 году. Предшественником являлась смородина черная.

Биофунгицид Споробактерин, СП состоит из двух компонентов бактерии *Bacillus subtilis* титр не менее 10^8 КОЕ/г и гриба *Trichoderma viride*, штамм 4097 титр не менее 10^6 КОЕ/г

Средняя температура в мае и июне 2023 года были выше по сравнению со средними многолетними показателями. Единственным фактором являлись заморозки, которые пришли в первой декаде мая и выпали на фазу цветения растений земляники. Осадков в мае, июне наблюдалось низкое количество, за исключением, третьей декады, которые отличались обильным выпадением.

Фитосанитарное обследование земляники на наличие серой гнили проводили во время первого сбора, последующие – во время каждого следующего сбора и до конца урожая. На каждой делянке осматривались кусты с ягодами. Ягоды, которые были поражены, независимо от размера пятна, считались больными. Степень поражения определяли по шкале (в баллах) от 0 до 4 баллов, где 0 – это признаков поражения нет, 4 – где поражено более 50% ягод на делянке. Биологическую эффективность рассчитывали по общепринятым методикам.

При использовании биофунгицида Споробактерин, СП биологическая эффективность земклуники сорта Купчиха составляла 73,3–69,5% при развитии 4,9–7,1%. Не уступали по устойчивости к серой гнили и сорта Торпеда и Царица у которых биологическая эффективность составляла 72,8–68,5% при развитии 4,1–6,3% (сорт Торпеда) и 72,3–69,1% при развитии 5,1–8,5% (сорт Царица). Биологическая эффективность

сорта земляники Вима Кимберли составила 70,5–65,3% при развитии 5,2–8,7%. Также, во всех сортах отмечалась высокая урожайность.

Список литературы

1. Князева Д. Д. Изучение сорта земляники садовой vima kimberly в условиях Московской области. Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 110-19. – С. 182-185. – DOI 10.18411/trnio-06-2024-1067.
2. Маслиенко Л.В., Холод Н.А., Ковчигина М.А. Микробиологические препараты для защиты земляники садовой от болезней. Современная микология в России, 2015; 5: 61-62.
3. Приходько Е.С., Смирнов А.Н. Эффективность использования препарата биотриходерма, СП на землянике при подавлении серой гнили. Современная микология в России, 2024; 10: 310-311.
4. Савинич Е.А., Мистратова Н. А. Оценка агробиологических признаков сортов земляники в условиях Красноярской лесостепи. Вестник КрасГАУ. 2018. №4 (139).
5. Холод Н.А. Оценка биологических фунгицидов для контроля доминирующих микозов земляники садовой. Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2017. – Т. 13. – С. 84-87.
6. Холод Н.А. Фитосанитарное состояние земляничного агроценоза в условиях юга России. Защита растений. – М., 2013. – № 10 – С. 28-30.
7. Холод Н.А., Маслиенко Л.В. Биологизированный контроль серой гнили земляники садовой в условиях усиления абиотического и антропогенного воздействия. Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2018. – Т. 14. – С. 179-183. – DOI 10.30679/2587-9847-2018-14-179-183.
8. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. – СПб, 2009. – 378 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРИБОВ ВИДА *MACROPHOMINA PHASEOLINA*, ВЫЗЫВАЮЩИХ ПЕПЕЛЬНУЮ ГНИЛЬ РАСТЕНИЙ СОИ (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.) В УЗБЕКИСТАНЕ

Рузметов Д.Р., Шеримбетов А.Г., Адиллов Б.Ш., Примкулов Ш.Х.
Институт генетики и экспериментальной биологии растений АН РУз, Ташкент

Macrophomina phaseolina является очень вредоносным грибом, передающимся через семена и почву. Данный гриб может поражать около 500 видов растений из более чем 100 семейств. Этот патоген может вызывать несколько типов заболеваний, таких как пепельная гниль, “damping off”, корневые и стеблевые гнили (Ghosh et al., 2018). При высоких температурах (30–35 °C) и низкой влажности почвы (ниже 60%) *M. Phaseolina* может приводить к значительным потерям урожая таких бобовых культур как соя, чечевица, маш, нут и фасоль (Pennerman et al. 2024). Первичный источник инокулята, такой как микросклеротии *M. phaseolina*, может сохраняться в почве до 15 лет (Gupta et al., 2012). Когда микросклеротии попадают в восприимчивого хозяина в комбинации с благоприятными условиями, они быстро проникают в ткани растения и образуют серо-черные склеротии в пораженных тканях растений (Chowdhury et al., 2014).

Ежегодно во всех областях Узбекистана расширяются посевы сои. Расширение посевных площадей и увеличение производимой из сои продукции имеют важное значение для полного удовлетворения потребностей населения Узбекистана в масложировой продукции и развития животноводства. Засушливый и жаркий климат (который характерен для Узбекистана) очень благоприятны для роста и размножения *M. Phaseolina* (Irulappan et al., 2022). Следует также отметить, что вредоносность пепельной гнили вызываемой *M. Phaseolina* особенно сильно проявляется при развитии водного стресса в почве и повышения концентрации клеточного сока в тканях растения-хозяина. При этом в проводящих сосудах ксилеммы и флоэмы наблюдается массовое образование микросклеротиев, полностью закупоривающих внутренние просветы сосудистой системы сои (Саенко и соавт., 2011).

Целью данного исследования являлась идентификация грибов вида *Macrophomina phaseolina*, вызывающих пепельную гниль растений сои в Узбекистане.

В августе 2022 года на опытно-экспериментальной базе «Дурмон» института Генетики и экспериментальной биологии примерно на 25% посевов сои сорта «Орзу» на площади 6 га наблюдались типичные симптомы пепельной гнили: 1) пожелтение листьев, с последующим их увяданием и отмиранием, при этом они оставались прикрепленными к растению; 2) нижняя часть стебля и стержневой корень имели светло-серый или пепельно-черный оттенок; 3) крошечные черные пятнышки на нижней части стебля и на корне; 4) после расщепления стебля он имел вид мелкого пепельного порошка.

Для определения возбудителя данного заболевания из очагов поражения на посевах сои было отобрано 17 больных растений. От каждого растения отбирали двенадцать сегментов стебля и корней, разрезали их на небольшие фрагменты размером 5 мм и поверхностно стерилизовали 1%-ным раствором гипохлорита натрия в течение четырех минут, затем трижды промывали стерильной дистиллированной водой. Фрагменты

тканей высушивали на стерильной фильтровальной бумаге в течение 5 минут и помещали в чашки Петри со средой PDA, которые инкубировали в инкубационной камере в течение 3 суток. Затем делали пересев на среду PDA и инкубировали в течение 7 дней для получения чистых культур. Было получено шесть моногифальных колоний, при этом изначально серый мицелий постепенно становился темнее по мере старения. Через 8 дней культивирования на PDA были обнаружены микросклеротии черного цвета, имеющие сферическую или продолговатую форму. В среднем они имели ширину 60 мкм и длину 130 мкм (n = 30). Из шести выделенных чистых колоний одна из них (штамм R-17) была выбрана для молекулярно-генетической идентификации. Молекулярно-генетический анализ проводился путем амплификации и секвенирования ITS региона с использованием праймеров ITS1 и ITS4 (White et al., 1990). Полученная нуклеотидная последовательность ITS региона была депонирована в базу данных GeneBank (OQ073450). BLAST-анализ полученной нуклеотидной последовательности ITS региона штамма R-17 показал, что он имеет наибольшее генетическое сходство (100%) с ITS регионом трех изолятов *M. Phaseolina* (идентификационные номера Genbank MT039671, MT039663 и MN496040), выделенных в Сербии из сахарной свеклы, кукурузы и подсолнечника соответственно. Для проверки патогенности штамма R17 проростки сои (сорт Орзу) погружали в течении 1 минуты в суспензию спор данного штамма (1×10^7 спор/мл) с последующей посадкой инокулированных проростков сои в пластиковые горшки диаметром 15 см с 350 г стерилизованной почвенной смеси. Через 25 дней у инокулированных растений проявились классические симптомы пепельной гнили, тогда как контрольные растения остались здоровыми. Данный патоген был успешно повторно выделен из инфицированных проростков, что соответствует постулатам Коха. Идентичность повторно изолированного штамма была подтверждена морфологическими признаками, а также повторным секвенированием ITS-региона. Поскольку молекулярно-генетический анализ штамма R-17 показал наибольшую генетическую близость со штаммами из Сербии, мы предполагаем, что *M. Phaseolina* мог быть недавно интродуцирован из Сербии в Узбекистан. Это предположение дополнительно подтверждается тем фактом, что Сербия является крупнейшим экспортером семян в Узбекистан. Рост заболеваемости пепельной гнилью представляет собой серьезную проблему для производства сои в Узбекистане. Понимание генетического разнообразия *M. Phaseolina* будет способствовать разработке эффективных мер борьбы с заболеваниями, вызываемыми данным патогеном, а также разработке программ селекции сои в Узбекистане и повышению ее урожайности.

Список литературы

1. Ghosh T, Biswas MK, Guin C, Roy P. A review on characterization, therapeutic approaches and pathogenesis of

Macrophomina phaseolina. Pl Cell Biotech Mol Biol 2018; 19 (3 and 4): 72–84.

2. Pennerman K. K., Dilla-Ermita C. J., Henry P. M. Exaggerated plurivory of *Macrophomina phaseolina*: Accounting for the large host range claim and the shifting of scientific language. Phytopathology 2024; 114, 119–125.

3. Gupta G. K., Sharma S. K., Ramteke R. (2012). Biology, epidemiology and management of the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with special reference to charcoal rot of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). J. Phytopathol. 160 167–180.

4. Chowdhury S., Basu A., Ray Chaudhuri T., Kundu S. In-vitro characterization of the behaviour of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid at the rhizosphere and during early infection of roots of

resistant and susceptible varieties of sesame. European Journal of Plant Pathology, 2013; 138, 361 – 375.

5. Irulappan V., Kandpal M., Saini K., Rai A., Ranjan A., Sinharoy S. et al. Drought stress exacerbates fungal colonization and endodermal invasion and dampens defense responses to increase dry root rot in chickpea. Mol. Plant Microbe Interact. 2022

6. Саенко Г.М., Зеленцов С.В. Осмотически зависимое образование микросклероциев пепельной гнили *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. в тканях культурного и дикорастущих видов сои. Сборник трудов I Всероссийской интернет-конференции «Растения и микроорганизмы». – Казань, 2011. – С. 152–157.

ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ ГРИБЫ, ОБИТАЮЩИЕ НА ДРЕВЕСИНЕ ОСИНЫ В ЮЖНОМ ПРИУРАЛЬЕ

Сафонов М.А.

Оренбургский государственный университет

Южное Приуралье расположено в пределах лесостепной и степной зон, что определяет ее малую лесистость и своеобразное распределение видов древесных растений: с севера на юг происходит уменьшение лесопокрываемых площадей, снижение участия широколиственных пород и увеличение роли мелколиственных (береза, осина).

Осина (тополь дрожащий) (*Populus tremula* L.) – светолюбивый вид, не требовательный к почвенным условиям; произрастает в районах с умеренным и холодным климатом Европы и Азии,

Осинники произрастают в большинстве районов Южного Приуралья, встречаясь в поймах рек, занимая высокую пойму и надпойменные террасы (разнотравные, разнотравно-крапивные осинники); в лесостепной зоне осина входит в состав полидоминантных лесных сообществ, также формируя на пологих склонах монодоминантные древостои (разнотравно-снытевые осинники и т. п.); в степной зоне осина формирует суходольные колки (разнотравные и кустарниковые осинники).

В ходе многолетних микологических исследований, проведенных в разных частях региона, был изучен видовой состав и экологические характеристики ксилотрофных базидиальных грибов, заселяющих древесину осины.

Анализ видовой принадлежности более 1100 образцов базидиом, позволил получить следующие результаты. На вегетирующих, сухостойных и валежных стволах, пнях и валежной древесине разных фракций отмечено 78 видов, относящихся к 49 родам и 23 семействам отдела Basidiomycota (система грибов, в соответствии с международной базой данных «Index Fungorum» (по состоянию на апрель 2025 г.).

Это составляет 25,7% от общего разнообразия ксилотрофных базидиомицетов, отмеченных в регионе [1]. Прогностическая оценка разнообразия данной формационной микобиоты в регионе – 100–110 видов [4]. Самые крупные рода – *Trametes* (7 видов), *Pleurotus* (4).

В лесостепной зоне на древесине осины отмечено 67 видов ксилотрофных грибов, а в степной – 37, что свидетельствует о сокращении интенсивности процессов микогенной деструкции в широтном градиенте в Южном Приуралье.

Большинство видов широко распространены в регионе на древесине широкого спектра родов лиственных деревьев; другие специфичны для мелколиственных лесов, встречаясь исключительно или преимущественно на древесине березы, осины, ольхи: *Daedaleopsis tricolor* (Bull.) Bondartsev & Singer, *Junghuhnia nitida* (Pers.) Ryvarden, *Pallidohirschioporus biformis* (Fr.) Y.C. Dai, Yuan Yuan

& Meng Zhou. Некоторые виды приурочены в регионе исключительно к древесине осины: *Botryobasidium isabellinum* (Fr.) D.P. Rogers (Fr.) J. Erikss., *Crustomyces expallens* (Bres.) Hjortstam, *Favolus pseudobetulinus* (Murashk. ex Pilát) Sotome & T. Hatt., *Inocutis rheades* (Pers.) Fiasson & Niemela, *Mutatoderma mutatum* (Peck) C.E. Gómez, *Panus conchatus* (Bull.) Fr., *Peniophorella guttulifera* (P. Karst.) K.H. Larss., *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & Borisov и др. В других регионах России и мира эти грибы встречаются и на древесине других родов древесных растений.

Подавляющее большинство видов являются сапротрофами; 7 видов можно отнести к биотрофам или некротрофам: *Abortiporus biennis* (Bull.) Singer, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quél., *P. tremulae*, *Phlebia radiata* Fr., *Pleurotus calyptratus* (Lindblad ex Fr.) Sacc.

Стволовые гнили осины широко распространены и вызываются ложным осиновым трутовиком и настоящим трутовиком. Относительная и абсолютная пораженность *Phellinus tremulae* снижается в широтном градиенте от лесостепи к осинникам южных (степных) районов, где большее распространение приобретает *Fomes fomentarius* [2]. В отношении всех изученных видов зараженность ими древостоев более широко варьирует в осинниках лесостепной зоны и в пойменных биотопах, то есть в условиях более высокого увлажнения.

В условиях лесостепи в зрелых осинниках отмечалась очень высокая скорость распространения гнили от осинового трутовика – 14,3–54,5 % зараженных деревьев в год [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что биота ксилотрофных базидиальных грибов осинников Южного Приуралья достаточно разнообразна, включает разнородные по экологическим характеристикам виды; разнообразие микокомплексов снижается при ухудшении лесорастительных условий. Наличие активных очагов стволовых гнилей определяет необходимость фитопатологического мониторинга насаждений осины в регионе.

Список литературы

1. Сафонов М.А. Список дереворазрушающих базидиальных грибов Оренбургского Приуралья (Россия). Вестник Оренбургского Государственного Педагогического Университета. – Электронный научный журнал (Online). ISSN 2303-9922. <http://www.vestospu.ru>, 2015. №2 (14). – С.11–28.

2. Сафонов М. А., Остапенко А. В. Влияние экологических факторов на распространение стволовых гнилей осины. Научная жизнь, №1, 2017. С.76-85
3. Сафонов М.А., Сафонова Т.И. Динамика стволовых гнилей в осинниках Южного Предуралья. Успехи современного естествознания. 2020. № 10. С.38-43.
4. Safonov M., Filippova A., Safonova T., Bulgakova M. Accounting Potential as a Key to Prediction of Regional Fungal

Biodiversity. In: Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. (eds) XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 575. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-21219-2_256

ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В ОЗЕЛЕНЕНИИ РАЗНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Серая Л.Г., Ларина Г.Е.

Всероссийский НИИ фитопатологии, Большие Вяземы

Введение. В озеленении городских территорий применяют древесные растения рода *Acer* L. Многие виды клена, в частности клен остролистный хорошо адаптируются к условиям городской среды, по сравнению с другими породами – липа или яблоня. Это связано с его высокой газо-пылепоглощательной способностью и устойчивостью к фитотоксичным компонентам воздушной среды [1]. Клен остролистный отличается большим разнообразием декоративных сортов, отличающихся особенностями роста, окраской листьев, высотой ствола, формой кроны. Изучение интенсивности поражения клена остролистного (*Acer platanoides* L.) разными болезнями, в т.ч. мучнистой росой (*Sawadaea tulasnei*) показало, что интенсивность поражения неоднородна и варьирует от 0,1 до 56,2%, а распространение болезни – от 18 до 100%. Экстремальные погодные условия (жара, высокая влажность) и место роста вблизи автодорог положительно влияют на рост грибных болезней [2]. Но общее мнение, заключается в том, что клен остролистный перспективный вид в городском озеленении и создании комфортной среды для человека. Информации о составе фитопатогенов в грибном комплексе зеленых насаждений из клена остролистного очень мало. Этот вопрос актуален и важен для подготовки рекомендаций по превентивной защите озелененных территорий с посадками клена.

Цель работы – изучение структуры грибного комплекса клена остролистного в озеленении территории Московской агломерации.

Методы и объекты. В период 2020-2024 гг. проводили рекогносцировочные обследования зеленых насаждений из клена остролистного на разных городских объектах – парки (зона рекреации), улицы и автомагистрали. Погодные условия 2020-2024 гг. отличались от среднесезонных данных (среднесезонная температура воздуха, °C / количество осадков, мм – за период апрель-сентябрь – 13,5/365): 2020 год – 14,3/622; 2021 год – 15,07/484; 2022 год – 14,7/342; 2023 год – 15,4/356; 2024 год – 16,9/374. Во все годы наблюдений фиксировали повышение температуры воздуха на 0,7-3,4 °C, сухие годы с дефицитом осадков были 2022 и 2023 гг., а влажные – 2020, 2021 и 2024 гг., по сравнению со среднесезонными данными. При проведении визуальной диагностики отбирали пробы элементов растений (побеги, листья, корни). Далее выделяли микромицеты традиционными методами микробиологии и фитопатологии (посев на твердые агаризованные среды, влажная камера) в лабораторных условиях на базе отдела патологии декоративных и садовых культур ВНИИ фитопатологии [3]. Номенклатура приведена в соответствии с *Index Fungorum* (<http://www.indexfungorum.org>). Оценивали частоту встречаемости (ЧВ, %) микромицетов в составе грибного комплекса. Обработку данных (среднее – $\bar{X}$, стандартное отклонение – ST, стандартная ошибка – SE,

коэффициент вариации – K_v , %, коэффициент корреляции – r) проводили с помощью программных средств MS Excel (2013) при 95%-ом уровне вероятности (P_α).

Результаты и обсуждение. Выделяют наиболее опасные для клена фитопатогенные грибы, влияющие на потерю декоративности и функциональности растений: *Sawadaia bicornis*, *S. tulasnei*; *Phyllosticta platanoides*, *P. negundinis*; *Rhytisma acerinum*; *Taphrina polyspora*; *Verticillium dahlia*; *Cryptostroma corticale* и др. [4].

Данные микологического анализа набора проб показали различия в составе грибного комплекса и доминирующих микромицетах (табл. 1).

На побегах и листьях клена остролистного в 2021, 2022 и 2024 гг. определены термофильные, быстрорастущие аскомицеты рода *Sordaria*, которые хорошо растут на различных органах растений, на искусственных субстратах и активно заселяют ослабленное растение, часто появляются после ожогов кроны. Экологическая роль данных грибов состоит в том, что, заселяя поврежденные листья и кору (растение ослаблено) подготавливают эти участки для заселения другими группами микроорганизмов, в т.ч. фитопатогенными, а также мхами и лишайниками. В этих образцах определены разнообразные представители плесневых грибов из рода *Acremonium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, что сигнализируют об ухудшении фитопатогенной ситуации в данной локации. В 2022 г. в рекреационной зоне на побегах клена остролистного идентифицирован комплекс фитопатогенов из рода *Cytospora* (цитоспороз), *Alternaria* (альтернариоз) и аскомицеты из рода *Sordaria*. Идентифицирован микромицет рода *Phaemoniella*, способный проникать в древесину, разрушать ее, что увеличивает риск падения или слома ствола дерева. На побегах клена в 2022 г. в условиях интенсивной антропогенной нагрузки идентифицирован фитопатоген из рода *Colletotrichum* – возбудитель антракноза или болезнь черных пятен у широкого круга культурных и декоративных растений. В пробах клена остролистного 2024 г. в посадках вдоль дорог и автомагистралей выделен гриб *Humicola* sp., который является облигатным сапротрофом и питается только мертвыми растительными остатками, но не способен развиваться на живых растениях.

Сравнительный анализ данных показал более высокое биоразнообразие фитопатогенов (n) на улицах и магистралях (в 1,5-2 раза выше), по сравнению с рекреационной зоной. Значения распространения возбудителей грибных болезней различались по годам, но были схожими на улицах и парках (таблица 2).

Данные математического анализа по влиянию разных факторов на структуру грибного комплекса клена остролистного показали, что погодные условия года наблюдений, в частности, сумма осадков, положительно влияли на частоту встречаемости фитопатогенов ($r = 0,85$, $F = 74.44 > F_{крит} = 2,60$, $P < 0.001$) и получена обратная

зависимость для величины распространения инфекционных болезней (коэффициент корреляции – r равен – 0,79, F=69.48 >F_{крит} =2,60, P<0.01). Прочие факторы – место произрастания клена остролистного, температура воздуха были не значимы.

Таблица 1. Состав комплекса микроорганизмов в зеленых насаждениях из клена остролистного в условиях города.

Год наблюдений	Местоположение (место отбора)	Корни, ризосфера	Побеги, листья, филлосфера
2020	улицы, автомагистрали	<i>Clonostachys</i> sp.	
		<i>Mucor</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Fusarium</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp.
		<i>Rhizopus</i> sp.	<i>Ramularia</i> sp.
	парки, скверы	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Monilia</i> sp.
2021	улицы, автомагистрали		<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Acremonium</i> sp.	<i>Aureobasidium</i> sp.
		<i>Clonostachys</i> sp.	<i>Fusarium graminearum</i>
		<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
		<i>Fusarium</i> sp.	<i>Fusarium solani</i>
		<i>Penicillium</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.
		<i>Talaromyces</i> sp.	<i>Phoma</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Sordaria</i> sp.
			<i>Ulocladium</i> sp.
	парки, скверы	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Alternaria</i> sp.	<i>Diplodia atrata</i>
		<i>Trichosponella</i> sp.	<i>Phoma</i> sp.
			<i>Tubercularia</i> sp.
2022	улицы, автомагистрали		<i>Acremonium</i> sp.
		<i>Acremonium</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Alternaria</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.
		<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Aureobasidium</i> sp.
		<i>Aspergillus niger</i>	<i>Clonostachys</i> sp.
		<i>Clonostachys</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.
		<i>Fusarium acuminatum</i>	<i>Cytospora</i> sp.
		<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium</i> sp.
		<i>Fusarium</i> sp.	<i>Nectria</i> sp.
		<i>Mucor</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.
		<i>Penicillium</i> sp.	<i>Phaemoniella like</i>
		<i>Plectosporium</i> sp.	<i>Phoma</i> sp.
		<i>Talaromyces</i> sp.	<i>Pythium</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Rhytisma acerinum</i>
			<i>Sordaria</i> sp.
			<i>Talaromyces</i> sp.
			<i>Trichoderma</i> sp.
	парки, скверы	нд	нд

Таблица 1 (продолжение). Состав комплекса микроорганизмов в зеленых насаждениях из клена остролистного в условиях города.

Год наблюдений	Местоположение (место отбора)	Корни, ризосфера	Побеги, листья, филлосфера
2023	улицы, автомагистрали	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Penicillium</i> sp. <i>Mucor</i> sp.	<i>Acremonium</i> sp. <i>Alternaria</i> sp.
	парки, скверы	нд	нд
2024	улицы, автомагистрали		<i>Alternaria solani</i>
		<i>Alternaria</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Clonostachys rosea</i>	<i>Arthrobotrys</i> sp.
		<i>Fusarium solani</i>	<i>Chaetomium</i> sp.
		<i>Humicola</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp.
		<i>Mucor</i> sp.	<i>Clonostachys rosea</i>
		<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Humicola</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Sordaria</i> sp.
	парки, скверы		<i>Trichoderma harzianum</i>
		<i>Aspergillus niger</i>	<i>Alternaria</i> sp.
		<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.
		<i>Clonostachys rosea</i>	<i>Aureobasidium</i> sp.

Закключение. Итак, структура грибного комплекса зеленых насаждений из клена остролистного на территории Московской агломерации отличается разнообразием фитопатогенов (представители рода *Fusarium*, *Phoma*, *Pythium* и др.). Не отмечено различий в частоте встречаемости и распространении болезней с учетом места произрастания клена остролистного (улицы, автомагистрали, парки, скверы), но существенно влияние увлажнения территории (ежегодное количество осадков в течение вегетационного периода).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FGGU-2025-0007).

Таблица 2. Распространение грибных болезней в зеленых насаждениях из клена остролистного.

Местоположение (место отбора)	Параметр	2020	2021	2022	2023	2024
улицы, автомагистрали	n	4	10	47	23	24
	X ± SE	45,0±0,24	30,1±0,24	35,74±0,37	40,86±0,41	62,22±0,49
	ST	16,5	18,43	24,73	19,98	28,97
	Kv	36,67	61,23	69,19	48,90	46,56
парки, скверы	n	4	5	нд	нд	18
	X	50,3±0,48	36,2±0,33	---	---	40,4±0,42
	ST	33,16	23,32	---	---	24,68
	Kv	65,92	64,42	---	---	61,09

Примечание: n – биоразнообразие, количество записей; X – распространение болезней

Список литературы

1. Решетников В.Ф., Сторожишина К.М. Влияние клена остролистного на рост дуба черешчатого в смешанных насаждениях искусственного и естественного происхождения // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. №2 (210). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-klena-ostrolistnogo-na-rost-duba-chereshchatogo-v-smeshannyh-nasazhdeniyah-iskustvennogo-i-estestvennogo-proishozhdeniya> (дата обращения: 16.03.2025).

2. Карелина Е.Д., Благовещенская Е.Ю. Изучение интенсивности поражения клена остролистного мучнистой росой // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-intensivnosti-porazheniya-klena-ostrolistnogo-muchnistoy-rosy> (дата обращения: 16.03.2025).

3. Красноженов Е.П. Руководство к практическим занятиям по медицинской микробиологии. – Томск: СибГМУ, 2003. – 260с.

4. Гниненко Ю.И. и соавт. Обнаружение *Cryptostroma corticale* – возбудителя сажистой болезни коры клена в России // Российский журнал биологических инвазий. № 4. 2023. С.34-39.

МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННОЙ МИКОБИОТЫ В СВЕКЛОВИЧНЫХ АГРОЦЕНОЗАХ РЕГИОНОВ РФ

Шамин А.А., Стогниенко О.И.
ВНИИ сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, п. ВНИИС

Микробиологический мониторинг один из важных инструментов по оценке окружающей среды. Анализ сообществ почвенных грибов в естественных и антропогенно измененных экосистемах (сельскохозяйственных) важен для поиска принципов землепользования, прогноза последствий обеднения почв и оценки степени их восстановления [1;2]. В агроценозах микробиологические процессы интенсифицируются, убыстряя круговорот биогенных элементов. В свою очередь интенсификация процессов, осуществляемых почвенными микроорганизмами, может при создании соответствующих условий приводить к положительным или отрицательным результатам [3]. Целью мониторинга фитосанитарного состояния почв свекловичных агроценозов является выявление наиболее вредоносных фитопатогенных объектов, изучение особенностей их биологии, динамики развития, характера взаимодействия друг с другом и растением-хозяином и определения стратегии оптимизации фитосанитарного состояния посевов [4].

В результате мониторинга почв шести регионов РФ (Воронеж, Липецк, Краснодар, Мордовия, Татарстан, Башкортостан) нами определен видовой состав (ВС), относительное обилие вида (ОВ), частота встречаемости (ЧВ) и численность (Ч) в тыс. КОЕ / КОЕ / 1 г абс. сух. почвы.

Для сравнения, наряду со свекловичными агроценозами, обследованы почвы целинных земель. Суммарная численность почвенных грибов на целинных землях в 1,4–2 раза выше, чем в почвах свекловичного агроценоза каждого из обследованных регионов. Так, на целине Липецкой области, он составил 280 тыс. КОЕ / 1 г абс.

сух. почвы. При этом разнообразие видов и родов почвенных грибов на целинных землях не было наибольшим. В почве Липецкой области выявлено – 29 видов Воронежская область – 16 видов. Для сравнения в почвах агроценозов Татарстана выявлено 39 видов. Видовой состав целинных земель обеих изученных областей Черноземья на 70 – 75 % состоял из представителей двух родов *Aspergillus sp.* (ОВ=36-44 %) и *Penicillium sp.* (ОВ=30 – 34 %). ЧВ рода *Aspergillus* была 100%-ной. При этом, такие важные для описания фитосанитарного состояния почв и возникновения в дальнейшем гнилей корнеплодов и болезней листового аппарата виды, как *Rhizopus stolonifer* и *Alternaria alternata* не были выявлены в пробах целинных земель.

Мониторинг почв непосредственно свекловичных полей по регионам РФ показал, что общая численность почвенных грибов в образцах из основных зон свеклосеяния (в наших исследованиях – Липецк и Краснодар) выше на 4–40 %. При «условном движении» от ЦЧР на восток до Татарстана наблюдалась не очень выраженная тенденция увеличения суммарной численности грибов, второй по величине суммарной численностью микобиоты, при наименьшем количестве видов.

В рамках исследований наиболее интересными для оценки фитосанитарного состояния почв являются грибы рода: *Rhizopus*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*.

Численность вида *Rhizopus stolonifer* не превышала 10 тыс. КОЕ/ 1 г, а ОВ – 5 %, при этом 60 % достигала ЧВ. Общий анализ почвенных грибов обследованных регионов, на данном этапе исследований позволяет его отнести к группе доминирующих (ЧВ > 60 %).

Большим разнообразием в почвенных комплексах грибов свекловичных агроценозов были представлены аспергиллами. Обилие *Aspergillus* sp. связано со способностью переносить и засушливые и влажные условия среды. Их количество составило 1/6 часть от общего числа выявленных видов. Доля достигала 35 % от общей численности и изменялась в пределах 21–40 тыс. КОЕ / 1 г. Виды *Aspergillus candidus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* отнесены к группе частых видов (30 – 60 %).

Вид *Alternaria alternata* отсутствовал в пробах целинных земель, но обнаружен в образцах изученных регионов за исключением Краснодара. Его ЧВ изменялась в пределах 13 – 33 %, что говорит о принадлежности данного вида к группе редких, но типичных для почвенного комплекса свекловичного агроценоза.

Доля наиболее типичных почвенных грибов *Penicillium* sp. в общей структуре микобиоты составляла не менее 25–30 % (исключение Краснодарский край – 10 %). Вид *Penicillium ciclopium*, второй из двух доминирующих видов почвенного комплекса изученных свекловичных агроценозов. Общая численность *Penicillium* sp. достигала наибольших показателей на целине 94 тыс. КОЕ / 1 г почвы, а доля от общего числа микомицетов в почвах свекловичных полей доходила до 42 % (Мордовия).

Численность *Fusarium* sp. была стабильно высока во всех обследованных образцах почв свекловичных полей из регионов РФ, с наибольшим значением в Липецкой области (41 тыс. КОЕ / 1 г). Показатели численности с целинных земель не превышали 13 тыс. КОЕ / 1 г абс. сух почвы. Такое трех-, четырехкратное увеличение численности *Fusarium* sp. на свекловичных полях по сравнению с целиной, косвенно служит подтверждением наличия благоприятных условий в агроценозе для их накопления в почве. Представители рода *Fusarium* отличались большим видовым разнообразием (выявлено 9 видов), и разные его представители преобладали в разных регионах, однако наиболее частыми и типичными видами выступали *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Fusarium gibbosum*. Объединив количественные показатели *F. oxysporum* и его подвида *F. oxysporum* v. *ortoceras*, этот вид можно отнести к доминирующим представителям свекловичных агроценозов.

Проведенный мониторинг свекловичных полей по пяти регионам РФ позволил сформировать общий комплекс типичных видов почвенных грибов (таблица 1).

Отдельного упоминания заслуживают почвы Краснодарского края, в которых было выявлено наименьшее число видов (10 позиций) на фоне высокой общей численности (Ч – 176 тыс. КОЕ/ 1 г). Грибы *Aphanomyces cochlioides* и *Pythium ultimum* составляли половину от общего количества обнаруженных. Эти виды были доминирующими в Краснодаре, при полном отсутствии в других обследованных регионах. Так, ЧВ *Aphanomyces cochlioides* в Краснодарской почве составила 100%, а Ч – 30 тыс. КОЕ / 1 г, что соответствует 17% от общей численности.

По результатам обследований установлено, что:

- Суммарная численность грибов свекловичных агроценозов в климатических условия 2024 года изменялась в пределах 139 – 201 тыс. КОЕ / 1 г абсолютно сухой почвы.
- Наибольшими по количеству видов и численности, в свекловичных агроценозах, являются группы грибов *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp.
- Доминирующими видами по всем исследованным образцам почв свекловичных полей являются *Rhizopus stolonifer* и *Penicillium ciclopium*.

- В почвах целинных земель численность микобиоты (до 280 тыс. КОЕ/ 1 г) в 1,4 раза выше по сравнению с почвами свекловичных ценозов.

Таблица 1. Почвенный комплекс микобиоты свекловичных агроценозов РФ.

Доминирующие > 60 %	Частые 30-60 %	Редкие 10-30 %	Случайные < 10 %
<i>Rhizopus stolonifer</i>	<i>Aspergillus candidus</i>	<i>Acremonium</i> ssp.	<i>Absidia</i> ssp.
<i>Penicillium ciclopium</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aphanomyces cochlioides</i>	<i>Mucor</i> ssp.
	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>
	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>
	<i>Fusarium solani</i>	<i>Aspergillus alliaceus</i>	<i>Fusarium graminearum</i>
	<i>Fusarium gibbosum</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Fusarium venenatum</i>
	<i>Penicillium purpurogenum</i>	<i>Aspergillus implicatus</i>	<i>Gliocladium</i> ssp.
	<i>Trichoderma viride</i>	<i>Cladosporium herbarum</i>	<i>Mortierella</i> ssp.
		<i>Humicola parvispora</i>	<i>Mortierella ramanniana</i>
		<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Penicillium</i> sp.
		<i>Fusarium oxy. v. ortoceras</i>	<i>Penicillium digitatum</i>
		<i>Fusarium avenaceum</i>	<i>Penicillium chrysogenum</i>
		<i>Fusarium poae</i>	<i>Penicillium polonicum</i>
		<i>Penicillium aurantocandidum</i>	<i>Penicillium commune</i>
		<i>Penicillium brevicompactum</i>	<i>Penicillium roqueforti</i>
		<i>Penicillium citrinum</i>	<i>Verticillium albo-atrum</i>
		<i>Penicillium expansum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
		<i>Penicillium notatum</i>	Прочие грибы
		<i>Penicillium rubrum</i>	
		<i>Penicillium frequentans</i>	
		<i>Penicillium funiculosum</i>	
		<i>Penicillium Thoma</i>	
		<i>Penicillium lilacinum</i>	
		<i>Trichoderma alba</i>	
		<i>Pythium ultimum</i>	

Список литературы

1. Терехова В. А. Микромикеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. – Москва : Наука, 2007 – 214 с.

2. Марфенина О. Е. Микологический мониторинг почв: возможности и перспективы. Почвоведение. – 1994 – № 1 – С. 75–80.

3. Колесникова И.Я., Воронин Л. В. Мониторинг микобиоты почв агроценозов ярославской области при разных способах обработки и внесения удобрений. Вестник АПК Верхневолжья. – 2021 – 3 (55) – С.18–23.

4. Матвиенко Е.В. Влияние сорта и метеоусловий года на зараженность семян сорго грибами рода *Fusarium* и *Alternaria* в лесостепи Самарской области. Современная микология в России. 2015; 5: 89–90.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КУЛЬТУРАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ИЗОЛЯТОВ *CLAVICEPS PURPUREA* (FR.) TUL И ИХ ПАТОГЕННОСТЬ

Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К.
ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров

Роль гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul в жизни человека многогранна. В настоящее время этот гриб, с одной стороны, уникальная модель для изучения взаимодействия паразит-хозяин и как важный источник разнообразных биологически активных соединений [1], с другой – патоген, причиняющий существенный экономический ущерб зерновым культурам вследствие заболевания «спорынья» [2, 3], кормовой и животноводческой отрасли по всему миру. В то время как медицинские и биотехнологические исследования сосредоточены на положительных эффектах алкалоидов, других вторичных метаболитов *C. purpurea* и особенностях их получения [4], в растениеводстве, животноводстве и пищевой промышленности опасность эргоалкалоидов остается острой общемировой проблемой [5]. Это связано с тем, что эргоалкалоиды, локализованные в склероциях гриба *C. purpurea*, токсичны для человека и животных при их наличии в зараженном зерне и кормах [6, 7]. Серьезность данной проблемы усиливается тем, что в нестабильных условиях окружающей среды у рода *Claviceps* изменяются профили и интенсивность продукции алкалоидов [8]. Поэтому содержание склероциев в продовольственном и фуражном зерне во всем мире строго регламентируется, а в оригинальных семенах они не допускаются [9, 10].

Из ингредиентов гриба *C. purpurea* получено более тысячи соединений, и вряд ли найдется другой источник натуральных продуктов, имеющий большую ценность для фармацевтической отрасли [11]. В современной медицине на основе природных эргоалкалоидов и их полусинтетических аналогов создано более 100 лекарственных препаратов, которые находят широкое применение в качестве лекарственных препаратов, в т. ч. в области акушерства и гинекологии, для лечения ряда неврологических заболеваний, деменции, гипертонических заболеваний [12]. Последние научные работы [13, 14] демонстрируют значительный потенциал эргоалкалоидов также в разработке новых антибактериальных препаратов.

Материал и методы. В ФБГНУ ФАНЦ Северо-Востока в фитопатологических целях изучены культурально-морфологические и биологические свойства 30 изолятов конидий *C. purpurea*, выделенных из склероций, сформированных на растениях озимой ржи и яровой пшеницы. Получение чистой культуры гриба осуществляли методом закладки фрагментов склероциев на твердую питательную среду (картофельно-глюкозный агар) в чашках Петри. Предварительно их помещали под струю водопроводной воды, затем обеззараживали в 0,5 % растворе KMnO_4 (экспозиция 20 мин), промывали стерильной водой и закладывали по 10 фрагментов в чашки Петри. Через 5-7 дней появившийся вокруг фрагмента склероция мицелий пересекали на ту же среду. Культивирование проводили в течение 30 дней при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$. В активном состоянии культуру *C. purpurea* поддерживали методом периодических пересевов

(3-4 раза в год). Идентификацию гриба осуществляли прямым микроскопированием (микроскоп Биомед 1600 x) и по совокупности культурально-морфологических признаков изолятов [15].

Результаты и их обсуждение. Выявлен значительный полиморфизм изолятов *C. purpurea* по цвету колоний, топографии воздушного и субстратного мицелия, спорулирующей способности, форме конидий. По совокупности диагностических признаков они были условно разделены на три группы. К первой с частотой около 25 % отнесены изоляты с однородным белым мицелием, небольшой морщинистостью поверхности среды и двумя зонами: большой в центре, состоящей из белого мицелия, расположенного на морщинистой поверхности среды, и зоне по периферии с бежево-белым мицелием на ровной поверхности. Изоляты второй группы (25 %) также имели две зоны: неровную краевую, на которой тонким слоем распределялся розовато-бежевый или белый пушисто-рыхлый воздушный мицелий с несколько приподнятой центральной частью; субстратный мицелий приобретал со временем лиловый оттенок. Конидии в обеих группах имели продолговатую форму с закругленными концами. В культуре *C. purpurea* доминировали изоляты (50 %) с хорошо развитой колонией округлой формы и ровными краями, ярко выраженным возвышающимся центром и радиальными тяжами, расходящимися к периферии чашки Петри. Поверхность таких колоний плотной, войлочная, цвет субстратного мицелия бежевый или розоватый, но в центральной части он со временем приобретал фиолетовый оттенок (рисунок). Конидии бесцветные, преимущественно, овальной формы.



Рисунок 1. Типичные представители изолятов гриба *C. purpurea*.

В процессе инокуляции цветков озимой ржи суспензией конидий доказано, что третий тип изолята является и более патогенным, о чем свидетельствует увеличенное количество сформировавшихся склероциев в колосе, чем при инокуляции другими штаммами. Можно предположить, что совокупность диагностических признаков изолята может служить неким биомаркером физиологических свойств, в частности, определенного уровня агрессивности патотипа. Несмотря на то, что гриб *C. purpurea* по отношению к растению-хозяину не видоспецифичен, обнаружено также, что ржаные изоляты его более патогенны, чем пшеничные, поскольку при перекрестной инокуляции ржаные штаммы вызывали заражение колоса как у ржи, так и у пшеницы. Таким

образом, выявленные биологические особенности полиморфного фитопатогенного гриба *C. purpurea* следует учитывать в иммунологических исследованиях при оценке устойчивости растительных генотипов к спорынье и анализе токсичности разных штаммов.

Заключение. Культура гриба *C. purpurea* далеко неоднородна по морфологическим признакам, физиологическим и, вероятно, биохимическим свойствам, что следует учитывать при практическом и научном использовании его штаммов.

Список литературы

1. Doi Y. Production of ergot alkaloids by the Japanese isolate *Claviceps purpurea* var. *agropyri* on rice medium. *Advances in Microbiology*. – 2022. – No. 12 (4). – P. 254-269. DOI: 10.4236/aim.2022.124019.
2. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Желифонова В.П. и др. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области. *Микология и фитопатология*. 2019. – № 53 (3). – С. 177-182. DOI: 10.1134/S0026364819030127.
3. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Вредоносность спорыньи на новых сортах озимой ржи в Кировской области. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2018. Т. 4. № 2. С. 83-89. DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-2-83-89.
4. Qiao Y. M., Wen Y. H., Gong T. et al. Improving ergometrine production by easo and easp knockout in *Claviceps paspali*. *Fermentation*. – 2022. – No. 8 (6). – P. 263. DOI: 10.3390/fermentation8060263.
5. Rahimabadi P. D., Yourdkhani S., Rajabi M. et al. Ergotism in feedlot cattle: clinical, hematological, and pathological findings. *Comparative Clinical Pathology*. – 2022. – No. 31 (2). – P. 281-291. DOI: 0.1007/s00580-022-03331-7.

6. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Антипова Т. В. и др. Поиск генотипов ржи и пшеницы, устойчивых к *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и не накапливающих эргоалкалоиды в склероциях гриба. *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. С. 549-558. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.549rus.
7. Lünne F., Köhler J., Stroh C. et al. Insights into ergochromes of the plant pathogen *Claviceps purpurea*. *Journal of Natural Products*. – 2021. – No. 84 (10). – P. 2630-2643. DOI: 10.1021/acs.jnatprod.1c00264.
8. Van der Hoek S. A., Rusnák M., Jacobsen I. H. et al. Engineering ergothioneine production in *Yarrowia lipolytica*. *FEBS Letters*. – 2022b. – No. 596 (10). – P. 1356-1364. DOI: 10.1002/1873-3468.14239.
9. Гончаренко А. А. Современное состояние производства, методы и перспективные направления селекции озимой ржи в РФ. Материалы Всер. научн.-практ. конференции «Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка». Уфа. 2009. С. 40–76.
10. Miedaner T., Geiger H. H. Biology, Genetics and Management of Ergot (*Claviceps* spp.) in Rye, Sorghum and Pearl Mille. *Toxins*. – 2015. – No. 7 (3). – P. 659-778.
11. Шаин С. С. Возделывание спорыньи на ржи. Лекарственное растениеводство. Обзорная информация. – Москва: ЦБНТИмедпром, 1987. – Вып. 4. – 50 с.
12. Smakosz A., Kurzyńska W., Rudko M., Daśal M. The usage of ergot (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) in obstetrics and gynecology: a historical perspective. *Toxins*. – 2021. – No. 13 (7). P. 492. DOI: 10.3390/toxins13070492.
13. Евстратова К. Д. Ретроспектива исследований алкалоидов спорыньи. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 23-27. <http://dx.doi.org/10.26787/nyd-ha-2686-6838-2022-24-4-23-27>.
14. Johnson J. W., Ellis M. J., Piquette Z. A. et al. Magolan antibiotic discovery. – ACS Medicinal Chemistry Letters. – 2022. – No. 13 (2). – P. 284-291. DOI: 10.1021/acsmchemlett.1c00648.
15. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Селекция озимой ржи на устойчивость к спорынье: Методическое пособие. Киров: ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2018. – 27 с.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И МИКОТОКСИГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКОФЛОРЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Шевелева С.А., Седова И.Б., Маркова Ю.М., Чалый З.А., Полянина А.С.,
 Стеценко В.В., Быкова И.Б., Минаева Л.П., Ефимочкина Н.Р.
 ФИЦ питания и биотехнологии, Москва

Введение. Данные о микофлоре незерновых растительных продуктов, таких как ягоды, плоды и овощи, и представленности в ней токсигенных плесеней до сих пор ограничены. Это не позволяет судить о способности присущих таким продуктам микромицетов накапливать определенные микотоксины (МТ), в том числе эмерджентные (ЭМТ), прогнозировать риски их поступления с рационами, и, соответственно, обуславливает важность одновременного изучения профиля МТ/ЭМТ и их потенциальных продуцентов в плодовоовощной продукции.

Материалы и методы. Изучена частота обнаружения, численность и таксономическая принадлежность микромицетов в свежих плодах, ягодах, овощных культурах урожая 2021-22 гг., выращенных в Тамбовской области (землянике, малине, смородине, крыжовнике, сливах, терне, кизиле, голубике, чернике, яблоках, грушах, томатах, перце сладком, огурцах, всего в 153 образцах). Выявление и подсчет проводились культуральным методом в смывах с поверхности цельных, зрелых, не загрязненных земель, но не подвергавшихся мытью образцах; идентификация рода/вида грибов – морфологическим методом. Те же показатели изучены в 32 образцах переработанной продукции из слив, смородины красной и черной, земляники), в том числе подвергнутой шоковой заморозке при минус 45 °С, конвекционной сушке при 50 °С и ультразвуковой обработке (УЗ). Скрининговый анализ МТ в свежих и переработанных

ягодах, фруктах и овощах выполняли методом ВЭЖХ-МС/МС для мультидетекции спектра МТ/ЭМТ [1].

Результаты. Установлено, что плесневые грибы присутствовали на поверхности большинства визуально доброкачественных плодов, ягод и овощей. Наибольшие уровни контаминации были выявлены в красной и черной смородине, землянике, малине, яблоках и огурцах. Средние величины их содержания находились в диапазоне 10^3 – 10^4 КОЕ/г смыва.

Спектр плесеней в данной продукции был разнообразным и включал от 2 до 10 таксонов, идентифицированных на уровне порядка/секции и/или рода. Практически во всех свежих ягодах и плодах доминировали грибы *Alternaria* и *Aspergillus*, в состав которых входят продуценты МТ и ЭМТ. Наибольшей была частота выявления *Alternaria* sp. – она колебалась в диапазоне от 50-54% (земляника, малина) до 85-100% (смородина, крыжовник). *Aspergillus* sp. высевались в 20-60% смывов с ягод и в 20-30% с фруктов (яблок, груш, слив). *Alternaria* sp. также обнаруживали в томатах, огурцах и перце с частотой 17–50%. Потенциально токсигенные грибы родов *Penicillium* и *Fusarium* находили реже – в ягодах с частотой 22,5-38,5% и 12,5-31%; фруктах – 40% и 17,6%, овощах – 17% и 27-50%, соответственно. В 8% проб крыжовника найдены *Talaromyces* sp.

В 64% смывов со всех образцов выявлялись представители нетоксигенных грибов порядка *Mucorales*, относящихся к возбудителям порчи. Их спектр дополняли

грибы родов *Botrytis*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Ulocladium*, *Nigrosporum*, *Epicoccum*, *Phoma*, *Byssosclamyces*, в том числе характерные для этих растений фитопатогены (*Botrytis cinerea* – возбудитель «серой плесени», *Mucor* sp. – «серой гнили», *Rhizopus nigricans* Ehrenb – «черной гнили»). Были обнаружены и отдельные штаммы фитопатогенов, способных к образованию МТ – *F.oxisporum*, *F.sambucinum* – возбудители фузариоза, *A. alternata* & *tenuissima* – агенты альтернариоза.

Уровни контаминации плесенями подвергнутых сушке и заморозке ягод и плодов были ниже на 1-2 lg-порядка, чем свежих. Это свидетельствовало о той или иной степени микробиостатического действия, но не о полной инактивации флоры. Микробиологическая чистота продукции при таких способах переработки главным образом обеспечивалась качеством исходного сырья. Эффективность технологии УЗ-кавитации для обработки сырья при изготовлении соков и пюре была значительно более высокой, по крайней мере, во всех образцах концентратов из обработанных УЗ замороженных ягод отсутствовал рост как плесеней, так и бактерий.

Микологические данные были сопоставлены с данными скрининга МТ/ЭМТ (на уровнях выше предела обнаружения) в одних и тех же образцах плодоовощной продукции: спектр и частота обнаружения микотоксигенных грибов совмещен со спектром и частотой выявленных МТ в целом (табл.1). Здесь же приведены справочно данные литературы о таксономической принадлежности потенциальных продуцентов МТ. Как видно, в большинстве случаев присутствие МТ/ЭМТ или их комбинаций совпадало с присутствием выявленных в пробах жизнеспособных форм возможных продуцентов (*Alternaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*). Но для значительной доли образцов такого совпадения не выявлялось. Так, в половине проб клубники были обнаружены опасные фузариотоксины ниваленол (NIV), Т-2 и НТ-2, дезоксиниваленол (DON), фумонизин B₁ (FB₁), а их продуценты – *Fusarium* sp. только в 15%; патулин (PAT) был обнаружен в 35% проб, а его возможные продуценты *Penicillium* sp. только в 20%. В смородине черной DON был обнаружен в 7 пробах, а *Fusarium* sp. – в 2-х.

Также несмотря на превалирование в микофлоре плодов и ягод грибов *Alternaria* sp., образованные ими МТ не являлись основными в спектре обнаруженных загрязнителей этого рода. Наиболее активно проявляли себя как продуценты *Fusarium* sp., токсины которых выявлялись во всех случаях присутствия грибов этого рода в образцах (кроме яблок), в том числе тогда, когда они не высевались на средах. Последнее могло быть связано с отмиранием продуцентов до созревания плодов или с проникновением МТ из корневой системы во время вегетации.

Наличие МТ в переработанных ягодах и фруктах зависело от способа воздействия и вида исходного сырья. Показана высокая эффективность замораживания фруктов (сливы), в образцах которых никакие МТ не были выявлены, но более низкая – сушки ягод – в 7 из 8 образцов (87,5%) смородины черной сушеной были обнаружены фузариотоксины (FB₁, фумонизин B₂ (FB₂), NIV, DON) и альтернариатоксин тентоксин (TEN), а в 2-х образцах (25%) – цитринин (CIT) и PAT, продуцентами которых обычно являются пенициллы.

Изучение частоты обнаружения и уровней загрязнения МТ овощей показало, что основными контаминантами томатов являются альтернариатоксины: в 29%

плодов без видимой порчи были обнаружены TEN, теназоновая кислота (TNZ) и альтернариол (АОН).

Выводы. Спектр вегетирующих на поверхности ягод, плодов и овощей из черноземного региона России плесеней включал от 2 до 6 потенциально микотоксигенных видов, среди которых доминировали *Alternaria* и *Aspergillus* sp.

Среди обнаруженных МТ в землянике, крыжовнике, смородине и малине превалировали фузариотоксины, а также токсины *Penicillium* и *Aspergillus* sp. В плодах и овощах МТ встречались реже и преимущественно относились к токсинам альтернарий.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №18-16-00077-П «Эмерджентные микотоксины в пищевых продуктах растительного происхождения: разработка методов анализа, изучение контаминации, видовая характеристика микромицетов-продуцентов, разработка гигиенических нормативов». <https://rscf.ru/project/18-16-00077>.

Список литературы

1. Чалый З.А., Седова И.Б., Соколов И.Е. Анализ загрязненности микотоксинами свежих ягод и плодов. //Тезисы докладов IV Съезда аналитиков России. ISBN 978-5-905049-27-9. – Москва, ОНТИ ГЕОХИ РАН, 2022 г. – с.302.
2. Ефимочкина Н.Р., Седова И.Б., Шевелева С.А., Тутельян В.А. Токсигенные свойства микроскопических грибов//Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 45. С. 6–33. <https://doi.org/10.17223/19988591/45/1>

Таблица 1. Характеристика плесневой контаминации ягод, плодов, овощей в сопоставлении с обнаруженными в них МТ/ЭМТ и видами их потенциальных продуцентов.

Вид продукта	Плесени потенциально микотоксигенных видов			МТ/ЭМТ			Таксоны – потенциальные продуценты [2].
	Таксон	Частота обнаружения		МТ /ЭМТ или их комбинации (паттерны)	Частота обнаружения		
		абс	%%		абс	%%	
1	2	3	4	5	6	7	8
Земляника, n=40	Alternaria spp.	21	52,5	AME, ALT, AOH	3	7,5	Alternaria sp.
				TEN, AME, AOH	9	22,5	
	Aspergillus spp.	19	47,5	AFL B2	1	2,5	Aspergillus sp.
				AFL B1, B2, G1, G2	12	30	
	Penicillium spp.	8	20	PAT, MPA	12	30	Penicillium sp.
				PAT	14	35	
	Fusarium spp.	6	15	OTA	2	5	Aspergillus / Penicillium sp.
				FB ₁ , FB ₂ , DON, T-2, HT-2, ZEA, β-ZEL, BEA, ENN	20	50	
NIV, T-2, HT-2, DON, FB1	10	25	Fusarium sp.				
Малина n=13	Alternaria sp.	7	54	TEN, AOH, ALT, TNZ	6	46	Alternaria sp.
	Aspergillus sp.	3	23	PAT	2	15	Penicillium sp.
	Fusarium sp.	1	8	NIV, HT-2	1	8	Fusarium sp.
Крыжовник n=13	Alternaria sp.	11	84,6	TEN, TNZ	5	38,5	Alternaria sp.
	Fusarium sp.	4	30,8	AOH	1	7,7	
	Penicillium sp.	4	30,8	DON, FB ₂ , HT-2	3	23	Fusarium sp.
	Aspergillus sp.	3	23,0	DON	3	23	
	Talaromyces sp.	1	7,7	MPA	1	7,7	Penicillium sp.
Смородина черная n=14	Alternaria sp.	12	85,7	TEN, TNZ	5	35,7	Alternaria sp.
	Penicillium sp.	10	71,4	AOH, TEN, TNZ	3	21,4	
				CIT	1	7,1	Penicillium sp.
	Fusarium sp.	4	28,6	DON, ZEA	7	50	Fusarium sp.
	Aspergillus sp.	5	35,7	DON	7	50	
	He выявлено	0	0	Aspergillus sp.			
Смородина черная сушеная n=8	Alternaria sp.	7	87,5	TEN	7	87,5	Alternaria sp.
	Penicillium sp.	1	12,5	CIT, PAT	2	25	Penicillium sp.
	Aspergillus sp.	1	12,5	He выявлено	0	0	Aspergillus sp.
	Fusarium sp.	0	0	FB ₁ , FB ₂ , NIV, DON	7	87,5	Fusarium sp.
Смородина красная n=13	Alternaria sp.	9	69,2	TNZ, AOH	1	7,7	Alternaria sp.
	Penicillium sp.	4	30,8	He выявлено	0	0	Penicillium sp.
	Fusarium sp.	2	15,4	HT-2	1	7,7	Fusarium sp.
	Aspergillus sp.	6	46,2	He выявлено	0	0	Aspergillus sp.
Слива и кизил, n=11	Alternaria sp.	2	16,7	TEN, TNZ, AOH	4	36,4	Alternaria sp.
	Penicillium sp.	1	8,3	PAT, CIT	2	18,2	Penicillium sp.
	Aspergillus sp.	0	0	He выявлено	0	0	Aspergillus sp.
	Fusarium sp.	0	0	MO, NIV	10	91	Fusarium sp.
Яблоки, n=17	Alternaria sp.	2	12	TEN	2	11,8	Alternaria sp.
	Aspergillus sp.	5	29	He выявлено	0	0	Aspergillus sp.
	Fusarium sp.	3	18	He выявлено	0	0	Fusarium sp.
Помидоры, n=11	Alternaria sp.	4	36	TNZ, AOH, TEN	3	27,3	Alternaria sp.
	Aspergillus sp.	4	36	He выявлено	0	0	Aspergillus sp.
	Fusarium sp.	1	9	He выявлено	0	0	Fusarium sp.
Слива замороженная, n=12	He обнаружены	0	0	He выявлено	0	0	
Груша, n=5	Penicillium sp.	2	40		0	0	
	Aspergillus sp.	1	20				
Перец сладкий, n=6	Alternaria sp.	3	50		0	0	
	Fusarium sp.	3	50				
Penicillium sp.	1	17					
Огурцы, n=6	Fusarium sp.	2	33		0	0	
	Alternaria sp.	1	17				
Penicillium sp.	1	17					

МИКОЗЫ ОХРАНЯЕМЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

Ширнина Л.В.

ВНИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии, Воронеж

На территории пяти областей Центрально-Черноземного района (ЦЧР – Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Тамбовская) в список охраняемых сосудистых растений, внесенных в соответствующую «Красные книги», входят пять видов, которые являются ценными лекарственными растениями и широко используются в народной медицине [1]. Шестой вид отнесен к категории мониторинговых. Специальное изучение микобиоты в пяти областях Центрального Черноземья и в Орловской области [2,3] показало, что все эти растения поражаются видами рода *Ascochyta* Lib.

На *Calla palustris* L. паразитирует *Ascochyta pellucida* Bub. (рис.1), выявленная в августе 1969 г. только в одном пункте Центрального Черноземья – на заболоченном берегу пруда в с. Новая Ляда Тамбовской области, впервые для Центрально-Черноземного района (ЦЧР) [4]. В Латвии он известен с 1932 г. [5] и позже, в начале 60-х годов прошлого века, найден И.Я. Жербеле [6].

Вид *Calophoma clematidina* (Thüm.) Qian chen & L. Cai (= *Ascochyta davidiana* Kab. et Bub.) впервые был обнаружен в 1968 г. на *Clematis integrifolia* в Курском лесостепном заповеднике (Ямская степь, ур. Кучугуры), в 1969 [3, рис. 2]. За пределами ЦЧР он известен в Восточном Казахстане [7] и в Красноярске (Гербарий Санкт-Петербургского университета).

В ЦЧР *C. clematidina* обнаружен также на обычном, не краснокнижном виде Клематиса – *C. recta* L., на территории Курского лесостепного заповедника (Ямская степь, ур. Кучугуры, 1968 г.) и в дубраве Морозовой горы (заповедник «Галичья гора», 1969 г.) Липецкой области [3].

Polemonium coeruleum L. поражает вид *Ascochyta polemonii* Cava, найденный однажды в сыром овраге на берегу р. Неручь в с. Залегощь Орловской области (08.1969) [3, рис. 3].

На *Dentaria quinquefolia* Bieb. *A. dentariae* Brezhnev первый и единственный раз был обнаружен на террито-



Рисунок 1. Характеристика *Ascochyta pellucida* Bub. на *Calla palustris* L.



Рисунок 2. Характеристика *Calophoma* (Thüm.) Qian chen & L. Cai.



Рисунок 3. Характеристика *Ascochyta polemonii* Cava.

рии заповедника «Лес на Ворскле» (Белгородская обл.) в мае 1937 г. и описан как новый для науки [2]. За пределами России известен в Польше [8].

Пятнистость листьев и стеблей мониторингового вида *Tragopogon desertorum* (Lind.) Klok. вызывается *A. tragopogonis* Bond., описанным С.А. Бондарцевым 1903 году в г. Курск (гербарий БИН АН РФ) и вне ЦЧР не найден.

Ценные лекарственные свойства редких теперь растений послужили причиной их хищнического уничтожения и сокращения ареалов и обилия, что потребовало организации специальных заказников для их охраны. Микозы также могут играть определенную роль в снижении численности этих растений.

Список литературы

1. Блинова К. Ф. и др. Ботанико-фармакогностический словарь : Справ. пособие / Под ред. К. Ф. Блиновой, Г. П. Яковлева. — М.: Высш. шк., 1990. — С. 236. — ISBN 5-06-000085-0.
2. Брежнев И.Е. Новые виды грибов из Курской области. Ботанические материалы отдела споровых растений, 1951. – Т. VII. – С. 183-193.
3. Гришина Л.В. Грибы рода *Ascochyta* Lib. в Центрально-Черноземных областях: дисс. канд. биол. наук. – Воронеж : ВГУ, 1971. 284 с.
4. Гришина Л.В. Новые для микофлоры СССР и Центрально-Черноземной полосы виды рода *Ascochyta* Lib.– Микол. и фитопатол., 1970.– Т 4. – вып. 5.– С. 462-464.
5. Смародс Ю. Эксикаты грибов Латвии. Ученые записки Латв.ГУ. Рига, 1963. С. 107-156.
6. Жербеле И.Я. Грибы рода *Ascochyta* Lib. в Прибалтике. – Автореф. дисс...канд. биол. наук.– Л., 1963. – 24 с.
7. Флора споровых растений Казахстана. Алма-Ата, 1968. – Т. 5. – Кн. 2. – С. 236.
8. Уилк М., Пискорски С., Рушкевич-Михальска М., Козловска М. (2023). Цифровой каталог биоразнообразия Польши — Грибы: Асмотусота. Версия 1.4. Польская информационная сеть по биоразнообразию. Набор данных контрольного списка doi: 10.15468/y3mw5f, доступ через GBIF.org 15 февраля 2025 г.

Пятна на листьях округлые или расплывчатые, серовато-охряные, без ободка или с тонким пурпурным не четким ободком 0,7 x 1,2 см, выпадающие.

Конидиомы многочисленные, на верхней стороне листа, крупные, бурые, погруженные, 147,6-246 x 131-180 мкм, с выступающим устьищем 30-39 мкм в диаметре.

Конидии овально-цилиндрические, с закругленными концами, прямые или слегка изогнутые, вначале одноклеточные, затем с 1-й перегородкой, без перетяжки, единично 3-клеточные 8,2-10,5 x 2,5-3 мкм.

Пятна округлые, невнятные, слегка расплывчатые, без ободка или с тонким расплывчатым ободком, серовато-охряные, 1,4-2 x 0,7-1 см, сливающиеся.

Конидиомы многочисленные, крупные, бурые, погруженные, с выступающим устьищем, на верхней стороне листа, 147,6-246 x 131-180 мкм; устьища 30-39 мкм.

Конидии продолговато-овальные, 2-клеточные, очень редко 3-клеточные, иногда с перетяжкой или неравноклеточные, прямые, реже изогнутые, с каплями масла, в массе слегка желтоватые, 14,1-22,9 x 3,9-5,9 мкм.

Пятна по краю листа, вначале зеленоватые, позже охряные, без ободка.

Конидиомы рассеяны на верхней стороне листа, погруженные, с выступающим устьищем, немногочисленные, мелкие, темные или более крупные сетло-бурые, 147,6-180,4 x 131,2-164; устьище 16,5 мкм.

Конидии цилиндрические с овальными концами, чаще изогнутые, без перетяжки, с крупными каплями масла, 7,5-11,8 x 2,5-3,3 мкм.

ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИТОПАТОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ БИОТРОФНЫХ ГРИБОВ

Сколотнева Е.С.^{1,2}, Коломиец Т.М.², Щербань А.Б.¹

¹ ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

² ВНИИ фитопатологии, Большие Вяземы

Современное растениеводство совершенствует приемы создания селекционных линий и сортов, обладающих в том числе генетическими основами устойчивости к биотическим факторам, используя успехи таких дисциплин как молекулярная биология и, в частности, молекулярная фитопатология. Переход к ускоренной селекции («speed breeding»), технологически новой системе выведения гибридных линий, позволяет обогатить процесс традиционных скрещиваний и отборов как минимум в два раза [Чесноков и Косолапов, 2016]. Используется рутинная ПЦР со специфическими праймерами к гену или последовательностям, ко-сегрегирующим с целевым геном. Иными словами, отбор генотипов проводится в пробирке (2-3 года), минуя длительные полевые испытания (от пяти лет), при этом осуществляется лабораторный контроль устойчивости растений к представителям патогенной флоры, культуры которых можно поддерживать в искусственных условиях. Следующий этап работы с селекционным материалом, нацеленный на бережную адаптацию выведенного сорта к «полю», неразрывно связан с фундаментальными понятиями фитопатологии. В естественной среде новый генотип (сорт или гибридная линия) сталкивается с инфекцией различного происхождения и специфической стратегией инвазии. В почве патогены представлены преимущественно некротрофами: несовершенными грибами, несептированным мицелием низших грибов, гниlostными бактериями. Наземные части растений чаще всего становятся мишенями для специализированных патогенных организмов, распространяющихся в виде спор или в случае вирусной инфекции с помощью насекомых. Так, мягкая пшеница, несомненный лидер среди возделываемых в Российской Федерации сельскохозяйственных культур, весьма подвержена заболеваниям, вызываемым биотрофными грибами, такими как бурая и стеблевая ржавчина, септориозная пятнистость. К настоящему моменту известно, что на клеточном уровне путь патогена преграждают иммунные рецепторы: как в плазматической мембране, так и глубже, уже внутри клетки растений. При их возбуждении активируется тот или иной сигнальный путь, «запускающий» или наоборот «блокирующий» транскрипцию конкретного гена растения, который участвует в формировании защитного ответа [Jones & Dangl, 2006]. Особенностью механизма защиты растений

от биотрофа является активация антиоксидантной системы ферментов, контролирующая накопление активных форм кислорода (АФК), противодействующих эндофитному развитию патогена [Cameron et al., 1994]. При этом основной сигнальной молекулой является салициловая кислота. Современные знания молекулярной фитопатологии предоставляют широкое поле деятельности для прикладного использования сигнальных молекул с целью превентивной защиты растений. В частности, доказано, что растения мягкой пшеницы, генотипы которых несут гены устойчивости к ржавчинным заболеваниям, демонстрируют системную приобретенную устойчивость в случае предварительной обработки такими грибными элиситорами как хитин, или же непосредственно салициловой кислотой: генерация АФК в ответ на внедрение патогена протекает быстрее и эффективнее [Elsharkawy et al, 2022]. Важно подчеркнуть, что феномен опирается на генетическую базу – присутствие в геноме селекционной линии или сорта генов устойчивости, триггером для активации которых являются биологические элиситоры или их синтетические аналоги. Последние могут иметь перспективу как биологические средства защиты [Maluin et al 2020]. Для защиты мягкой пшеницы от биотрофных грибов в настоящее время активно изучается роль наноагрохимикатов на основе хитозана, производного хитина.

Работа поддержана финансированием госбюджетной темы FGGU-2025-0001.

Список литературы

1. Чесноков Ю.В., Косолапов В.М. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. — Москва : ООО «Угренская типография», 2016. — 172 с.
2. Jones J. D., Dangl J. L. The plant immune system. *Nature*. 2006. 444: 323–329. DOI:10.1038/nature05286
3. Cameron R.K., Dixon R.A., Lamb C.J. Biologically induced systemic acquired resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Journal*. 1994. V. 5(5). P. 715–725.
4. Elsharkawy M.M., Omara R.I., Mostafa Y.S., Alamri S.A., Hashem M., Alrumman S.A., Ahmad A.A. Mechanism of Wheat Leaf Rust Control Using Chitosan Nanoparticles and Salicylic Acid. *J Fungi*. 2022. V. 8(3). P. 304.
5. Maluin F.N., Hussein M.Z. Chitosan-Based Agronanochemicals as a sustainable alternative in crop protection. *Molecules* 2020. V. 25(7). P.1611.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФОМОПСИСОВ СОИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сурина Т.А., Кузнецова А.А., Костин Н.К., Зайцева Л.В., Смирнова А.В.
Всероссийский центр карантина растений (ВНИИКР), Быково

Охрана территории РФ от карантинных и опасных болезней растений, способных нанести значительный экономический ущерб сельскому хозяйству, имеет важное государственное значение. Ежегодный мониторинг территории нашей страны на выявление карантинных и особо опасных патогенов является одной из задач Россельхознадзора.

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – масличная культура, которая по значимости является второй после

масличной пальмы. Она обладает самым высоким уровнем белка среди представителей сем. Бобовые. Соя используется для производства пищевого и технического масла, а также как высокобелковая культура для потребления человеком и животными. Принимая во внимание высокую значимость и перспективность культуры сои, повышенный спрос на соевое зерно в животноводстве, пищевой, текстильной, фармацевтической, химической и других отраслях, широкое распро-

странение болезней может привести к существенным экономическим потерям.

По данным Росстата, общая посевная площадь культуры в 2024 году составляет 4,3 млн га, что на 7,3% больше, чем в 2023 году. Благодаря расширению и изменению структуры посевных площадей общий объем производства сои вырос более чем на 65%. В 2024 году в России был собран рекордный урожай сои – 7,35 млн тонн. Основным регионом возделывания сои в России являются Дальневосточный федеральный округ, в частности Приморский край, экспорт сои направлен преимущественно в КНР, Южную Корею и Японию. Также добавились регионы Центрального федерального округа, где площади увеличились на 30,2% и составили 2,01 млн га, экспорт продукции идет в Белоруссию, Казахстан и страны Ближнего Востока [1].

Соя является культурой, восприимчивой к различным грибным заболеваниям, которые представляют серьезную угрозу для получения высокого урожая, ухудшают качество зерна и общее состояние растений. Грибные патогены поражают корневую систему, стебли, листья и даже бобы, нарушая жизненно важные процессы — от фотосинтеза до формирования плодов. Особенно интенсивное развитие болезней наблюдается в условиях повышенной влажности, загущенных посевов и при нарушении агротехнических норм. По данным научных исследований, такие болезни как фомопсис, фузариоз, аскохитоз, пероноспороз и белая гниль являются одними из самых распространенных болезней сои, способных вызывать массовое поражение посевов.

Ожог стручков и стеблей (*Diaporthe sojae* Lehman), гниль семян (*Diaporthe longicolla* (Hobbs) J.M. Santos, Vrandečić & A.J.L. Phillips), северный рак стеблей (*Diaporthe caulivora* (Athow & Caldwell) J.M. Santos, Vrandečić & A.J.L. Phillips) и южный рак стеблей (*Diaporthe aspalathi* Jansen, Castlebury & Crous) вызываются грибами рода *Diaporthe*. Эти заболевания встречаются во многих странах мира и способны заражать все части растений сои (корни, стебли, черешки, стручки и семена). Кроме того, гниль семян сои способен вызывать комплекс видов *D. eres*, *D. foeniculina*, *D. rudis* [2]. Грибы рода *Diaporthe* приводят к побелению и усыханию стручков, снижению качества и схожести семян, а также к потере урожая до 60%, в зависимости от условий произрастания и использования устойчивых сортов.

Фитосанитарные обследования посадок сои проводились в Амурской области, Приморском крае, Еврейской автономной области, Хабаровском крае и Воронежской области. Всего было отобрано около 70 образцов вегетативных частей сои. Лабораторные исследования проводили с помощью метода влажной камеры, выделения патогенов на питательную среду (КГА). Идентификацию проводили по культурально-морфологическим признакам и методом секвенирования по Сенгеру с использованием универсальных праймеров ITS5/ITS4.

В результате лабораторных исследований образцов из Амурской области были выделены 4 изолята *Diaporthe longicolla*, 2 изолята *Diaporthe caulivora* и *Diaporthe* sp. Во всех образцах, отобранных в Воронежской области, присутствовал вид *Diaporthe caulivora*. В Еврейской автономной области преобладал возбудитель гнили семян сои *Diaporthe longicolla*. Все было выделено 10 изолятов. Возбудитель рака стебля *Diaporthe caulivora* был выявлен в 5 случаях. Также из вегетативных частей сои были выделены несколько изолятов *Diaporthe* sp. В

отобранных образцах из Приморском края преобладал вид *Diaporthe caulivora*. *Diaporthe longicolla* был выделен из двух образцов. Образцы сои, отобранные в Хабаровском крае, отличались большим видовым разнообразием рода *Diaporthe*. В чистую культуру были выделены *Diaporthe sojae*, *Diaporthe eres*, *Diaporthe caulivora*, *Diaporthe longicolla*. Также были получены несколько изолятов *Diaporthe* sp., которые пока не были идентифицированы до вида.

Diaporthe longicolla является опасным патогеном сои, который широко распространен по всему миру может вызывать серьезные потери урожая и снижать качество семян сои. Кроме сои, патоген может поражать различные виды бобовых культур: *Phaseolus acutifolius*, *Phaseolus coccineus*, *Phaseolus lunatus*, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata*, *Lupinus*, *Melilotus albus*, *Trifolium pretense*, *Kummerowia striata*, *Alysicarpus vaginalis*, *Arachis hypogaea*, *Cicer arietinum*, *Pisum sativum*, *Lotus corniculatus*, *Strophostyles helvola*, *Desmanthus illinoensis*, а также *Helianthus annuus*, *Pyrus* sp., *Cucumis melo*, *Abelmoschus esculentus*, *Acer truncatum*, *Aster exilis*, *Amaranthus spinosus*, *Solanum lycopersicum*, *Solanum melongena*, *Allium cepa*, *Allium sativum*, *Capsicum frutescens*, *Leonorus sibiricus*, *Trichilia elegans* и некоторые сорные растения: *Abutilon theophrasti*, *Ambrosia trifida*, *Euphorbia maculata*, *E. nutans*, *Rumex crispus*, *Xanthium strumarium*, *Caperonia palustris*, *Eclipta prostrata*, *Ipomoea lacunosa*, *Polygonum aviculare*, *Sida spinosa* [3]. В настоящее время *Phomopsis longicolla* зарегистрирован в различных странах мира, выращивающих эту культуру. Является карантинным организмом для Мексики.

Одним из опасных заболеваний растений сои является рак стеблей, вызываемый возбудителем *Diaporthe caulivora*, который приводил к снижению урожайности культуры на 50%, массы пораженных семян на 30-40%, уменьшению их всхожести. Патоген также может заражать некоторые сорные растения: *Abutilon theophrasti* и *Dipsacus lacinatus*. Кроме того, при искусственном заражении поражались *Phaseolus vulgaris*, *Sida spinosa*, *Helianthus annuus*, *Solanum nigrum*, *Ipomoea* L., *Indigofera hirsuta*, *Sesbania exaltata*, *Sesbania macrocarpa*, *Aeschynomene americana*, *Aeschynomene virginiana*, *Melochia corchorifolia*, *Cassia obtusifolia*, *Jacquemontia tamnifolia*, *Amaranthus spinosus*, *Euphorbia heterophylla*, *Xanthium strumarium* [4]. Является карантинным организмом в Китае, Бахрейне, Иране, Грузии, Молдавии и регулируется на семенном материале в Швейцарии и ЕС. Возбудители гнили семян сои и рака стеблей сои неоднократно выявлялись в Амурской области [5].

Возбудитель ожога стручков и стеблей сои *Diaporthe sojae* встречается во многих регионах, выращивающих сою по всему миру. На территории РФ был зарегистрирован на территории Краснодарского края и на Дальнем Востоке. Поражает семена, стручки, стебли и черешки. Потери возникают из-за гибели посевов, снижения урожайности и низкого качества семян. Кроме сои способен заражать *Abelmoschus esculentus*, *Abutilon theophrasti*, *Allium cepa*, *Allium sativum*, *Amaranthus spinosus*, *Arachis hypogaea*, *Capsicum frutescens*, *Lespedeza*, *Lupinus*, *Phaseolus lunatus*, *Phaseolus vulgaris*, *Solanum lycopersicum* и *Vigna unguiculata*. Является карантинным организмом в Мексике и регулируется на семенном материале в Египте, Швейцарии, Великобритании и ЕС.

Diaporthe aspalathi является возбудителем южного стеблевого рака сои. Это заболевание поражает растения с середины и до конца вегетационного периода, что приводит к серьезной потере урожая. В США считается

наиболее агрессивной формой рака, что ограничивает урожайность сои. Является карантинным видом для Мексики и Китая.

Исследования выполнены в рамках научной работы 1024022700584-3 «Разработка молекулярно-генетических методов идентификации возбудителей фомопсисов сои».

Список литературы

1. Вологин И. С., Островская И. Э. Производство сои в России и на Дальнем Востоке как перспективное направление развития международной торговли. Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 11(160). – С. 453-457. – DOI 10.34925/EIP.2023.160.11.086. – EDN JKASJR.

2. Petrović K., Riccioni L., Vidić M., Đorđević V., Balešević-Tubić S., Đukić V. & Miladinov Z. 2016. First report of *Diaporthe novem*, *D. foeniculina* and *D. rudis* associated with soybean seed decay in Serbia. *Plant Dis.*, 100 (11): 2324.

3. Mengistu A. & Reddy K.N. 2005. Detection of *Phomopsis* spp. on weed hosts and its pathogenicity on soybean. *Seed Technology*, 27, 97-100.

4. Lee Y., Subbarao K.V. 1993. Saprotrophic ability of *Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora* on host and nonhost plants, and abiotic substrates. *Mycological Research*, 97: 782-784.

5. Дудченко И.П., Кузнецова А.А., Дудченко Г.Н., Копина М.Б., Костин Н.К. Грибные заболевания сои на Дальнем Востоке. Фитосанитария. Карантин растений. 2023;(4):2-16. DOI: 10.69536/r8790-8454-5124-k.

УСТОЙЧИВОСТЬ К ТИАБЕНДАЗОЛУ ГРИБОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С РАСТЕНИЯМИ КАРТОФЕЛЯ И ТОМАТА

Цинделиани А.А.¹, Скоков Д.Н.¹, Еланский А.С.¹, Еланский С.Н.^{1,2}, Чудинова Е.М.¹

¹ Российский университет дружбы народов, Москва

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Тиабендазол (4-(1Н-бензимидазол-2-ил)-1,3-тиазол) – фунгицид из группы бензимидазолов, широко применяемый для обработки клубней картофеля как во время хранения, так и перед посадкой. Несмотря на его высокую эффективность, зафиксированы случаи появления штаммов грибов, устойчивых к данному препарату. Установлено, что устойчивость связана с мутациями в гене β -тубулина. Например, у *Colletotrichum cereale* и *C. truncatum* мутации были выявлены в 198-м кодоне [1,2], а у *Helminthosporium solani* — в 198-м и 200-м кодонах [3]. Целью данного исследования было изучение восприимчивости различных видов грибов к тиабендазолу.

Материалы и методы. Видовую принадлежность определяли по культурально-морфологическим признакам и по последовательностям ДНК генов фактора элонгации трансляции 1 α (*tefl* α) и ядерных рибосомных генов (ITS). Выделение ДНК, проведение ПЦР и секвенирование проводили, как описано в [4], также анализировали последовательности генов β -тубулина с целью выявления мутации [3].

Тестирование устойчивости к тиабендазолу проводили в чашках Петри на картофельно-глюкозном агаре (КГА) с добавлением препарата Имикар, КС, действующим веществом которого является тиабендазол. Концентрации тиабендазола в питательной среде составляли 1, 10 и 100 мг/л. В качестве контроля использовали среду без фунгицида. Культивирование осуществляли при температуре 25°C. Тесты на контроле и на каждой концентрации фунгицида проводили в 3 повторностях. Измерения проводили в момент, когда диаметр колонии на контроле достигал 2/3 диаметра чашки Петри. Для оценки размера колоний измеряли два взаимно перпендикулярных диаметра, после чего рассчитывали их среднее значение. На основе математической обработки данных для каждого штамма определяли показатель EC_{50} и EC_{90} – концентрацию фунгицида, вызывающую 50% и 90% снижение радиального прироста колонии по сравнению с контролем. У чувствительных штаммов грибов наблюдалось замедление или полное подавление роста колоний даже на средах с минимальной концентрацией фунгицида.

Результаты и обсуждение

Было проанализировано 242 штамма грибов из которых : 1 штамм *Acrostalagmus luteoalbus*, 2 штам-

ма *Alternaria alternata* s.l., 1 штамм *A. alternariacida*, 2 штамма *A. grandis*, 4 штамма *A. linariae*, 3 штамма *A. protenta*, 1 штамм *A. solani*, 2 штамма *Boeremia exigua*, 4 штамма *B. foveata*, 2 штамма *Cephalotrichum asperulum*, 1 штамм *Ceratobasidium* sp AG-I, 1 штамм *Clonostachys rosea*, 2 штамма *Clonostachys* sp., 4 штамма *C. solani*, 37 штаммов *Colletotrichum coccodes*, 12 штаммов *C. nigrum*, 1 штамм *C. truncatum*, 1 штамм *Didymella* sp., 1 штамм *D. microchlamydospora*, 1 штамм *Fusariella hughesii*, 1 штамм *F. albidum* species complex, 1 штамм *F. fujikuroi* species complex, 14 штаммов *F. incarnatum-equiseti* species complex, 1 штамм *F. merismoides*, 2 штамма *F. nisikadoi* species complex, 40 штаммов *F. oxysporum* species complex, 7 штаммов *F. redolens* species complex, 1 штамм *F. tricinctum* species complex, 1 штамм *Fusarium* sp., 13 штаммов *F. sambucinum* species complex, 19 штаммов *F. solani* species complex, 8 штаммов *F. tricinctum* species complex, 4 штамма *F. torulosum*, 6 штаммов *Galactomyces candidum*, 16 штаммов *Helminthosporium solani*, 1 штамм *Ilyonectria crassa*, 1 штамм *Irpex lacteus*, 7 штаммов *Juxtiphoma eupyrena*, 1 штамм *Mortierella alpina*, 3 штамма *Orbilia oligospora*, 1 штамм *Plectosphaerella* sp., 4 штамма *Plectosphaerella cucumerina*, 1 штамм *Plectosphaerella oligotrophica*, 1 штамм *Pyrenochaeta* sp, 2 штамма *Rhizoctonia solani*, 1 штамм *Septotinia populiperda*, 1 штамм *Sistotrema brinkmannii*, 9 штаммов *Trichocladium solani*, 1 штамм *Penicillium* sp.

Большинство штаммов были восприимчивы к тиабендазолу, но также попадались и высокоустойчивые штаммы. У всех штаммов, относящихся к роду *Alternaria* и видам *Galactomyces candidum*, *Cephalotrichum asperulum*, *Penicillium* sp. наблюдалась высокая устойчивость к тиабендазолу (EC_{50} > 100 мг/л, EC_{90} > 100 мг/л), несколько ниже была устойчивость у *Irpex lacteus* и *Mortierella alpina* (EC_{50} 69 мг/л, 49 мг/л, EC_{90} > 100 мг/л, 92 мг/л соответственно). По-видимому, устойчивость к тиабендазолу является видовой особенностью этих грибов.

Среди штаммов, относящихся к виду *Helminthosporium solani*, встречаются как чувствительные штаммы (EC_{50} 0,9-1,1 мг/л, EC_{90} 8-9 мг/л) так и устойчивые штаммы (EC_{50} > 100 мг/л, EC_{90} > 100 мг/л). Устойчивость этих штаммов обусловлена наличием в гене β -тубулина мутации в 198 кодоне (замена глутаминовой кислоты на глутамин). Были выявлены

устойчивые штаммы *Plectosphaerella cucumerina*, у этих штаммов также была выявлена мутация в 198 кодоне, произошла замена глутаминовой кислоты на аланин.

У штаммов, относящихся к роду *Colletotrichum*, под влиянием тиabendазола рост несколько замедляется, но грибы медленно растут на среде с высокой концентрацией тиabendазола (EC_{50} 0,6-58 мг/л, EC_{90} 51-100 мг/л). Мутаций в гене β -тубулина у *Colletotrichum* spp. обнаружено не было.

Эксперименты показали, что тиabendазол хорошо контролирует грибы, относящиеся к роду *Fusarium*. Большинство протестированных штаммов были чувствительными (EC_{50} 0,5-7 мг/л, EC_{90} 1-9 мг/л). Два штамма из комплекса *F. sambucinum* обладали повышенной устойчивостью (EC_{50} 8,9-9,3 мг/л, EC_{90} 25-35 мг/л), мутации в гене β -тубулина не было обнаружено.

Несмотря на длительное использование, тиabendазол по-прежнему хорошо ингибирует рост большинства патогенных для картофеля и томата грибов. В районах с высокой предрасположенностью к заболеваниям, возбудителями которых являются представители родов *Alternaria*, *Colletotrichum* и виды *H. solani*, *P. cucumerina*, *F. sambucinum*, для эффективной защиты следует использовать фунгициды с другими действующими веществами или смесевые препараты.

Исследование выполнено при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-16-00048)

Список литературы

1. Wong F.P., de la Cerda K.A., Hernandez-Martinez R., Midland S.L. Detection and characterization of benzimidazole resistance in California populations of *Colletotrichum cereale*. Plant Disease. 2008. V.92(2). P.239-246.
2. Torres-Calzada C., Tapia-Tussell R., Higuera-Ciajara I., et al. Sensitivity of *Colletotrichum truncatum* to four fungicides and characterization of thiabendazole-resistant isolates. Plant Disease. 2015. V.99. P. 1590-1595.
3. Chudinova E.M., Kokaeva L.Yu., Elansky S.N. et al. The occurrence of thiabendazole-resistant isolates of *Helminthosporium solani* on potato seed tubers in Russia. Journal of Plant Diseases and Protection. 2020. V. 127. P. 421-423.
4. Ярмеева М. М., Чудинова Е.М., Еланская А.С., Кокаева Л.Ю., Еланский С.Н. Грибы рода *Fusarium* на растениях томата в России. Микология и фитопатология. 2025. Т. 59. № 2. С. 169-180.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ФИТОПАТОГЕННОГО ГРИБА *VERTICILLIUM DAHLIAE* КЛЕБ. В КОРЕНЬ ХЛОПЧАТНИКА МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Власова Т.А., Агеева И.В.
Московский Государственный Университет

Фитопатогенный гриб *Verticillium dahliae* Kleb. является полифагом, возбудителем вертициллезного вилта (увядания) большого количества видов растений, в том числе многих сельскохозяйственных культур.

Это наносит существенный ущерб урожаю в ряде районов. Поэтому изучение хода заболевания, в частности, процесса заражения растения патогеном, имеет большое значение для борьбы с его проявлениями. Патологический процесс представляет собой результат сложного взаимодействия патогена и растения-хозяина и включает следующие этапы: накопление инфекционного начала до определенного минимального уровня, достаточного для проникновения патогена в растение и последующей колонизации его, в результате чего и развивается заболевание, проявляющееся характерными симптомами. Паразит должен обладать способностью эффективно проникать в ткани растения-хозяина, способностью к образованию инфекционных гиф, а также к интенсивному росту в его тканях и последующему размножению.

В связи с этим большое значение имеет исследование начального этапа взаимодействия паразита с растением-хозяином и проникновения его внутрь растения.

Поскольку *V.dahliae* является почвенным грибом, заражение растений происходит преимущественно через корень, хотя в особых случаях возможны и другие пути заражения.

Объектом исследования служили корни хлопчатника, инфицированные вирулентным штаммом гриба *V.dahliae*. В опытах для заражения применяли конидиальную культуру гриба. Чтобы избежать побочного заражения, использовали стерильные изолированные корни хлопчатника сорта С-4727, восприимчивого к вертициллезному вилту. Корни выращивали на агаризованной среде Смирнова. Инфицирование осуществ-

ляли нанесением на корни водной суспензии конидий гриба.

Процесс взаимодействия патогена с корнем хлопчатника изучали методами световой и электронной микроскопии. Ультраструктурные исследования объектов проводили в Общефакультетской лаборатории электронной микроскопии с использованием сканирующего электронного микроскопа CamScan и трансмиссионного электронного микроскопа JEM-1011.

Наблюдения показали, что конидии гриба прорастали на 3-й или 4-й день после заражения, образуя мицелий, который разрастался на корнях и частично на среде. Хотя *V.dahliae* является факультативным патогеном, тем не менее он не только ограниченно распространялся по питательной среде, но и внедрялся в корни растения.

Методом световой микроскопии было выявлено, что проникновение гиф *V.dahliae* в ризодерму осуществлялось в основном не там, где гифы были редкими, а в участках скопления гиф. При этом в клетку обычно внедрялся несколько гиф или даже их большое количество. Микроскопическое наблюдение не обнаруживало проникновения мицелия патогена в клетки ризодермы до 6-го – 7-го дня. Методом сканирующей электронной микроскопии было показано, что гифы гриба росли частично беспорядочно, а местами упорядоченно вдоль поверхности корня по его длине. При рассмотрении внедрения гиф в клетки корня не было отмечено ни утолщения мицелия, ни формирования аппрессориев, то есть признаков, более характерных для облигатных паразитов.

Некоторые авторы называют *V.dahliae* некротрофным фитопатогеном. Однако наши данные согласуются с мнением об этом грибе как о пертофите. Исследование процесса внедрения *V.dahliae* методом трансмиссионной электронной микроскопии показало, что при

Таблица 2. Влияние препарата Иммунакт-Био, ВСК на биометрические показатели растений пшеницы яровой и урожайность (2022г.).

Вариант опыта	Длина корня см	Длина стебля, см	Длина колоса, см	Количество стеблей на 1 растении, шт.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность	
						ц/га	± к контролю, ц/га
Иммунакт-Био, ВСК (1 % р.ж.)	9,5	80,9	8,7	2,2	34,1	62,0	+1,9
Контроль	8,0	71,0	7,5	2,1	33,7	60,1	-
НСР ₀₅	0,51	2,21	0,44	0,34		1,8	

туры, повлияли на количество и качество полученной продукции.

По результатам оценки фитосанитарного состояния в 2022 г. установлено, что биологическая эффективность препарата Иммунакт-Био, ВСК в защите пшеницы от пятнистости листьев (септориоз+пиренофороз) достигала 53,0% при развитии болезни в контроле 21,9% (таблица 1).

Развитие фузариоза колоса в контроле достигало 13,3 %, в варианте с препаратом Иммунакт-Био, ВСК не превышало 8,0 % – биологическая эффективность достигала 39,9 %. В защите от мучнистой росы биологическая эффективность препарата достигала 39,8 %

При оценке хозяйственной эффективности согласно результатам учетов биометрических характеристик и показателей продуктивности растений пшеницы яровой в 2022 г. в варианте с иммуномодулирующим препаратом зафиксировано увеличение длины корня на 1,5 см в сравнении с контролем (Таблица 2).

Длина стебля (80,9 см) и длина колоса (8,7 см) в варианте с препаратом Иммунакт-Био, ВСК также превышали данные показатели в контрольном варианте (71,0 см и 7,5 см соответственно). Масса 1000 зерен в варианте с иммуномодулятором была больше на 0,4 г. Прибавка урожайности по сравнению с контролем достоверно составила 1,9 ц/га.

В вегетационном сезоне 2023 г. складывались неблагоприятные погодные условия для развития болезней (повышенная температура и засуха). По результатам оценки фитосанитарного состояния посевов пшеницы яровой зафиксировано поражение растений мучнистой росой. Применение иммуномодулирующего препарата позволило сдержать развитие болезни и получить биологическую эффективность 32,8% (таблица 3).

Таблица 3. Влияние препарата Иммунакт-Био, ВСК на развитие мучнистой росы на растениях пшеницы яровой (2023г.).

Вариант опыта	Пораженность мучнистой росой в стадии		
	ст. 33 (08.06)	ст. 52 (07.07)	
	Развитие болезни, %	Развитие болезни, %	Биологическая эффективность, %
Иммунакт-Био, ВСК (1% р.ж.)	0,71	0,39	32,8
Контроль	0,70	0,58	-

При оценке хозяйственной эффективности согласно результатам учетов биометрических характеристик и показателей продуктивности растений длина корня увеличивалась на 1,08 см в сравнении с контролем (Таблица 4).

Таблица 4. Влияние препарата Иммунакт-Био, ВСК на биометрические показатели растений пшеницы яровой (2023 г.).

Вариант опыта	Длина корня, см			Длина стебля, см			Количество стеблей на 1 растении, шт.		
	1	2	% прироста	1	2	% прироста	1	2	% прироста
Иммунакт-Био, ВСК (1% р.ж.)	9,17	9,66	5,34	24,63	65,82	167,24	1,9	2,17	14,21
Контроль	9,15	8,76	-4,26	24,22	61,56	154,17	1,88	1,88	-
НСР ₀₅	0,32	0,27		0,87	1,74		0,22	0,24	

1 – до обработки; 2 –после обработки

Длина стебля (65,82 см) и длина колоса (8,71 см) в варианте с препаратом Иммунакт-Био, ВСК также превышали показатели в варианте без препарата (61,56 см и 7,92 см соответственно). Масса 1000 зерен в варианте с иммуномодулирующим препаратом была больше, чем в варианте без препарата на 2,54 г. Прибавка урожайности составила 0,2 ц/га (таблица 5).

Таблица 5. Влияние препарата Иммунакт-Био, ВСК на структуру урожая пшеницы яровой (2023 г.)

Вариант опыта	Масса зерен в колосе, г	Длина колоса, см	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность	
					ц/га	±к контролю, ц/га
Иммунакт-Био, ВСК (1% р.ж.)	2,10	8,71	41,98	46,75	37,3	+0,2
Контроль	1,67	7,92	34,99	44,21	37,1	-
НСР ₀₅	0,08	0,16	1,24		0,29	

Заключение. Результаты оценки эффективности регулятора роста «Иммунакт-Био», ВСК при выращивании пшеницы яровой показали наличие ростостимулирующего действия препарата, проявившегося в увеличении длины корня, стебля и колоса, массы 100 зерен. Применение регулятора роста способствовало прибавке урожайности до 1,9 ц/га. Отмечено повышение устойчивости яровой пшеницы к поражению болезнями грибной этиологии – мучнистой росе, фузариозу, пятнистостям листьев.

Список литературы

1. Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анк.: CIMMYTМ. – 2018. <http://www.fao.org/3/i8388ru/I8388RU.pdf>. – 366 с.

2. Yedidia I. Srivastva A.K., Kapulnik Y., Chet I. Effect of Trichoderma harzianum on microelement concentration and increased growth of cucumber plants. Plant and soil. – 2001. – Т. 235. – С. 235-242.

3. Лукьянчук В.Д. Мищенко Е.М., Бабенко М.Н. Бета-глюканы как основа создания средств иммуномодулирующего действия. УМЧ. – 2011. – №5 (85). – IX / X. – С. 92–93.

4. Ахатов А. К., Джалилов Ф.С.У., Белошапкина О.О., Стройков Ю.М., Чижов В.Н., Трусевич А.В. Защита овощных культур и картофеля от болезней; под ред. А.К. Ахатова и Ф.С. Джалилова – М.: Московская типография № 2, 2006. – 352 с.

5. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, Институт защиты растений; ред. С. Ф. Бута. – Несвиж : Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного, 2007. – 508 с.

6. Супранович Р.В., Сорока С.В., Сорока Л.И. Определитель фаз развития однодольных и двудольных растений по шкале ВВСН. Минск : Колорград, 2016. – 100 с.

7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

РЕДКО ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ВИДЫ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ РОДА *FUSARIUM*
В ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОЛЛЕКЦИИ ФИТОПАТОГЕННЫХ
МИКРООРГАНИЗМОВ ФГБНУ ВНИИФ

Жемчужина Н.С., Александрова А.В., Киселева М.И., Андреевская В.М.
ВНИИ фитопатологии, Большие Вяземы

Поддержание коллекций возбудителей болезней культурных растений в жизнеспособном состоянии с сохранением их патогенных свойств является важным условием практически любой работы с микроорганизмами. В настоящее время коллекции микроорганизмов, созданные на базе научно-исследовательских учреждений и микробиологических лабораторий, востребованы и широко используются в научных и прикладных исследованиях биотехнологического направления [1, 2]. Коллекция фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ создана в результате многолетних исследований видовой и внутривидовой структуры возбудителей, паразитирующих на сельскохозяйственных культурах в разных районах страны. В коллекции хра-

нятся штаммы, изоляты и образцы возбудителей болезней зерновых, картофеля, технических и овощных культур, относящихся к грибам, оомицетам, бактериям, фитоплазмам, вирусам, вириоидам, а также семенной материал линий и сортов соответствующих культур для дифференциации патогенных свойств микроорганизмов [3, 4]. В настоящее время в коллекции хранятся более 4000 штаммов разных видов микроорганизмов, при этом около 400 штаммов грибов принадлежат 26 видам рода *Fusarium*. Известно, что для этих видов характерны такие свойства, как высокая адаптационная способность к окружающей среде и пищевая специализация к широкому кругу растений-хозяев. Многие из видов

Таблица 1. Виды рода *Fusarium* в коллекции ФГБНУ ВНИИФ, изолированные из сельскохозяйственных растений в четырех регионах России.

№	Вид гриба	Культуры, из которых выделены штаммы грибов	Происхождение (регион)	Частота встречаемости,	
				кол-во	%
1	<i>F. acuminatum</i>	пшеница, ячмень	Центральный, Центрально-Черноземный	12	3,08
2	<i>F. avenaceum</i>	пшеница, ячмень, подсолнух, кукуруза	Центральный, Северо-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	25	6,43
3	<i>F. chlamydosporum</i>	пшеница, луговые травы	Северо-Кавказский	2	0,51
4	<i>F. culmorum</i>	пшеница, ячмень, подсолнух, кукуруза и др.	Центральный, Северо-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	38	9,77
5	<i>F. decemcellulare</i>	свекла	Центрально-Черноземный	1	0,26
6	<i>F. dimerum</i>	пшеница	Северо-Кавказский	1	0,26
7	<i>F. equiseti</i>	пшеница	Северо-Кавказский	1	0,26
8	<i>F. flocciferum</i>	ячмень	Средневолжский	1	0,26
9	<i>F. fujikuroi</i>	пшеница, картофель	Центрально-Черноземный, Средневолжский	11	2,82
10	<i>F. gibbosum</i>	пшеница, ячмень, кукуруза, овес	Центральный, Средневолжский, Центрально-Черноземный	24	6,17
11	<i>F. graminearum</i>	пшеница	Центральный, Северо-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	29	7,46
12	<i>F. heterosporum</i>	пшеница, ячмень, свекла, картофель, кукуруза	Центральный, Северо-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	47	12,08
13	<i>F. javanicum</i>	картофель	Центральный	1	0,26
14	<i>F. lateritium</i>	свекла, пшеница	Центрально-Черноземный	2	0,51
15	<i>F. nivale</i>	пшеница, ячмень	Центральный, Средневолжский, Центрально-Черноземный,	26	6,68
16	<i>F. oxysporum</i>	пшеница, ячмень, кукуруза, овес, подсолнух	Центральный, Средневолжский, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский	47	12,08
17	<i>F. poae</i>	пшеница, ячмень, подсолнух, кукуруза	Центральный, Средневолжский, Центрально-Черноземный,	21	5,40
18	<i>F. proliferatum</i>	томат	Центральный	1	0,26
19	<i>F. redolens</i>	пшеница	Центральный, Центрально-Черноземный	2	0,51
20	<i>F. sambucinum</i>	пшеница, ячмень	Центральный, Средневолжский, Центрально-Черноземный,	26	6,68
21	<i>F. incarnatum</i>	пшеница, ячмень, кукуруза	Северо-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	14	3,60
22	<i>F. solani</i>	пшеница, ячмень, кукуруза, картофель, подсолнух	Центральный, Сев.-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	25	6,43
23	<i>F. sporotrichioides</i>	пшеница, ячмень, подсолнух, кукуруза, овес	Центральный, Северо-Кавказский, Центрально-Черноземный, Средневолжский	26	6,68
24	<i>F. tabacinum</i>	морковь	Центральный	1	0,26
25	<i>F. trichothecioides</i>	ель	Средневолжский	1	0,26
26	<i>F. verticillioides</i>	ячмень, пшеница, кукуруза	Средневолжский, Центрально-Черноземный	4	1,03
				389	

рода *Fusarium* были выделены в чистую культуру из тканей как зерновых, так и овощных культур (таблица 1). Существенное количество (96%) штаммов грибов этого рода относятся к распространенным видам, таким как *F. culmorum*, *F. heterosporum*, *F. sporotrichioides*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. solani*, *F. gibbosum*, *F. incarnatum* и др. При микологических исследованиях изоляты этих видов грибов выделялись с высокой частотой, иногда даже подавляя развитие колоний сопутствующих микромицетов.

Одновременно с этим было отмечено, что некоторые виды микромицетов встречались с низкой частотой. Это – 12 видов рода *Fusarium*: *F. lateritium*, *F. chlamydosporum*, *F. redolens*, *F. dimerum*, *F. flocciferum*, *F. equiseti*, *F. decemcellulare*, *F. trichothecioides*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. javanicum*, *F. tabacinum*.

Несмотря на то, что штаммы грибов редких видов также характеризовались специализацией к широкому кругу сельскохозяйственных растений, в совокупности доля этих грибов не превысила 4%. Например, из более 200 изолятов грибов, выделенных из Центрально Черноземного региона, только единичные штаммы принадлежали редким видам *F. lateritium*, *F. decemcellulare*, *F. redolens*, *F. verticillioides*.

Для более четкого выяснения роли этих видов в патогенезе сельскохозяйственных растений и в способности к выживанию в комплексах грибов было изучено влияние обработки суспензиями спор и фильтратами культуральной жидкости штаммов на развитие тест-растений. Патогенные и токсичные свойства штаммов редко встречающихся видов проверяли с помощью модифицированного метода биопробы, где контролем служили семена пшеницы, пророщенные в чистой воде [5, 6].

Результаты обработки споровыми суспензиями 13 штаммов редко встречающихся видов грибов из рода *Fusarium* выявили достаточно низкий уровень патогенности (таблица 2). Споровые суспензии 9 видов грибов оказались непатогенными к проросткам пшеницы, 3 – слабопатогенными. Исключение составил штамм *Fusarium dimerum*, проявивший высокий уровень патогенности к проросткам пшеницы.

Несколько иную картину наблюдали при обработке проростков пшеницы фильтратами культуральной жидкости штаммов. Культуральные жидкости практически всех штаммов грибов оказывали угнетающее воздействие на развитие проростков тест-растений. Так, слабую токсичность проявили штаммы шести видов грибов, умеренную – пяти и высокую токсичность – двух видов.

Таким образом, штаммы грибов редко встречающихся видов рода *Fusarium* характеризуются относительно слабой патогенностью и умеренной фитотоксичностью к сельскохозяйственным растениям. Одновременно с этим, исследования, проведенные ранее на штаммах широко распространенных видов рода *Fusarium*, в целом, указывали на более сильную степень угнетающего воздействия споровых суспензий и фильтратов культуральных жидкостей на развитие корней тест-растений. Однако проверка патогенности и токсичности у штаммов распространенных видов проводилась на репрезентативной выборке. Более того, среди этих микромицетов часто отмечали значительные вариации по степени ингибирования роста и развития всходов растений (от непатогенной до сильной). Несмотря на то, что в последнем эксперименте явно просматривалась тенденция к проявлению слабых патогенных характеристик у штаммов редко встречающихся видов рода *Fusarium*,

Таблица 2. Патогенность споровых суспензий и фитотоксичность культуральных жидкостей (в % к контролю) штаммов редко встречающихся видов фитопатогенных микромицетов рода *Fusarium* (тест-объект – проростки пшеницы сорта Мироновская 808).

Штамм	Вид гриба	Патогенность			Токсичность		
		Всхожесть семян, %	Длина корней, %	Степень влияния	Всхожесть семян, %	Длина корней, %	Степень влияния
Арх-1	<i>Fusarium chlamydosporum</i>	100,0	98,2±2,9	НП	100,0	35,3±2,5	УТ
Кр-19-3к	<i>Fusarium chlamydosporum</i>	100,0	72,9±1,8	НП	96,7	54,8±2,2	СТ
Fn-17	<i>Fusarium decemcellulare</i>	96,7	68,8±3,7	СП	100,0	48,6±3,2	УТ
Ел-1	<i>Fusarium dimerum</i>	76,4	3,1±0,4	П	100,0	64,9±2,8	СТ
Кр-20-51	<i>Fusarium equiseti</i>	100,0	96,8±3,2	НП	100,0	45,0±3,5	УТ
100245	<i>Fusarium flocciferum</i>	100,0	85,4±2,3	НП	96,7	45,4±2,6	УТ
МКРС-15	<i>Fusarium javanicum</i>	96,7	98,8±4,7	НП	100,0	67,1±3,5	СТ
F1	<i>Fusarium lateritium</i>	100,0	88,9±2,3	НП	100,0	21,3±1,1	Т
329-1	<i>Fusarium proliferatum</i>	96,7	94,5±3,8	НП	96,7	30,1±2,0	УТ
ПМ-19-3п	<i>Fusarium redolens</i>	100,0	86,5±2,5	НП	100,0	56,1±3,3	СТ
МОМ-6-18	<i>Fusarium tabacinum</i>	100,0	94,4±2,9	НП	100,0	55,8±3,1	СТ
100156	<i>Fusarium trichothecioides</i>	100,0	53,9±5,6	СП	100,0	61,4±2,8	СТ
100246	<i>Fusarium verticillioides</i>	100,0	65,3±5,1	СП	100,0	9,3±1,2	Т

Примечание: НП/НТ – непатогенный/нетоксичный
СП/СТ – слабопатогенный/слаботоксичный
УП/УТ – умеренно патогенный/умеренно токсичный
П/Т – патогенный/токсичный

для получения достоверных результатов необходимо продолжение поиска подобных грибов, а для оценки патогенных и фитотоксичных свойств штаммов требуется, как минимум, увеличение выборки.

Список литературы

1. Калакуцкий Л.В., Озерская С.М. Биологические ресурсные центры: современное состояние в России и мире, проблемы организации, перспективы развития. Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2011. – Вып.7(1). – С. 28–40.
 2. The WFCC Guidelines for the Establishment and Operation of Culture Collections, 2010, <http://www.wfcc.info/guidelines/>.
 3. Дубовой В., Жемчужина Н.С., Елизарова С.А., Горелов П. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ. Аналитика. – 2016. Т. 1(26). – С. 76-79.
 4. Коломиец Т.М., Жемчужина Н.С. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ. Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты продовольственной безопасности». – 2023. – С. 125-129.
 5. Дудка И. А., Вассер С. П., Элланская И. А. и др. Методы экспериментальной микологии. К.: НД, 1982. 552 с.
 6. Парфенова Т.А., Алексеева Т.П. Токсическое влияние фильтрата культуральной жидкости грибов рода *Fusarium* на семена пшеницы. Микология и фитопатология. – 1995. Т. 29(1). – С. 78-82.
-

Глава 9

Защита растений, фунгициды и биопестициды

10.14427/cmr.2025.xi.09

АНТИФУНГАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММА БАКТЕРИЙ *PANTOEAGGLOMERANS* 220

Бесараб Н.В., Лукашевич В.А., Поликсенова В.Д., Николайчик Е.А.
Белорусский государственный университет, Минск

Бактерии вида *Pantoea agglomerans* являются антагонистами многих патогенных бактерий и грибов, инфицирующих растения, животных и человека. Одним из факторов антагонистичной активности *P. agglomerans* является продукция широкого спектра антибиотиков, таких как гербиколин, пантоцины, микроцин, агломерины, андримид, феназин. Показано, что бактерия *P. agglomerans* является ингибитором таких видов патогенных грибов, как *Fusarium culmorum*, *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium gibbosum*, *Rhizoctonia solani*, *Exserohilum turcicum*, *Macrophomina phaseolina* и др. [1].

Целью данного исследования являлась оценка антимикробного потенциала природного изолята, штамма бактерии *P. agglomerans* 220. В задачи исследования входили геномный скрининг генов бактерии, ответственных за синтез антибиотических веществ, выделение новых культур мицелиальных грибов и анализ антифунгальной активности бактерии.

Геном штамма бактерии секвенирован с помощью технологии длинных прочтений, сборка осуществлена с помощью Flye 2.9.5, аннотация проведена с помощью Prokka 1.14.6.

В геноме обнаружены гены, связанные с антибактериальной активностью, в частности кластер из 11 генов нерибосомной пептидсинтазы, а также система секреции VI типа и пять генов ее эффекторов. Для обнаружения генов, вовлеченных в антифунгальную активность, необходимы дальнейшие исследования.

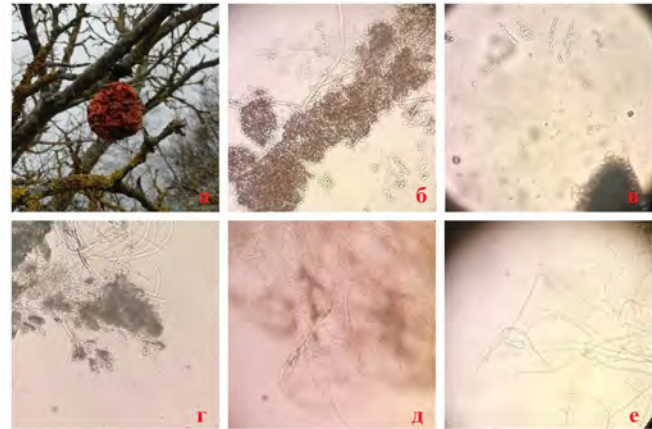


Рисунок 1. а) Плоды яблони, взятые для получения изолятов мицелиальных грибов; б), в) мицелий и конидии *C. herbarum*; г) мицелий с конидиеносцами и конидиями *P. crustaceum*; д), е) мицелий *Fusarium* sp.

Для выделения новых культур мицелиальных грибов и проведения экспериментов по изучению антифунгальной активности использовали агаризованную среду на основе картофельного бульона (КА). В ходе работы из плодов с признаками поражения мицели-

альными грибами, перезимовавших на яблоне, были выделены и идентифицированы по морфологическим признакам три вида грибов (рисунок 1): *Cladosporium herbarum*, *Penicillium crustaceum*, *Fusarium* sp.

Для исследования антифунгальной активности культуру бактерий *P. agglomerans* 220 засеивали кольцом (диаметр 4,6 см) на чашки с КА, растили 4 суток при 28 °С. Далее культуру бактерий подвергали обработке хлороформом в течение 30 мин, для чего в крышку чашки наносили 1 мл хлороформа. После чашки проветривали в течение 30 мин и проводили посев мицелиального гриба в центр чашки, растили 8 суток при 28 °С. Для эксперимента использовали выделенные изоляты мицелиальных грибов и штамм коллекции кафедры ботаники биологического факультета БГУ *Alternaria alternata*. Результаты исследования антифунгальной активности *P. agglomerans* 220 представлены на рисунках 2 и 3, численные данные на рисунке 3 соответствуют 3-4 измерениям.

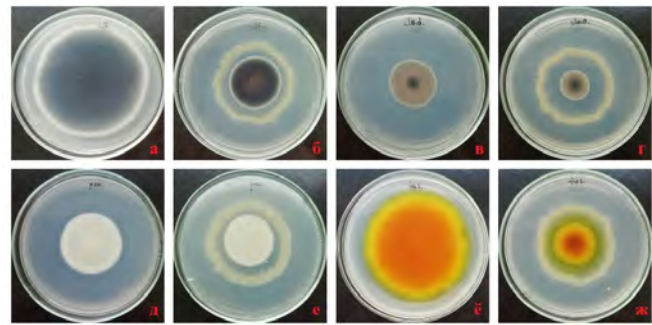


Рисунок 2. Антифунгальная активность штамма бактерии *P. agglomerans* 220. Фотографии колоний мицелиального гриба в контроле и в присутствии *P. agglomerans* 220: а), б) *A. alternata*; в), г) *Cladosporium herbarum*; д), е) *P. crustaceum*; е), ж) *Fusarium* sp.

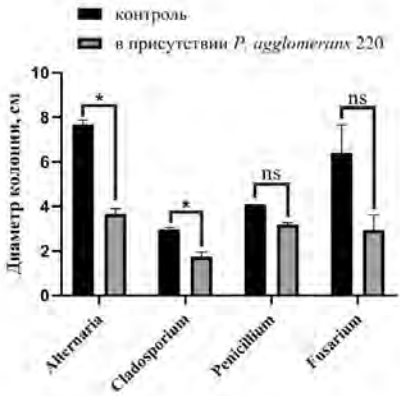


Рисунок 3. Антифунгальная активность штамма бактерии *P. agglomerans* 220. Приведены среднее значение диаметра колонии мицелиального гриба и стандартное отклонение. Оценка статистической значимости различий выполнена с использованием критерия Манна-Уитни. Уровень значимости p для *P. crustaceum* и *Fusarium* sp. составляет 0,0571.

Согласно результатам исследования, присутствие в среде метаболитов *P. agglomerans* 220 оказывает ингибирующее действие на рост мицелиальных грибов, статистически значимые различия в росте мицелия в присутствии *P. agglomerans* 220 и в контроле обнаружены для фитопатогена *A. alternata* и изолята *C. herbarum*. Рост мицелия был ингибирован на 52,5% в случае *A. alternata* и 41,2% в случае *C. herbarum*.

Полученные данные свидетельствуют о возможности рассматривать штамм *P. agglomerans* 220 в качестве антимикробного агента, в частности для контроля ассо-

циированных с растениями патогенных и сапротрофных грибов.

Список литературы

1. Dutkiewicz J., Mackiewicz B., Lemieszek M.K. et al. *Pantoea agglomerans*: a mysterious bacterium of evil and good. Part IV. Beneficial effects. *Ann Agric Environ Med*. 2016; 23(2): 206–222. doi: 10.5604/12321966.1203879.

АНТИФУНГАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ КОНСЕРВАНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ОТНОШЕНИИ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ *PENICILLIUM* SP.

Данилова Д.Ю.^{1,2}, Сидоренко А.В.¹

¹ Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск

² Белорусский государственный университет, Минск

Молоко и молочные продукты, богатые питательными веществами, являются благоприятной средой для развития микроорганизмов, которые могут вызывать их порчу. Контаминация может происходить на любом из этапов производства: в процессе отбора и переработки сырья, упаковки, транспортировки, реализации и хранения готовой продукции, как в производственных условиях, так и в домах потребителей. Источники и причины микробного загрязнения весьма разнообразны: на этапе отбора молока контаминация может происходить из окружающей среды, с рук персонала или необработанного оборудования, из воздуха на предприятии или при недостаточно качественной предварительной обработке исходного сырья, при нарушениях условий хранения, а также при повреждении упаковки [1].

Несмотря на то, что молочные продукты обычно изготавливаются из термически обработанного молока, хранятся при пониженных температурах, характеризуются низким значением pH, присутствием органических кислот и собственной конкурентоспособной микробиоты, они подвержены микробиологической порче. Согласно имеющимся данным, 5-10% случаев порчи молочных продуктов связаны с развитием микроскопических грибов, чаще родов *Aspergillus* и *Penicillium*, реже – *Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Eurotium*, *Exophiala*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Lecanicillium*, *Mucor*, *Rhizopus* и *Wallemia*. Развиваясь в молоке и молочных продуктах, грибы способны вызывать изменения вкуса, запаха и консистенции. В большинстве случаев порча, связанная с микромицетами, изначально определяется по появлению на поверхности продуктов мицелия различной окраски. Кроме того, может наблюдаться изменение цвета самого продукта, вызванное продукцией контаминантом определенных пигментов. Грибы родов *Penicillium* и *Aspergillus* также способны образовывать микотоксины, представляющие опасность для здоровья человека и животных [2, 3, 4].

Проблема микробиологической порчи молока и молочных продуктов определяет необходимость разработки эффективных средств для ее предотвращения. В настоящее время в пищевой промышленности широко используются химические вещества (консерванты), обладающие антимикробным действием против микроорганизмов-контаминантов и безопасные для потребителей. К таким антимикробным агентам относятся сорбат калия (E202), цитрат натрия (E331), пропионат натрия (E281), бензоат натрия (E211) и натамицин (E235) [3].

Цель исследования – оценка антифунгального действия консервантов и антимикробных добавок, применяемых в пищевой промышленности, в отношении микромицетов рода *Penicillium*.

Объектом исследования служил штамм *Penicillium* sp. БИМ F-851, выделенный из образца полутвердого сыра с признаками плесневого поражения [5].

Материалы и методы. В работе использовали сорбат калия («SMAK_VIP», Россия), цитрат натрия («БЕЛЛЕСХИМКОМПЛЕКТ», Беларусь) и пропионат натрия («Sigma», Германия) в концентрациях 0-2 г/л; бензоат натрия («SMAK_VIP», Россия) в концентрации 0-1 г/л; натамицин (50 % натамицин / 50 % поваренная соль; «Здоровеево», Россия) в концентрациях 1, 3, 5, 7 и 10 мг/л. Антифунгальное действие консервантов определяли в жидкой питательной среде YES (г/л: дрожжевой экстракт – 20; сахароза – 150; сульфат магния – 0,5) со значениями pH 5,0 и 6,0 [6]. Сорбат калия, цитрат натрия, пропионат натрия и бензоат натрия, во всех исследуемых концентрациях, растворяли в питательной среде YES. Для натамицина готовили стоковый раствор (200 мг/л) в диметилсульфоксиде (ДМСО), который вносили в питательную среду в нужной концентрации.

Культуру гриба выращивали на поверхности скошенного сусло-агара при 24 °C в течение 5 дней, после чего делали смыв спор стерильной дистиллированной водой. Используя камеру Горяева, готовили суспензию спор с концентрацией 10⁶ спор/мл.

В лунки культурального 96-луночного планшета («Sarstedt», кат. № 83.1835.300) вносили по 180 мкл жидкой питательной среды YES, содержащей консерванты в различной концентрации, после чего добавляли 20 мкл суспензии грибных спор. Для контроля стерильности среды (контроль 1) в лунки планшета вносили 200 мкл стерильной питательной среды; для контроля ростовых свойств среды – 180 мкл стерильной среды без добавления консерванта и 20 мкл суспензии спор (контроль 2). В случае натамицина, использовали дополнительный контроль, в котором в лунку вносили 180 мкл питательной среды с ДМСО и 20 мкл суспензии спор (контроль 3). Планшеты инкубировали при 24 °C в течение 72 ч, измеряя оптическую плотность при длине волны 540 нм (ОП₅₄₀) через каждые 24 ч. Измерения оптической плотности проводили, используя планшетный спектрофотометр BMG LABTECH SPECTROstar NANO (Германия). Все эксперименты проводили в трех биологических повторностях по три технических повторности в каждой. Для статистической обработки и анализа полученных данных применяли пакет программ Microsoft Excel. Представленные

результаты являются средним значением полученных величин.

Результаты исследования. Выявлены значительные различия в антифунгальной активности веществ, применяемых в пищевой промышленности в качестве консервантов и антимикробных добавок, в отношении штамма *Penicillium* sp. БИМ F-851 – контаминанта твердых сыров. Наиболее эффективными антифунгальными агентами оказались сорбат калия и натамицин (рисунок). Добавление в среду сорбата калия в минимальной исследуемой концентрации (0,5 г/л) приводило к подавлению роста культуры *Penicillium* sp. БИМ F-851 не зависимо от pH среды. Аналогично, натамицин в количестве 3 мг/л оказывал фунгицидное действие против пенициллов как при pH 5,0, так и при pH 6,0. Бензоат натрия в концентрации 0,5 г/л ингибировал рост культуры *Penicillium* sp. БИМ F-851 при pH 5,0, однако, не проявлял антифунгального эффекта при pH 6,0. Внесение в среду цитрата натрия и пропионата натрия во всех исследуемых концентрациях и при разных значениях pH не влияло на рост пенициллов.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании выбора антифунгальных добавок

для предупреждения микробиологической порчи продуктов в пищевой промышленности.

Список литературы

1. Розаленок Т.А., Сидорин Ю.Ю. Исследование и разработка антимикробной композиции для пищевых упаковок. Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 2. – С. 130-133.

2. Souza L.V. et al. Diversity of filamentous fungi associated with dairy processing environments and spoiled products in Brazil. Foods. – 2022. – Vol. 12, №1. – Art. 153.

3. Garnier L. et al. Diversity and control of spoilage fungi in dairy products: an update. Microorganisms. – 2017. – Vol. 3, № 5. – P. 42.

4. Benkerroum N. Mycotoxins in dairy products: a review. International dairy journal. – 2016. – Vol. 62. – P. 63-75.

5. Данилова Д.Ю., Кантор К.В., Сидоренко А.В. Мицелиальные и дрожжевые грибы, вызывающие порчу пищевых продуктов: разнообразие и устойчивость к факторам внешней среды. Актуальные аспекты современной микробиологии: материалы XIV Молодежной школы-конференции с международным участием, г. Москва, 6-8 ноября 2024 г. – М.: ВАШ ФОРМАТ, 2024. – С. 56-58.

6. Medina A., Lambert R.J.W., Magan N. Rapid throughput analysis of filamentous fungal growth using turbidimetric measurements with the Bioscreen C: a tool for screening antifungal compounds. Fungal Biol. – 2012. – Vol. 116. – P. 161-169.

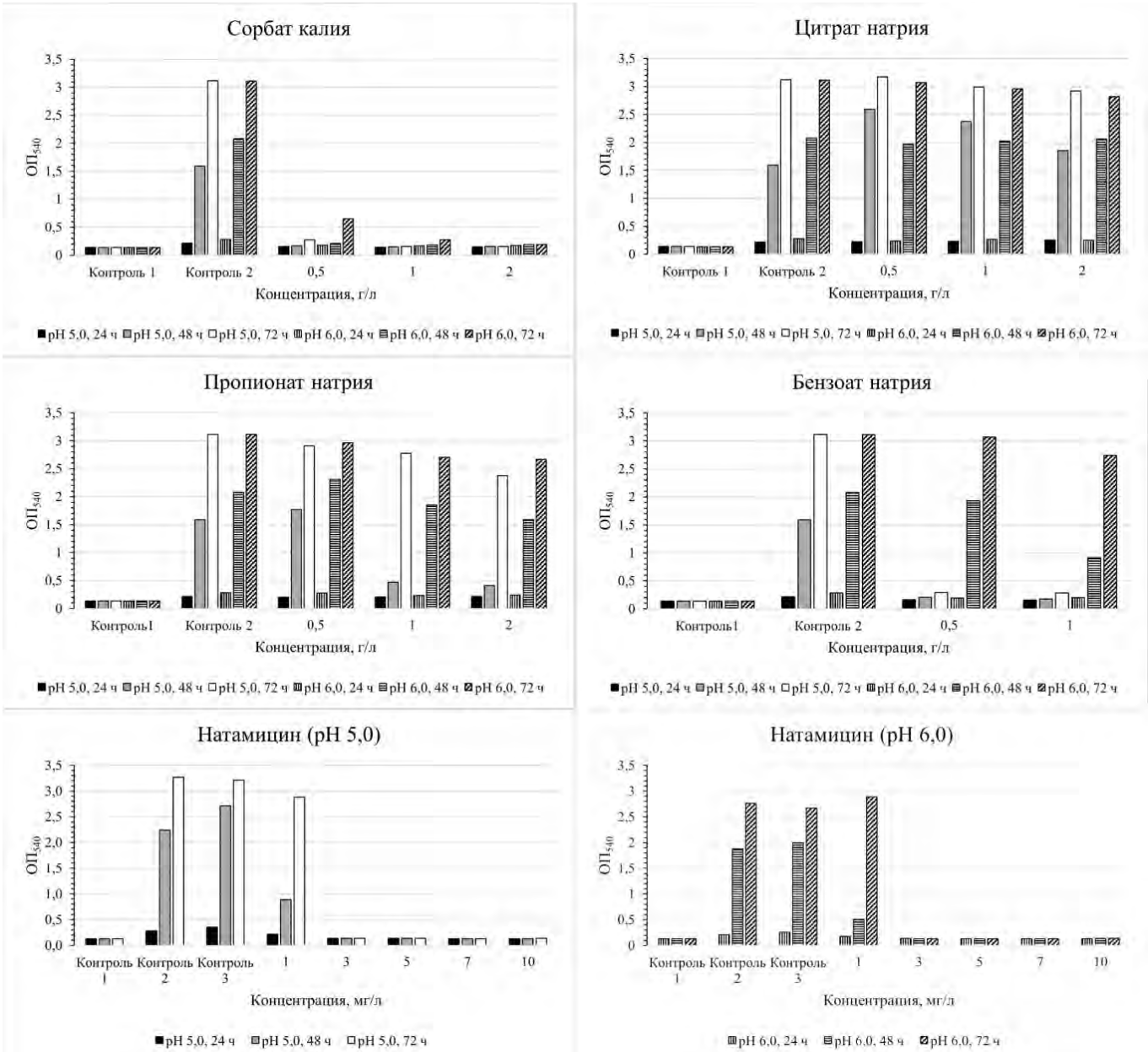


Рисунок 1. Изменение ОП₅₄₀ культуры *Penicillium* sp. БИМ F-851 через 24-72 ч культивирования в среде YES (pH 5,0 и 6,0) с различным содержанием консервантов и натамицина.

ИЗУЧЕНИЕ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ *BACILLUS GINSENGIHUMI* М 2.11

Дроздова М.С., Иткина Д.Л.
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет

В настоящее время острой проблемой остается инфекционная заболеваемость сельскохозяйственных культур, вызываемая различными фитопатогенными микроорганизмами, как бактериальной, так и грибной природы. Также, пагубное воздействие патогенов наносит урон и полезной, симбиотической микрофлоре почвы. В связи с этим необходим поиск новых продуцентов, проявляющих антагонистическую активность по отношению к фитопатогенным микроорганизмам.

Целью исследования стало изучение способности *Bacillus ginsengihumi* М 2.11 к подавлению роста фитопатогенных микромицетов, относящихся к родам *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Ascochyta*, *Alternaria*, вызывающих заболевания злаковых культур [1].

Фунгицидная активность определялась методом лунок на среде Чапека [2]. В центре чашки при помощи стерильного сверла вырезали лунку, диаметром 1 см и вносили, вырезанный аналогичным способом, диск с микромицетом (контрольный образец). Параллельно на среду Чапека высевали газоном 100 мкл ночной культуры штамма М 2.11 ($OD_{590} = 1$), затем также вырезали лунку и вносили диск с микромицетом. Культивирование осуществляли при температуре 30°C.

Анализ роста проводили на 3, 5 и 7 сутки культивирования, для этого измеряли диаметр колоний микромицетов и вычисляли ингибирование роста грибов по формуле: (%) = [(P-p) / P x 100], где P – радиальный рост колонии гриба в контрольном образце; p – радиальный рост гриба в комплексе с бактериями. В результате было выявлено, что исследуемый штамм М 2.11 проявляет высокую антагонистическую активность (56-68%) по отношению ко всем исследуемым фитопатогенным микромицетам.

В то же время было изучено профилактическое действие культуры штамма М 2.11. Для этого на среду Чапека высевали газоном 100 мкл ночной культуры исследуемого штамма и культивировали в течение суток при температуре 37°C, затем вырезали лунку и вносили диск с патогенным микромицетом (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Ascochyta*, *Alternaria*).

Культивирование и анализ роста осуществляли аналогичным образом. В результате было зафиксировано, что штамм М 2.11 полностью подавлял рост гриба в течение всего периода наблюдения. Исходя из этого можно предположить, что культура данного штамма подходит для профилактической терапии в борьбе с данными фитопатогенными грибами.

Также, биоконтрольные свойства штамма М 2.11 были установлены в лабораторных условиях на модельном растении – пшенице сорта Злата. Семена сутки хранили при температуре 5°C, затем в течение минуты обрабатывали в 70% растворе этанола, далее семена в течение 30 минут стерилизовали в 5% растворе гипохлорита натрия и многократно промывали стерильной дистиллированной водой. Стерильные семена обрабатывали суспензией клеток М2.11 ($OD_{590} = 0,5$; $KOE = 10^{-8}$) и спорами микромицета *Fusarium solani* в течение двух часов. Почву для семян дважды увлажняли и стерилизовали в сухожаровом шкафу с интервалом в 12 часов. Подготовленные стерильные пластиковые контейнеры заполняли почвой на 1/3 и высаживали семена. Итого получили четыре варианта: 1. стерильные семена (контроль) поливали стерильной водопроводной водой, 2. семена, обработанные микромицетом (контроль) поливали стерильной водопроводной водой, 3. семена, обработанные М2.11 поливали стерильной водопроводной водой, 4. семена, обработанные патогеном, поливали суспензией клеток М2.11.

Результаты фиксировали на 3, 5 и 7 сутки. На 7 сутки было выявлено, что лабораторная всхожесть семян в 4 варианте превышала всхожесть варианта 2 на 27%, в то время как всхожесть 3 варианта превышала показатель 1 варианта на 33%. Это может указывать на рост стимулирующие и биоконтрольные свойства исследуемого штамма.

Таким образом, в результате проведенного исследования была установлена фунгицидная активность штамма *B. ginsengihumi* М 2.11 по отношению к фитопатогенным микромицетам родов *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Ascochyta*, *Alternaria* и установлены биоконтрольные свойства на модельном растении.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-76 01069).

Список литературы

1. Пучкова Е. П. Грибы–возбудители инфекционных болезней растений. – К., 2020.
2. Petatan-Sagahan I., [et al]. Isolation of bacteria with antifungal activity against the phytopathogenic fungi *Stenocarpella maydis* and *Stenocarpella macrospora* // International Journal of Molecular Sciences. – 2011. – Т. 12. – №. 9. – С. 5522-5537.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТАММОВ *TRICHODERMA HARZIANUM* В КАЧЕСТВЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО АГЕНТА БИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И БИОУДОБРЕНИЯ

Григорян К.М.¹, Овсепян В.В.², Саргсян М.П.¹

¹ НИИ Биологии, Ереванский государственный университет

² Ванадзорский государственный университет

Введение. Представители рода *Trichoderma* широко распространены в окружающей среде. Они зарекомендовали себя как эффективные агенты биологического контроля, благодаря своей высокой воспроизводимости, адаптивности, способности колонизировать ризосферу с/х культур, высокому ингибирующему эффекту отно-

сительно фитопатогенных грибов и эффективности в стимулировании роста растений. В настоящем исследовании охарактеризованы штаммы рода *Trichoderma*, изолированные из почвы Арташатского региона, Армении.

Основная цель – выделение и идентификация видов рода *Trichoderma* из образцов почв Арташатского региона. Исследование также было направлено на выявление оптимальных условий роста штаммов вида *T. harzianum* и исследование их антигрибной активности относительно фитопатогенных грибов из рода *Fusarium* – *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, наносящих экономический ущерб при выращивании томатов, в процессе вегетации.

Материалы и методы. Микологическому анализу подвергнуты 10 образцов почвы, отобранных из ризосферы растения томата.

Для выделения микромицетов использован метод разведения, с последующим посевом на селективные среды Чапек-Докс агар, картофельно-декстрозный агар, глюкозо-дрожжевой агар (ISO/TS 10832:2009).

Идентификацию грибов проводили классическим методом, с использованием известных руководств (Siddiquee 2017; Gams et al. 1998; Samuels et al. 2006.)

Антигрибная активность штаммов *Trichoderma harzianum* относительно *Fusarium oxysporum* и *F. proliferatum* определялась методом двойных культур при разных температурах 25°C, 30°C и 35°C (Bell et al. 1982).

Для скрининга отобранных штаммов *T. harzianum*, использован полуколичественный метод анализа их ферментативной активности.

Ферментативная активность (целлюлазная, амилазная, липазная) штаммов *Trichoderma harzianum* исследовалась в соответствии с (Hankin and Anagnostakis, 1975).

Результаты. Подавляющее большинство изолированных из образцов почвы видов грибов относились к роду *Fusarium*, *Alternaria*. Доминирующий вид из рода *Fusarium* – *F. oxysporum*; из рода *Alternaria* – *A. alternata*. В проанализированных образцах почвы выявлены два вида из рода *Trichoderma* : *T. harzianum* и *T. viride*. Количественное содержание вида *T. harzianum* в образцах почвы варьировало от 8х10³ до 2х10⁴ кое/г, *T. viride* – от 50 до 2х10² кое/г.

Методом твердофазной ферментации 5 штаммов *T. harzianum* на среде с пшеничными отрубями отобраны штаммы TRH 1 и TRH 2, с высокой продукцией конидий.

Для максимальной продукции конидий штаммами *T. harzianum* оптимизированы следующие параметры – температура, pH, влажность, продолжительность инкубации, объем инокулята, воздействие света. Из семи штаммов *T. harzianum* отобраны два, с высоким уровнем продукцией конидий на картофельно-декстрозной агаризованной среде (PDA).

Результаты по продуцированию гидролитических ферментов штаммами *T. harzianum* TRH 1 и TRH 2 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты по полуколичественному определению гидролитических ферментов штаммов *T. harzianum* TRH 1 и TRH 2.

Штаммы <i>T.harzianum</i>	Зоны активности (мм)		
	целлюлазная	амилазная	липазная
TRH 1	25	21	26
TRH 2	21	15	23

Выраженная целлюлазная , амилазная, липазная активности выявлены у штамма *T. harzianum* TRH 1 (25, 21, 26 мм соответственно).

Результаты по антигрибной активности штаммов *T. harzianum* TRH 1 и TRH 2 относительно видов микромицетов *F. oxysporum* и *F.proliferatum* представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Оценка антагонистической активности штаммов *T. harzianum* TRH 1 и TRH 2 методом двойных культур.

Штаммы	<i>F. oxysporum</i>	<i>F.proliferatum</i>
<i>T. harzianum</i>	Процент ингибирования (%)	
TRH 1	82±0,47	66±0,82
TRH 2	64±0,82	57±1,25

Штамм *T. harzianum* TRH 1 проявил заметное ингибирование роста мицелия протестированных фитопатогенных микромицетов *F. oxysporum* и *F.proliferatum*. Указанные виды грибов вызывают различные серьезные болезни, такие как стеблевую гниль, сосудистое увядание томатов.

Максимальный процент ингибирования роста *F. oxysporum* штаммом *T. harzianum* TRH 1 составил 82%, *F. proliferatum* – 66%.

Все изоляты *Trichoderma* подавляли рост двух патогенов в различной степени при 30 C, 25⁰ C и 35⁰ C.

Закключение. Высокая антагонистическая активность штамма *T. harzianum* TRH 1 относительно патогенных микромицетов из рода *Fusarium*, известных возбудителей болезней растения томат, даст возможность использования указанного штамма для производства новых и безопасных биофунгицидов, с целью предотвращения вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека химических фунгицидов.

Список литературы

1. ISO/TS 10832:2009, Soil quality – Effect of pollutants on mycorrhizal fungi – Spore germination test, 2009, p. 19.

2. Bell DK, Wells HD, Markham CR. 1982. In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* 72: 379-382.

3. Gams W, Bissett J, Malik AF. 1998. Chapter 1: Morphology and identification of *Trichoderma*. In Harman GE and Kubicek CP, editors. *Trichoderma and Gliocladium* (Vol 1). Bristol: Taylor & Francis, p. 3–25.

4. Siddiquee S. 2017. Practical handbook of the biology and molecular diversity of *Trichoderma* species from tropical regions. In Gupta VK and Tuhoy MG, editors. *Fungal Biology Series Book*. Cham: Springer International Publishing AG; p. 17–100.

5. Samuels GJ, Roosman SA, Chaverri P, Overton B, Poldma K. 2006. *Hypocreales of the Southeastern United States: An identification guide*. *CBs Biodivers Series*. 4:1–145.

6. Hankin L., Anagnostakis, S.L. (1975) The Use of Solid Media for Detection of Enzyme Production by Fungi. *Mycology*, 67, 597-607.

ПАТОГЕННОСТЬ ШТАММОВ ГРИБОВ *FUSARIUM ACUMINATUM* И *F. TRICINCTUM* И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИХ К ДЕЙСТВУЮЩИМ ВЕЩЕСТВАМ ФУНГИЦИДОВ

Максимов А.Ю.¹, Гагкаева Т.Ю.²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
²Всероссийский НИИ защиты растений (ВИЗР), Санкт-Петербург

Соя культурная (*Glycine max* (L.) Merr.) входит в первую десятку наиболее значимых сельскохозяйственных культур. В последние годы появилось много публикаций, описывающих у этого растения заболевание фузариозной этиологии, которое имеет общее название «фузариоз сои». Симптомы заболевания включают гниль корней и проростков, обширные некрозы стеблей, зараженность семян и увядание, приводящее к полной гибели уже взрослого растения [1-3].

Скорость течения инфекционного процесса и результат снижения вредоносности заболевания могут зависеть от различных факторов, в том числе от видового состава патогенов. Фузариоз сои вызывают различные грибы рода *Fusarium*. Исследования видового состава фузариевых грибов в регионах возделывания этой зернобобовой культуры выявили около 20 видов, среди которых часто идентифицируют *F. acuminatum* Ellis & Everhart, *F. graminearum* Schwabe, *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. tricinctum* (Corda) Sacc. и др. [4-6]. Данные виды грибов являются патогенами растений различных систематических групп, не имеют органотропную приуроченность, и паразитируют на корнях, стеблях, листьях, плодах и семенах [7, 8]. Для борьбы с грибами *Fusarium* применяют фунгициды из различных химических классов, среди которых наиболее широко представлены препараты из классов азолы (дифеноконазол, пропиконазол, тебуконазол и др.) и стробилурины (азоксистробин) [9].

Целью исследования являлась сравнительная оценка патогенности штаммов *Fusarium acuminatum* и *F. tricinctum* к листьям сои и пшеницы, а также определение их чувствительности к действующим веществам фунгицидов из разных химических классов.

Для изучения были выбраны 6 штаммов грибов *F. acuminatum* и 5 штаммов *F. tricinctum*, выделенных из тканей растений сои и пшеницы, хранящихся в коллек-

ции микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР (Табл. 1).

Штаммы грибов культивировали на питательном картофельно-сахарозном агаре (КСА). Патогенность грибов оценивали по результатам инокуляции листьев сои сорта Изидор и озимой пшеницы с. Васса. Растения выращивали в лабораторных условиях на светоустановке в вегетационных горшках, наполненных почвой. Оценка проводилась путем инокуляции сегментов листьев дисками, вырезанными из культур грибов. Листья пшеницы размещали в эмалированных кюветах на фильтровальной бумаге, смоченной 0,004 % водным раствором бензимидазола, листья сои помещали в пластиковые коробки на фильтровальной бумаге, увлажненной водой. Величину симптома повреждения после инокуляции листьев пшеницы и сои оценивали на 5 и 7 сутки, соответственно. В соответствии с вызываемыми симптомами штаммы характеризовали как непатогенные (отсутствие некроза), слабоагрессивные (длина некроза = 5–10 мм), агрессивные (длина некроза = 11–15 мм) и высокоагрессивные (длина некроза = более 15 мм).

Чувствительность штаммов грибов *F. acuminatum* и *F. tricinctum* оценивали к девяти действующим веществам (д.в.) фунгицидов, относящихся к четырем химическим классам. Действующие вещества разводили вначале в диметилсульфоксиде (DMSO), а затем в стерильной воде таким образом, чтобы получить расчетную концентрацию в питательной среде, в соответствии с рекомендациями по применению фунгицидов, содержащих данные д.в., в полевых условиях [10]. В контроле использовали чашки Петри с чистым КСА. Через 7 суток инкубации (25 °С, темнота) измеряли диаметры выросших колоний в двух взаимно перпендикулярных направлениях и рассчитывали их средний размер. Ингибирующее действие препарата на рост гриба определяли как отношение размера колонии

Таблица 1. Штаммы грибов рода *Fusarium*, включенные в исследование

Коллекционный штамм	Вид <i>Fusarium</i>	Происхождение	Растение	Орган	Год
MFG 12926	<i>F. acuminatum</i>	Рязанская обл.	соя	семена	2006
MFG 20008	<i>F. acuminatum</i>	Приморский край	соя	лист	2022
MFG 80321	<i>F. acuminatum</i>	Приморский край	соя	проростки	2022
MFW 1146	<i>F. acuminatum</i>	Приморский край	соя	стебель	2017
MFW 1147	<i>F. acuminatum</i>	Приморский край	соя	стебель	2017
MFW 1145	<i>F. acuminatum</i>	Приморский край	соя	стебель	2017
MFG 58869	<i>F. tricinctum</i>	Краснодарский край	пшеница	колос	2016
MFG 60751	<i>F. tricinctum</i>	Ставропольский край	пшеница	зерно	2019
MFG 60207	<i>F. tricinctum</i>	Новосибирская обл.	пшеница	зерно	2017
MFG 80577	<i>F. tricinctum</i>	Краснодарский край	соя	семена	2008
MFG 80237	<i>F. tricinctum</i>	ДВ, Амурская обл.	пшеница	зерно	2021

в варианте к размеру колонии в контроле, выраженное в процентах. Повторность эксперимента двухкратная. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

По итогам проведенных исследований, достоверных различий по патогенности между видами *F. acuminatum* и *F. tricinctum* не выявлено ($p = 0,84$), однако установлено значительное внутривидовое разнообразие грибов. Наиболее агрессивными штаммами к листьям сои и пшеницы были штаммы *F. acuminatum* MF-W 1145 (размеры некрозов $19,9 \pm 7,6$ мм и $22,5 \pm 2,5$ мм, соответственно) и MFG 80321 ($13,5 \pm 4,7$ мм и $22,4 \pm 5,4$ мм, соответственно). А среди штаммов *F. tricinctum* более агрессивными были штаммы MFG 60207 ($9,5 \pm 10,6$ и $19,1 \pm 1,4$ мм, соответственно) и MFG 80577 ($9,5 \pm 12,3$ и $26,6 \pm 3,4$ мм, соответственно).

В результате оценки чувствительности к д.в. выявлено, что карбендазим (класс бензимидазолы) в используемой концентрации полностью подавлял рост всех анализируемых штаммов грибов (Табл. 2). Следующий по эффективности оказался тебуконазол (класс азолы) ($p < 0,001$). Пропиконазол (класс азолы) также значительно превосходил по эффективности другие анализируемые д.в. ($p < 0,02$). К группе д.в., характеризующейся низкой эффективностью в подавлении роста штаммов грибов, относились азоксистробин, дифеноконазол и ципродинил. Ингибирование роста грибов под воздействием данных веществ составило менее 50 % от контроля.

Для двух д.в. уставлены достоверные различия по влиянию на штаммы двух видов грибов. Так, азоксистробин ($p = 0,015$) и ципродинил ($p = 0,049$) значительно сильнее подавляли рост культур гриба *F. acuminatum*, по сравнению с *F. tricinctum*.

Оценка патогенности показала значительное внутривидовое разнообразие грибов *F. acuminatum* и *F. tricinctum* по способности вызывать некрозы на листьях сои с. Изидор и пшеницы с. Васса. На питательной среде установлена наибольшая чувствительность штаммов обоих видов к д.в. карбендазим и тебуконазол. Выявлены достоверные межвидовые различия по чувствительности штаммов к азоксистробину и ципродинилу.

Таблица 2. Подавление (%) диаметра колоний грибов *F. acuminatum* и *F. tricinctum* под воздействием фунгицидных действующих веществ.

№	Действующее вещество	Концентрация д.в.в КСА, г/л	<i>F. acuminatum</i> (n=6)	<i>F. tricinctum</i> (n=5)
1	Азоксистробин*	0,2	$48,9 \pm 7,4$	$69,3 \pm 14,8$
2	Дифеноконазол	0,1	$52,1 \pm 9,4$	$59,6 \pm 9,0$
3	Карбендазим	1,0	0	0
4	Пропиконазол	0,48	$12,1 \pm 4,1$	$13,8 \pm 5,0$
5	Тебуконазол	0,4	$3,0 \pm 5,4$	$6,7 \pm 6,3$
6	Флудиоксонил	0,6	$22,6 \pm 13,4$	$50,3 \pm 27,0$
7	Ципродинил *	0,25	$56,0 \pm 11,0$	$75,9 \pm 17,7$
8	Ципроконазол	0,12	$34,0 \pm 7,0$	$38,3 \pm 8,7$
9	Эпоксиконазол	0,34	$20,2 \pm 7,1$	$23,1 \pm 8,1$

*Выявлены достоверные различия по чувствительности штаммов грибов двух видов при $p < 0.05$.

Список литературы

1. Курилова Д.А. Вредоносность фузариоза сои в зависимости от степени поражения растений. Масличные культуры: Науч.-техн. бюл. ВНИИ маслич. культур. Краснодар, 2010, вып. 2 (144–145), с. 84–89

2. Курилова Д.А. Распространенность фузариоза в посевах сои в условиях центральной зоны Краснодарского края. Сборник

материалов 11-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. Краснодар, 2021, с. 193–195. DOI 10.25230/conf11-2021-193-195

3. Broders K.D., Lipps P.E., Paul P.A., Dorrance A.E. Evaluation of *Fusarium graminearum* associated with corn and soybean seed and seedling disease in Ohio. Plant Dis., 2007, 91, 1155–1160. DOI:10.1094/PDIS-91-9-1155

4. Гаврилова О.П., Орина А.С., Гагкаева Т.Ю. Разнообразие и патогенность грибов рода *Fusarium*, встречающихся в микобиоте сои. Российская сельскохозяйственная наука. 2023, № 3, с. 31–35. DOI: 10.31857/S2500262723030067

5. Arias M.M.D., Munkvold G.P., Ellis M.L., Leandro L.F.S. Distribution and frequency of *Fusarium* species associated with soybean roots in Iowa. Plant Dis. 2013, 97,1557–1562. DOI: 10.1094/PDIS-11-12-1059-RE

6. Zhang J. X., Xue A. G., Zhang H. J., Nagasawa A. E., Tambong J. T. Response of soybean cultivars to root rot caused by *Fusarium* species. Can. J. Plant Sci., 2010, 90, 767–776. DOI:10.4141/CJPS09133

7. Chiotta M. L., Alaniz Zanon M. S., Palazzini J. M., Scandiani M. M., Formento A. N., et al. Pathogenicity of *Fusarium graminearum* and *F. meridionale* on soybean pod blight and trichothecene accumulation. Plant Pathol., 2016, 65, 1492–1497. DOI: 10.1111/ppa.12532

8. Shea Z., Singer W.M, Zhang B. Soybean production, versatility, and improvement. Legum. Crop., 2020. DOI: 10.5772/intechopen.91778

9. Гришечкина Л.Д., Волкова Г.В., Долженко В.И. Исследование эффективности фунгицидов для защиты зерновых культур от фузариоза колоса. Доклады Российской Академии Сельскохозяйственных Наук. 2012, 4, с. 13–16

10. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов по состоянию на 1.08.2024 г.

ВЛИЯНИЕ ФУНГИЦИДОВ НА ИНГИБИРОВАНИЕ РОСТА МИЦЕЛИЯ ФИТОПАТОГЕННОГО ГРИБА *FUSARIUM OXYSPORUM*

Малахова С.Д.

Волгоградский государственный технический университет

Фитопатогенный гриб *Fusarium oxysporum* является одним из наиболее распространенных возбудителей заболеваний растений, вызывающих значительные потери урожая сельскохозяйственных культур по всему миру. Этот патоген способен поражать широкий спектр культурных растений, включая зерновые, овощные и технические культуры. В связи с этим разработка эффективных методов борьбы с данным грибом имеет важное значение для сельского хозяйства. Одним из основных способов контроля распространения фитопатогенных грибов являются фунгициды – химические вещества, способные подавлять рост и развитие патогена. В данной работе рассматривается влияние двух широко используемых фунгицидов – тиabendазола и флудиоксонила – на ингибирование роста мицелия *Fusarium oxysporum* [1,2].

Тиabendазол – это высокоэффективный контактно-системный фунгицид широкого спектра действия из группы бензимидазолов. Он активно применяется для борьбы с кагатными гнилями и болезнями хранения, создавая защитный слой на поверхности овощей и фруктов, сохраняющий свое действие до шести месяцев. Тиabendазол ингибирует синтез нуклеиновых кислот и дыхание у патогенов.

Флудиоксонил – это фунгицид с широким спектром активности, направленный на подавление роста мицелия. Хотя он относительно стабилен, под воздействием света быстро разлагается. Обладает длительным защитным действием и слабым системным эффектом, блокируя фосфорилирование глюкозы в процессе клеточного дыхания. Флудиоксонил эффективен против патогенов рода *Fusarium* и *Tilletia*, часто используется для обработки семян [3].

Материалы и методы исследований. Для проведения исследования были использованы чистые культуры *Fusarium oxysporum*, выделенные из пораженных растений картофеля (*Solanum tuberosum*). Штаммы *F. oxysporum* культивировали в чашках Петри на плотной питательной среде Чапека. Для получения статической культуры фитопатогенных грибов в стерильные колбы с 50 мл стерильной жидкой питательной среды добавляли 100 мкл суспензии спор гриба, содержащей 103 КОЕ. В эти же колбы вносили растворы протравителей флудиоксонил и тиabendазол, чтобы их концентрация в среде соответствовала дозам 2,0; 2,5 и 3,0 ppm для флудиоксонила и 6,0; 7,5 и 9,0 ppm для тиabendазола. В контрольную колбу фунгициды не вносили (0:0). Мицелий выращивали в течение 7...12 дней. Затем культуральную жидкость и мицелий фильтровали через предварительно высушенные при температуре 55 °C и взвешенные фильтры (белая или красная лента), полученные фильтры с мицелием сушили при температуре 55 °C до постоянной массы, повторно взвешивали и рассчитывали массу мицелия [4].

Результаты исследований. Результаты эксперимента показали значительное ингибирующее воздействие обоих фунгицидов на рост мицелия *Fusarium oxysporum*. Однако степень ингибирования зависела от типа используемого фунгицида и его концентрации.

При внесении флудиоксонила как единственного действующего вещества (2,0:0; 2,5:0; 3,0:0 ppm) рост мицелия снижался на 5,5...17,5 % относительно контроля (0:0) (рис. 1). В ответ на ингибирование роста мицелий *F. oxysporum* выделял слизь, тем самым препятствуя проникновению фунгицида в клетки.

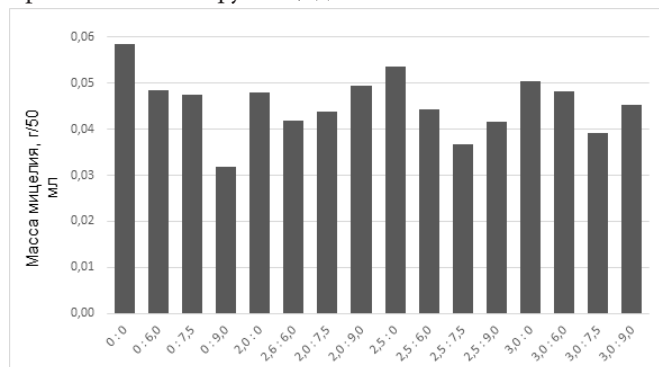


Рисунок 1. Влияние флудиоксонила и тиabendазола на рост *F. oxysporum*, г/50 мл.

При внесении тиabendазола в соотношениях 0:6,0; 0:7,5; 0:9,0 ppm по мере увеличения его дозы масса мицелия уменьшалась, по сравнению с контролем, на 16...44 %. Следовательно, его фунгистатическое действие возрастало с повышением дозы и было более выражено, по сравнению с флудиоксонилом.

Использование изучаемых действующих веществ в соотношениях 2,0:6,0; 2,0:7,5 и 2,0:9,0 ppm по мере роста дозы тиabendазола способствовало увеличению массы мицелия. При этом наилучшее фунгистатическое действие наблюдали в соотношениях 2,0:6,0 и 2,0:7,5 ppm. В образцах с соотношением веществ 2,5:6,0; 2,5:7,5; 2,5:9,0; 3,0:6,0; 3,0:7,5 и 3,0:9,0 ppm наблюдали зависимость сокращения массы мицелия по мере роста дозы тиabendазола. Из этого ряда лучшими можно считать соотношения 2,0:6,0; 2,5:7,5 и 2,5:9,0 ppm, так как при повышении дозы флудиоксонила до 3,0 ppm масса мицелия отмечена выше, чем в указанных вариантах на 2,5...6,5 мг/50 мл.

Оценивая фунгистатическое действие во всех образцах отметим, что оптимальное ингибирующее воздействие оказывала пропорция 2,0:6,0 ppm, так как при дозе 2,5:7,5 ppm торможение роста мицелия не было значительным, а расход действующего вещества возрастал.

Кроме того, было отмечено, что оба фунгицида вызывали морфологические изменения в структуре мицелия, такие как утолщение гиф и образование вакуолей, что свидетельствует о токсическом воздействии препаратов на клеточные структуры гриба [5].

Полученные результаты подтверждают эффективность тиabendазола и флудиоксонила в качестве средств для борьбы с *Fusarium oxysporum*. Тиabendазол оказался более эффективным препаратом благодаря своей способности проникать внутрь клеток гриба и нарушать процессы деления ядер, что ведет к замедлению роста мицелия. Флудиоксонил действует преимущественно на поверхности клетки, нарушая

проницаемость мембран и обмен веществ, что также способствует угнетению роста патогена.

Важно отметить, что эффективность обоих фунгицидов зависит от их концентрации. Низкие дозы могут оказаться недостаточными для полного подавления развития гриба, тогда как высокие концентрации способны обеспечить надежный контроль над распространением инфекции.

Оптимальные результаты были достигнуты при использовании тиабендазола и флудиоксонила в соотношении 2,0:6,0 и 2,5:7,5 ppm, где наблюдалось снижение массы мицелия на 26–35% по сравнению с контрольным вариантом. Это указывает на возможность эффективного применения данных препаратов для предотвращения и уменьшения ущерба, причиняемого фитопатогенами.

В дальнейшем следует сосредоточить усилия на оптимизации дозировок и разработке комплексных стратегий применения фунгицидов в сельском хозяйстве, сочетающих химический метод борьбы с агротехническими мероприятиями и селекцией устойчивых сортов растений.

ПЕРВИЧНЫЙ СКРИНИНГ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ШТАММОВ-АНТАГОНИСТОВ *P. BACILLUS* В ОТНОШЕНИИ *COLLETOTRICHUM* SP., ВОЗБУДИТЕЛЯ АНТРАКНОЗНОЙ ГНИЛИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ В ПЕРИОД ХРАНЕНИЯ

Марченко Н.А.¹, Маслиенко Л.В.², Якуба Г.В.¹

¹ Северо-Кавказский ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар

² ФНЦ Всероссийский НИИ масличных культур имени В.С. Пустовойта, Краснодар

Введение. Микромицеты рода *Colletotrichum* вызывают заболевание антракноз, или горькая гниль, которое считается одной из наиболее значительных угроз в глобальном производстве плодов яблони [1]. Представители рода *Colletotrichum* являются широкими полифагами и распространены практически во всех климатических зонах возделывания сельскохозяйственных культур. Микромицеты этого рода способны поражать листья, ветви, плоды яблони в период вегетации, а также в период хранения после закладки убранных урожаев в холодильные камеры, что приводит к большому экономическим потерям по всему миру [2].

Широкая видовая специализация в отношении растений-хозяев обуславливает взаимодействие патогенов с большим количеством различных действующих веществ фунгицидов, что, в свою очередь, может вызывать сдвиг чувствительности и постепенное развитие резистентности у популяций *Colletotrichum* spp. Один из приемов снижения риска развития резистентности – введение препаратов биологического происхождения в систему защиты. На сегодняшний день в России ассортимент биологических препаратов против антракнозной гнили плодов яблони ограничен. Целью данного исследования был поиск перспективных биоагентов с антагонистической активностью в отношении возбудителя антракнозной гнили плодов яблони, развивающейся в период длительного хранения.

Материалы и методы. Объектами исследований служили антагонисты возбудителей болезней масличных культур из рабочей коллекции лаборатории биометода ВНИИМК: 27 бактериальных штаммов рода *Bacillus* и возбудитель антракноза плодов яблони в период хранения *Colletotrichum* sp.

Согласно методике ступенчатого скрининга [3], первичную оценку антагонистической активности *in vitro* проводили методом двойных, или встречных, культур [4]. Культуры антагонистов и возбудителя болезни вы-

Список литературы

1. Торопова Е. Ю., Селюк М. П., Казакова О. А. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патокмплексе корневых гнилей зерновых культур. *Агрохимия*. 2018. № 5. С. 69–78
2. Малюга А.А. и соавт. Препараты на основе флудиоксонила как средства защиты картофеля от болезней и их эффективность. *Агрохимия*. 2022. № 2. С. 34–44
3. Малахова С.Д., и соавт. Оценка фитотоксического действия и биологической эффективности препарата на основе тиабендазола и флудиоксонила для защиты технических культур. *Земледелие*. – 2024. – № 5. – С. 42–47.
4. Малахова С.Д. Оценка фунгицидного и токсигенного влияния протравителей флудиоксонил и тиабендазол на рост *Fusarium Oxysporum* в накопительной культуре. Молодые ученые России: сб. ст. XVI Всерос. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 7 декабря 2022 г.) отв. ред. Г. Ю. Гуляев; МЦНС «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.). – Пенза, 2022. – С. 15–18.
5. Заргарян Н. Ю., Кекало А. Ю., Немченко В. В. Зараженность семян и растений пшеницы фитопатогенами рода *Fusarium*, методы оздоровления. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4 (60). С. 96–101.

рачивали отдельно на агаризированных питательных средах в течение 10 суток. Затем, стерильным сверлом вырезали блоки диаметром 0,7 см с мицелием антагониста и патогена и помещали их в одну чашку Петри на расстоянии 6,0 см друга от друга. Контролем служили культуры антагонистов и патогена, посеянные порознь. Культивирование проводили на картофельно-сахарозном агаре (КСА) [4] и на специализированной среде для бактерий р. *Bacillus* – Тайлона-3 [5], при 12-ти часовом светопериоде и температуре воздуха 25 °С. Данные об антагонистической активности учитывали на 20-е сутки совместного культивирования. Отмечали характер взаимоотношения антагониста и патогена: конкуренцию за площадь питания (рост культуры патогена и антагониста в процентах от площади чашки Петри), наличие или отсутствие зон задержки роста патогена в результате синтеза вторичных метаболитов (антибиоз). Повторность опыта трехкратная.

Результаты и обсуждение. Результаты оценки 27 лекционных штаммов бактерий из рода *Bacillus* на питательной среде КСА (таблица 1) показали, что через 20 суток совместного культивирования все исследуемые штаммы оказали ингибирующее действие в отношении *Colletotrichum* sp. Кроме того, все изученные штаммы проявили антибиотическое действие на возбудителя антракноза. При заражении антагонистами поверхности питательной среды от 1,3 до 18,1 % образовывалась стерильная зона 1,0–18,0 мм. Максимальную антибиотическую активность на среде КСА проявили штаммы D 7-3, K 1-1 Fz 9, K 1-2, B-4, Fa 4-2, 3-2 *Bacillus* sp., у которых стерильная зона составила 18,0–13,0 мм.

На специализированной для бактерий рода *Bacillus* среде Тайлона-3 (таблица 2) возбудитель *Colletotrichum* sp. в контрольном варианте за 20 суток культивирования также как и на КСА занял 100 % поверхности питательной среды. Из 26 штаммов антагонистическую активность к патогену проявили 24. Штаммы 3-3,

Р-9, Б-12, 5-3 *Bacillus* sp. проявили двойной механизм антагонистического действия: конкуренция за площадь питания и антибиоз. Колонии антагонистов занимали 53,5-91,2 % питательной среды, а антибиотическая зона варьировала от 1,0 до 4,0 мм.

Таблица 1. Антибиотическая активность штаммов бактери-антагонистов из рода *Bacillus* к возбудителю антракноза яблони *Colletotrichum* sp. при температуре 25 °С на среде КСА, на 20-е сутки культивирования.

Штамм-антагонист	Площадь зарастания поверхности питательной среды, %		Размер антибиотической зоны, мм
	антагонистом	патогеном	
<i>Colletotrichum</i> sp. (контроль)	-	100	-
антибиоз			
D 7-3 <i>Bacillus</i> sp.	6,8	71,4	18,0 ± 0,9
K 1-1 <i>Bacillus</i> sp.	3,8	49,5	18,0 ± 0,5
Fz 9 <i>Bacillus</i> sp.	18,1	34,2	17,5 ± 0,4
K 1-2 <i>Bacillus</i> sp.	2,6	53,6	17,0 ± 0,3
Б-4 <i>Bacillus</i> sp.	3,5	65,4	16,0 ± 0,6
Fa 4-2 <i>Bacillus</i> sp.	20,6	53,5	15,0 ± 0,4
D-10 <i>Bacillus</i> sp.	24,2	52,8	15,0 ± 0,7
3-2 <i>Bacillus</i> sp.	1,3	62,1	13,0 ± 0
Б-2 <i>Bacillus</i> sp.	10,5	58,4	12,5 ± 0,2
11-3 <i>Bacillus</i> sp.	4,0	28,2	11,0 ± 0,1
5 Б-1 <i>Bacillus</i> sp.	3,4	52,0	7,0 ± 0,6
Б-5 <i>Bacillus</i> sp.	3,5	61,7	7,0 ± 1,1
Far 8 <i>Bacillus</i> sp.	2,6	57,5	7,0 ± 0,9
D1-1 <i>Bacillus</i> sp.	1,5	53,3	6,5 ± 0,4
Fa 4-1 <i>Bacillus</i> sp.	3,6	57,6	6,0 ± 0,6
11-2 <i>Bacillus</i> sp.	5,4	55,2	6,0 ± 1,3
3-3 <i>Bacillus</i> sp.	2,2	58,3	5,0 ± 0,1
BB(C) <i>Bacillus</i> sp.	3,6	64,8	4,5 ± 0,5
Б-12 <i>Bacillus</i> sp.	4,2	52,8	3,0 ± 0,1
D 1-3 <i>Bacillus</i> sp.	4,1	50,6	3,0 ± 0,3
11-1 <i>Bacillus</i> sp.	4,0	28,2	2,5 ± 0
5-3 <i>Bacillus</i> sp.	4,1	51,2	2,0 ± 0,2
1a <i>Bacillus</i> sp.	1,2	44,9	2,0 ± 0,2
Д 7-1 <i>Bacillus</i> sp.	3,0	51,2	2,0 ± 0,3
P-9 <i>Bacillus</i> sp.	2,6	56,4	2,0 ± 0,2
01 кор f <i>Bacillus</i> sp.	4,9	56,4	1,0 ± 0,1
Б (2-1) <i>Bacillus</i> sp.	4,9	52,2	1,0 ± 0

Культивирование микромицетов выявило более выраженную способность антагонистов в конкуренции за пространство на среде Тайлона-3, в сравнении с ростом на среде КСА. Так, 13 штаммов (5-3, D-10, 11-2, Б-5, 11-1, Д 7-1, Far8, Б (2-1), К 1-2, Б-12, Р-9, 3-3 *Bacillus* sp.) заняли площадь питания более 50 % чашки Петри. Наибольшей антибиотической активностью обладали штаммы К 1-1, D 7-3 и 3-2 *Bacillus* sp., размер их антибиотической зоны при совместном культивировании был в диапазоне 8-12,5 мм.

Таблица 2. Антибиотическая активность штаммов бактери-антагонистов из рода *Bacillus* к возбудителю антракноза яблони *Colletotrichum* sp. при температуре 25 °С на среде Тайлона -3, на 20-е сутки культивирования.

Штамм-антагонист	Площадь зарастания поверхности питательной среды, %		Размер антибиотической зоны, мм
	антагонистом	патогеном	
<i>Colletotrichum</i> sp. (контроль)	-	100	-
конкуренция за площадь питания + антибиоз			
3-3 <i>Bacillus</i> sp.	53,5	22,1	4,0 ± 0,3
P-9 <i>Bacillus</i> sp.	54,6	16,4	2,0 ± 0,1
Б-12 <i>Bacillus</i> sp.	58,3	24,3	1,0 ± 0
5-3 <i>Bacillus</i> sp.	91,2	8,1	1,0 ± 0
конкуренция за площадь питания			
D-10 <i>Bacillus</i> sp.	91,1	6,9	0
11-2 <i>Bacillus</i> sp.	70,6	7,5	0
Б-5 <i>Bacillus</i> sp.	71,7	8,1	0
11-1 <i>Bacillus</i> sp.	71,1	11,6	0
Д 7-1 <i>Bacillus</i> sp.	68,1	7,3	0
Far 8 <i>Bacillus</i> sp.	66,6	11,0	0
Б (2-1) <i>Bacillus</i> sp.	65,6	8,1	0
К 1-2 <i>Bacillus</i> sp.	62,6	10,4	0
D 1-3 <i>Bacillus</i> sp.	43,5	28,5	0
Fa 4-1 <i>Bacillus</i> sp.	41,6	49,8	0
Б-2 <i>Bacillus</i> sp.	2,7	50,4	0
антибиоз			
К 1-1 <i>Bacillus</i> sp.	5,6	38,1	12,5 ± 0,7
D 7-3 <i>Bacillus</i> sp.	1,0	54,9	8,5 ± 1,2
3-2 <i>Bacillus</i> sp.	1,2	51,4	8,0 ± 1,4
Б-4 <i>Bacillus</i> sp.	3,6	38,7	6,0 ± 0,3
11-3 <i>Bacillus</i> sp.	1,3	57,2	6,0 ± 0,5
D1-1 <i>Bacillus</i> sp.	42,1	18,8	6,0 ± 1,0
Fa 4-2 <i>Bacillus</i> sp.	41,3	30,3	4,2 ± 0,4
BB(C) <i>Bacillus</i> sp.	8,5	44,3	2,5 ± 0,3
5 Б-1 <i>Bacillus</i> sp.	49,4	18,5	2,0 ± 0,6
1a <i>Bacillus</i> sp.	37,0	37,7	2,0 ± 0,4
Fz 9 <i>Bacillus</i> sp.	10,2	45,3	1,0 ± 0,1

Выводы. Таким образом, при оценке 27 коллекционных штаммов бактерий р. *Bacillus* на двух питательных средах антагонистическая активность в отношении *Colletotrichum* sp., возбудителя антракнозной гнили плодов яблони при хранении, была отмечена у 24 штаммов. Одновременно для двух сред установлен только один общий механизм действия – антибиоз, который был отмечен у 21 штамма. У 4 штаммов (3-3, Р-9, Б-12, 5-3 *Bacillus*) на среде Тайлона-3 установлен двойной механизм действия: антибиоз и конкуренция за площадь питания. Наиболее высокая антагонистическая активность на двух питательных средах была определена у штаммов D 7-3, К 1-1, Fz 9, К 1-2, Б-4, Fa 4-2, 3-2 *Bacillus* sp., которые были отобраны как перспективные для дальнейшей работы по созданию микробиологических препаратов для контроля антракнозной гнили плодов яблони, развивающейся при хранении.

ФУНГИЦИДНЫЕ И РОСТСТимулирующие свойства наночастиц серы

Массалимов И.А.^{1,2}, Массалимов Б.И.³, Ахметшин Б.С.¹, Мустафакулов Ш.С.¹

¹Уфимский Университет Науки и Технологий

²Научно-исследовательский технологический институт гербицидов, Уфа

³Физический институт им. Лебедева РАН, Москва

Химические средства защиты растений по объему применения занимают большое место и имеют много преимуществ, особенно с точки зрения экономической целесообразности. Однако наряду с достоинствами следует отметить и их недостатки, прежде всего токсичность для теплокровных животных и человека. Резкое возрастание объемов использования гербицидов, инсектицидов, десикантов привело к значительному загрязнению окружающей среды. В связи с необходимостью обеспечения безопасности применения химических препаратов для человека и окружающей среды возрастают требования к качеству таких препаратов, возникает необходимость разработки и внедрения новых, более технологичных и безопасных способов их применения.

Элементарная сера, вероятно, является старейшим из всех пестицидов, еще в 1000 г. до н. э. Гомер говорил о «сере, отпугивающей вредителей, с ее свойствами божественного и очищающего окуливания». Таким образом, сера является хорошо изученным и известны ее воздействия (действует на широкий круг патогенных грибов и растительных клещей) и у нее отсутствуют отдаленные токсикологические и экологические последствия.

Сера является элементом питания растений и потому проводя, антифунгальную обработку, мы также и питаем растения и даем им возможность гармонично развиваться. Таким образом, элементарная сера, являясь экологически безопасным веществом, может в то же время использоваться и в качестве средства защиты растений, и в качестве удобрения, содержащего серу. Дисперсная элементарная сера наносится на поверхность растений или семян предварительно, пока возбудитель заболевания не проник в их ткани и не вызвал заболевание. Этим объясняется стремление покрыть защитным слоем фунгицида всю поверхность обрабатываемого растения. Заразное начало болезни (споры, грибки), попав на обработанное фунгицидом растение, гибнет или теряет способность к заражению. Отсюда следует, что эффективность частиц серы зависит от ее размеров, потому что чем мельче частица серы тем более равномерно она покрывает поверхность растения. При

Список литературы

1. Dean R., Jan A.L. van Kan, Zacharias A., et al. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*. – 2012 – V. – № 13 – P. 414–430. DOI:10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x
2. Dowling M., Peres N., Villani S. et al. Managing *Colletotrichum* on fruit crops: A “complex” Challenge. *Plant Disease*. – 2020. – V. 104. – № 9. – P. 2301–2316. DOI: 10.1094/PDIS-11-19-2378-FE
3. Маслиенко Л.В. Обоснование и разработка микробиологического метода борьбы с болезнями подсолнечника: автореф. дис...док. биол. наук. / Маслиенко, Любовь Васильевна. – Краснодар, 2005.
4. Егоров Н.С. Выделение микробов-антагонистов и биологические методы учета их антибиотической активности. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1957. – 78 с.
5. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. – М.: Наука. – 2004. – 525 с.

традиционном измельчении получают дисперсную серу микронных размеров. В наших работах было показано, что из полисульфидных растворов химически осаждаются частицы размером 20 нм [1-3]. При рассмотрении эффективности препаратов нужно не только учитывать эффективность подавления ими фитопатогенных грибов, но также оценивать их воздействие на окружающую среду. В этом отношении полисульфидные (многосернистые) препараты не имеют себе равных, так как являются экологически безопасными, поскольку при разбавлении водой при приготовлении рабочих растворов в концентрациях, меньше 2–3 %, они генерируют экологически безопасную серу и могут заменить традиционные опасные для окружающей среды и человека препараты.

В настоящее время протравливание семян является необходимым мероприятием при посеве различных культур, так как существенно влияет на урожайность. По существу это химическая обработка семян и посадочного материала с целью уничтожения возбудителей грибных, бактериальных и вирусных заболеваний растений.

В данной работе проверено влияние полисульфидных растворов, а именно полисульфида калия, на всхожесть и пораженность грибами инфекциями семян яровой пшеницы сорта Башкирская 26. Обычно используется 1 литр препарата на основе полисульфида разбавляется 10 литрами воды и эта смесь используется для обработки 1 тонны пшеницы. В этой работе использованы 4 разные концентрации с целью изучить влияние их на фунгицидную активность и всхожесть.

Результаты сравнивались с водой (контроль) и со стандартом – тетраметилтиурамдисульфидом (ТМТД, смачивающий порошок), контактным фунгицидом широкого спектра действия, который используют для протравливания семян зерновых и других культур против болезней, вызываемых семенной и почвенной грибной инфекцией.

Энергию прорастания, всхожесть, зараженность семян определяли по ГОСТу 12044-93 (Семена с.-х. культур. Методы определения зараженности болезнями, 1993).

Таблица 1. Влияние препаратов на основе полисульфида калия , ТМТД на всхожесть и пораженность грибными инфекциями семян яровой пшеницы сорта Башкирская 26.

№	Варианты опыта	Норма расхода	Всхожесть		Вес 100 проростков,		Корневые гнили (<i>Fusarium</i> spp + <i>Helminthosporium</i> spp)	
		действующее вещество, кг/т	%	% к контролю	г	%, к контролю	поражаемость,%	эффективность,%
1	Контроль (без обработки)	-	84,3	-	12,1	-	34,0	-
2	ТМТД, Смачивующийся порошок (1600 г/т) (<i>Стандарт</i>)	1,600	82,5	98	11,3	93	2,3	93
3	K ₂ S ₃ , ВР	0,300	89,8	109	13,5	115	22,0	35
		0,600	88,0	104	13,3	110	8,5	75
		0,900	87,3	103	12,5	103	6,8	80
		1200	84,5	101	11,5	95	3,2	91

Препараты испытывали против грибов, вызывающих болезни семян и проростков зерновых культур. Тест – объектом являлись яровая пшеница сорта Башкирская 26, естественно зараженные грибами, вызывающими корневые гнили, черный зародыш (*Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Alternaria* sp.) и плесневение семян (*Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp.).

Протравливание семян проводили в круглодонных колбах полусухим способом (расход рабочей жидкости составлял 10л/т) по общепринятой методике за 2-3 дня до проращивания. Обработанные семена проращивали на влажных фильтровальных бумагах в чашках Петри при температуре 25 °С.

Второй метод определения зараженности семян болезнями также основан на стимуляции развития и роста микроорганизмов в зараженных семенах. Анализ семян проводили в рулонах фильтровальной бумаги. Из средней пробы, предназначенной для анализа семян на зараженность болезнями, выделяли навеску. Из семян яровой пшеницы отбирали четыре рабочие пробы по 100 семян, не дезинфицируя их. Для проращивания семян использовали два слоя увлажненной до полной влагоемкости фильтровальной бумаги размером 30 x 110 см (± 2 см). Семена раскладывали в одну линию с интервалом 1 см и на расстоянии 3 см от верхнего края бумаги зародышами вниз. Разложенные на бумаге семена накрывали такой же полоской увлажненной фильтровальной бумаги, поверх которой накладывали полоску полиэтилена, и сворачивали в рулон. Рулоны ставили вертикально в сосуды и помещали в термостат при температуре 22 – 25 °С.

Обеззараживающие свойства препаратов, а также их влияние на всхожесть семян определяли через семь дней от начала проращивания. Микологический анализ на состав микрофлоры семян делали при увеличении микроскопа в 150 раз. В каждой повторности опыта исследовали по 100 семян. Повторность опытов – четырехкратная.

Как мы отмечали выше у препарата ТМТД основное назначение это контактный фунгицид широкого спектра действия и судя по данным таблицы он оправдывает свое назначение, он выкашивает 93% патогенов семян пшеницы при значении действующего вещества 1600 г/т . Фунгицидная активность полисульфида калия при значениях 1 литр (300 г действующего вещества) уничтожает 35% патогенов, возрастание концентрации увеличивает фунгицидную активность и при значениях 4 литра (1200 г действующего вещества) достигает 91%, то есть практически сравнивается с ТМТД.

Для сравнения результатов по параметру всхожести мы приняли значение контрольного образца за 100%, значение аналогичный параметр у ТМТД 98%, т.е. меньше чем у контрольного, этот факт говорит о том, что препарат угнетает растение. А полисульфид калия при значения 300 г дает значение 109% по сравнению с необработанным образцом. Увеличение концентрации снижает параметр всхожести пшеницы и использование действующего вещества в количестве 1200 г/т равно 101%. Таким образом, полисульфид калия начинает угнетать растение при использовании действующего вещества в количествах больше 300 г/т. Оптимальное значение равно 300 г/т, хотя можно использовать большие значения, добиваясь при этом большего фунгицидного эффекта, так как всхожесть больше контрольного до значения равного 1200 г/л.

При обработке ТМТД вес проростков уменьшается и равно 93% по сравнению с контрольным необработанным образцом, а обработка полисульфидом калия при значениях 1 литр (300 г действующего вещества) дает максимальные значения прироста 115%, далее с ростом концентрации уменьшается, и достигает значения 95% почти равного соответствующего значению 93%.

Необходимо отметить, что препараты на основе ТМТД относятся ко второму и третьему классам опасности. Вещество среднетоксично для теплокровных животных и человека, при нанесении на кожу вызывает дерматиты, в глаза — конъюнктивит. При остром отравлении у работающих с тирамом возникают сильные головные боли, рвота, сердцебиение, аритмия, затруднение дыхания, бронхит, поражение печени, крапивница. Концентрированные водные растворы раздражают слизистые. Как классический представитель из группы липотропных ядов, он поражает нервную систему, печень, желудочно-кишечный тракт, кроветворные органы, вызывает гиперплазию щитовидной железы; обладает выраженным кумулятивным действием, в больших дозах оказывает мутагенное и канцерогенное действие, проявляет репродуктивную токсичность. В настоящее время он запрещен к использованию в ЕС и в настоящее время его заменяют более безопасными препаратами.

Таким образом, применение полисульфида калия в качестве действующего вещества позволяет использовать его и в качестве эффективного фунгицида и в качестве стимулятора роста пшеницы, должно значительно увеличить урожайность, заменить частично или полностью токсичные препараты. Все это позволит повысить урожайность всех зерновых и овощных культур, повысить качество урожая, стимулирует рост корневой си-

стемы, улучшая перезимовку озимых, повышает энергию прорастания семян, увеличивает массу корней и густоту стояния, у растений улучшается рост листьев с сохранением окружающей среды.

Список литературы

1. Массалимов И.А., Абдракипова Л.Ф., Хусаинов А.Н., Мустафин А.Г. Получение наноразмерных частиц серы из растворов полисульфидов щелочных и щелочноземельных металлов. Журнал прикладной химии. – 2009. -Т. 82. – № 12 – С.1946 -1951.

2. Массалимов И.А., Хусаинов А.Н., Зайнитдинова Р.М., Мусавирова Л.Р., Зарипова Л.Р., Мустафин А.Г. Химическое осаждение наночастиц серы. Журнал прикладной химии, 2014, т.87, №6, С. 705-713.

3. Массалимов И.А., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Кинетика роста наночастиц серы при их осаждении из водных растворов полисульфида кальция. Журнал физической химии А, 2024, Том. 98, № 1, стр. 177–191.

БАКТЕРИЦИДНЫЕ И ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ *HERACLEUM SOSNOWSKYI*

Обернихина Н.И., Волчек И.А., Теряев А.С., Ефремова Г.И.
Медицинский институт непрерывного образования Росбиотех, Москва
Научно-исследовательский центр иммунологии и аллергологии, Москва
Белгородский государственный аграрный университет им. В. Я. Горина

Проблема борьбы с грибковыми инвазиями актуальна для медицины, ветеринарии, сельского хозяйства. Возрастающая резистентность штаммов микроорганизмов к используемым химическим препаратам диктует необходимость поиска новых подходов, том числе, на основе средств природного происхождения.

Известна фунгицидная активность фуранокумаринов, которые содержатся в основном в зонтичных растениях [1]. Значительное количество этих веществ есть и в составе борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi*) [2].

Целью исследования явилось тестирование бактерицидной и фунгицидной активности экстракта борщевика Сосновского в отношении музейных и полученных об больных штаммов микроорганизмов.

Для получения экстракта *Heracleum Sosnowskyi* (далее HS) применяли метод

ускоренной экстракции этанолом ASE (Accelerated solvent extraction). Полученный раствор стерилизовали фильтрованием и проводили лиофилизацию. В опытах использовали концентрации экстракта HS 1 мг/мл, 10 мг/мл, 100 мг/мл.

В качестве тест-микроорганизмов использовали штаммы, которые были приобретены в ВКПМ:

- *Candida albicans*, штамм приобретен в ВКПМ (Всероссийская коллекции промышленных микроорганизмов, Y-3108);
- *Aspergillus niger*, штамм приобретен в ВКПМ (Всероссийская коллекции промышленных микроорганизмов, F-894);
- *Escherichia coli* (штамм 1702), штамм приобретен в ВКПМ (Всероссийская коллекции промышленных микроорганизмов, B 8208);
- *Staphylococcus aureus*, штамм приобретен в ВКПМ (Всероссийская коллекции промышленных микроорганизмов B 6646);
- *Bacillus mycoides*, штамм приобретен в ВКПМ (Всероссийская коллекции промышленных микроорганизмов, B-11120);

Кроме того, тестировали четыре флуконазол- и интраконазол- резистентных штамма *Candida albicans*, полученные от четырех больных вульвовагинальным кандидозом.

Исследования выполняли в соответствии с ГОСТ 3 58151.4 – 2018.

Тестирование производили на поверхностях: стекло, кафель, дерево, пластик, линолеум. Экспозиция 5 минут. Тестирование фунгицидного эффекта экстракта HS в отношении штаммов *Candida albicans*, полученных от

больных, проводили в соответствии с руководством Роспотребнадзора Р 4.2.2643—10, 2010 г. [3], инкубация с экстрактом HS 35 минут.

Установлено, что при использовании экстракта HS концентрациях 100 мг/мл и 10 мг/мл все микроорганизмы тестируемые на поверхностях (ГОСТ 3 58151.4 – 2018) и в суспензии обладали полной чувствительностью, установлена 100% гибель микроорганизмов.

При использовании экстракта HS концентрации 1 мг/мл результаты были полная чувствительность со 100% гибелью микроорганизмов отмечена для *Aspergillus niger*, а также *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus mycoides*.

Для штамма *Candida albicans* (ВКПМ, Y-3108) чувствительность составила 69,3%-77,7%.

При тестировании штаммов *Candida albicans*, полученных от больных, чувствительность была незначительно ниже и составила 55,3%, 61,9%, 47,5%, 68,9%

Таким образом, установлено, что экстракт *Heracleum Sosnowskyi* обладает фунгицидной и бактерицидной активностью, в том числе, для штаммов *Candida albicans*, резистентных к азолам.

Фунгицидная активность растений семейства зонтичных (*Ariaceae*) показана для рода Дягиль (*Angelica*). Эфирное масло, полученное из *Angelica major* проявляло активность против дерматофитов и *Cryptococcus neoformans*. Однако, касательно видов *Candida*, профили восприимчивости к эфирному маслу, были разнообразны и не коррелировали с восприимчивостью к флуконазолу [1]

Для рода Борщевик (*Heracleum*) фунгицидное действие практически не описано. Показано фунгицидное действие продуктов борщевика Сосновского в отношении патогена томатов, гриба *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*. При этом летучие соединения из плодов *Heracleum sosnowskyi*, которые проявили самую сильную противогрибковую активность, показав 67% ингибирования роста мицелия двух рас *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* [2].

Таким образом, экстракт *Heracleum Sosnowskyi* обладает выраженными фунгицидными и бактерицидными свойствами.

В отношении возможного медицинского применения экстракта HS следует обратить внимание на данные относительно иммуномодулирующего эффекта препаратов растений семейства *Ariaceae*, в частности, экстрактов дудника амурского, позволяющих влиять на синтез про-и противовоспалительных цитокинов [4], что ставит вопрос о целесообразности дальней-

ших исследований экстрактов *Heracleum Sosnowskyi* как перспективных фармацевтических субстанций широкого спектра действия.

Полученные результаты указывают на целесообразность исследования продуктов *Heracleum Sosnowskyi*, в том числе, в качестве перспективных фармацевтических субстанций для создания фунгицидных средств для медицины и ветеринарии, а также сельского хозяйства, где, например, могут иметь потенциал для разработки новых биофунгицидов.

Список литературы

1. Cavaleiro C, Salgueiro L, Gonçalves MJ, Hrimpeng K, Pinto J, Pinto E. Antifungal activity of the essential oil of *Angelica major* against *Candida*, *Cryptococcus*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *J Nat Med*. 2015 Apr;69(2):241-8. doi: 10.1007/s11418-014-0884-2. Epub 2015 Jan 10. PMID: 25576097
2. Hpoо M.K.; Mishyna M.; Prokhorov V.; Arie T.; Takano A.; Oikawa Y.; Fujii Y. Potential of Octanol and Octanal from *Heracleum sosnowskyi* Fruits for the Control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Sustainability* 2020, 12, 9334. DOI: 10.3390/su12229334
3. Методы лабораторных исследований и испытаний медико-профилактических дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности: Руководство. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. — 615 с. С.199.
4. Волчек И. А., Теряев А. С. Влияние экстрактов дудника амурского (*Angelica amurensis*) на синтез цитокинов in vitro. *Вестник медицинского института непрерывного образования*. — 2023. — Т. 3, № 2. — С. 8–13. — EDN AKJOTJ

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ БИОФУНГИЦИДА БИНОРАМА™ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

Панчук С.В.¹, Игнатов А.Н.²

¹ Федеральный научный центр овощеводства, Лесной городок

² Российский университет дружбы народов» (РУДН), Москва

Большинство биофунгицидных препаратов, применяемых для защиты растений, включая антагонисты рода *Pseudomonas*, обладают способностью индуцировать системную устойчивость растений к спектру абиотических и биотических стрессов. Органические вещества, выделяемые растениями, обеспечивают микробиом растения разнообразными веществами, необходимыми для роста и развития популяции полезных микроорганизмов (Zboralski, Fillion 2020). Полезная микрофлора может обеспечить прямую стимуляцию роста растений за счет фитогормонов и минерального питания растений, либо косвенную стимуляцию за счет подавления развития токсикогенных и фитопатогенных микроорганизмов (Vives-Peris et al. 2020). Бактерии рода *Pseudomonas* обладают одним из наиболее богатых спектров метаболического воздействия на растения. Существует сложное и специфичное взаимодействие метаболизма бактерий в соответствии с комбинацией генотипов растений и штаммов бактерий (Valente et al. 2020). Контроль патогенов и стимулирование роста растений тесно связан со способностью бактерий *Pseudomonas* конкурентно колонизировать ризосферу и филлосферу, и находиться в контакте с тканями растения. Биопленки, продуцирующие полимерные вещества, в значительной степени обеспечивают полезную архитектуру ризосферной почвы и оптимизируют минеральное питание растений. Применение псевдомонад стимулирует синтез фенил-аланин-аммиаклиазы, пероксидазы, β -глюканазы и хитиназы. Они вызывают системную резистентность к *Magnaporthe oryzae* на рисе и к патогену *Rhizoctonia solani* AG2-2 на фасоли (Singh et al., 2019), *Pseudomonas aurantiaca* является стимулятором роста растений люцерны, пшеницы, сои, кукурузы, рожкового дерева, и сахарного тростника (Rosas 2017), а *Pseudomonas simiae* и *Pseudomonas capeferrum* стимулируют устойчивость резушки Таля (*Arabidopsis*) и табака к комплексу патогенов (Yu et al. 2019).

Целью нашего исследования являлся анализ спектра ростостимулирующей активности биофунгицида Бинорам™, в состав которого входят три штамма *Pseudomonas* sp.: 7G, 7G2K и 17-2. Основными объектами исследования служили растения семейства Мятликовые

(пшеница, рожь, овес, ячмень), Бобовые (соя, фасоль, горох, люцерна, люпин), пасленовые (томат, перец, картофель, физалис), Астровые (подсолнечник), Капустные (рапс, горчица, сурепица, листовая капуста) и Маревые (сахарная свекла). Для каждого вида растений использовали по меньшей мере 3 разных генотипа (сорта, линии). Коммерческий препарат Бинорам был предоставлен производителем – ООО «ЭкоПлант Агро» непосредственно перед проведением опытов. Для определения ростомодулирующей активности, препарата Бинорам ($2,5 \cdot 10^9$ КОЕ/мл) наносили в трех разных разведениях на поверхность растений в фазе первых настоящих листьев и оценивали его влияние на динамику роста и развития растений в течении 45 дней при постоянных условиях (24°C, 16 ч световой день, 65% отн. влажность воздуха). В качестве контроля использовали растения без обработки Бинорамом. Высоту, число листьев, массу надземной части растения и массу корней определяли дважды – в середине и конце опыта. Все эксперименты проводили в 10 повторениях. Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы STATISTICA 12.0 методом двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Из полученных результатов было очевидно, что Бинорам существенно стимулирует рост растений различных семейств, но эффект зависел не только от вида растения, но и от конкретного сорта (генотипа). Ранее нами было отмечено, что восприимчивость фитопатогенов к применению Бинорама в качестве биофунгицида не всегда коррелирует с полевой эффективностью препарата (Панчук, Игнатов, 2023). Очевидно, что наблюдаемые отличия могут быть вызваны реакцией растений.

Список литературы

1. Zboralski A., Fillion M. Genetic factors involved in rhizosphere colonization by phytobeneficial *Pseudomonas* spp. *Computat. Struct. Biotechnol. J.* 2020. V. 18.P. 3539–3554.
2. Vives-Peris V., de Ollas C., Gomez-Cadenas A., Perez-Clemente R.M. Root exudates: from plant to rhizosphere and beyond. *Plant Cell Rep.* 2020. V. 39 (1).P. 3–17.
3. Valente J., Gerin F., le Gouis J., Moenne-Loccoz Y., Prigent-Combaret C. Ancient wheat varieties have a higher ability to interact with plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant Cell Environ.* 2020. V. 43. P. 246–260.

4. Singh U.B., Singh S., Malviya D., Karthikeyan N., Imran M., Chaurasia R., Alam M., Singh P., Sarma B.K., Rai J.P., Damodaran T., Tripathi J.K., Kumas S., Sharma A.K. Integration of anti-penetrant tricyclazole, signaling molecule salicylic acid and root associated *Pseudomonas fluorescens* enhances suppression of *Bipolaris sorokiniana* in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Plant Pathol. 2019. V. 101. P. 943–954.

5. Rosas S.B. *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* SR1: isolated from rhizosphere and its return as inoculant. A review. Inter. Biol. Rev. 2017. V. 1. № 3. P. 1–19.

6. Yu K., Pieterse C.M.J., Bakker P.A.H.M., Berendsen R.L. Beneficial microbes going underground of root immunity. Plant Cell Environ. 2019. V. 42. № 10. P. 2860–2870.

7. Панчук С. В. Антигрибная активность Бинорама™ in vitro / С. В. Панчук, А. Н. Игнатов. Успехи медицинской микологии. – 2023. – Т. 25. – С. 359–362. – EDN XVPQCL.

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГЕРБИЦИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШТАММОВ ГРИБОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Шеина Н.И.¹, Буданова Е.В.²

¹ РНИМУ имени Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва

² Сеченовский Университет, Москва

Доктрина продовольственной безопасности РФ определяет задачи производства сельхозпродукции, соответствующей экологическим и санитарно-эпидемиологическим требованиям. В связи с этим все большее распространение получают биологические средства борьбы с болезнями и вредителями растений: фунгициды, содержащие микробы-антагонисты фитопатогенных грибов, гербициды на основе микроорганизмов, обладающих целлюлозолитической активностью. При регистрации новых биопестицидов обязательно проводятся исследования механизмов их воздействия на определенный вид фитопатогенных микроорганизмов, изучаются их экологические характеристики [1–6]. Однако информация по результатам исследования потенциальной опасности биопестицидов для работников, занятых на производстве этих препаратов, работников сельского хозяйства, применяющих их в полевых условиях, а также населения, проживающего в районах их применения, недостаточна.

Цель исследования – экспериментальное изучение степени биологической безопасности штаммов грибов *Trichoderma longibrachiatum* SB-19 ВКПМ F-1529, *Trichoderma asperellum* VTr-6 ВКПМ F-1783, *Trichoderma atrobrunneum* VTh-7 ВКПМ F-1784.

Материалы и методы исследования. Экспериментальное исследование вирулентности штаммов грибов-биопестицидов проводили в соответствии с методическими и нормативными документами [7–12]. В экспериментах использовали белых мышей массой тела 20–28 г. и белых крыс массой тела 240–280 г. Статистическая группа состояла из 6–10 особей. Определяли средневirusulentную и «пороговую» дозы, токсигенность, токсичность, способность к диссеминации штаммов в кровь и внутренние органы, состояние микробиоты кишечника животных. Статистическую обработку результатов исследования проводили в программе Statistica 6.0. Результаты были статистически достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Штамм *Trichoderma longibrachiatum* SB-19 ВКПМ F-1529 депонирован в БРЦ ВКПМ ВНИИ Генетика, является микробиологическим удобрением и предназначен для ускорения деструкции растительных остатков, повышения плодородия почвы, подавления развития почвенных фитопатогенов. Микроорганизм продуцирует вторичные метаболиты (пироны, поликетиды, терпены и т.д.), что определяет его высокую противопаразитарную и антагонистическую активность против почвенных фитопатогенных микроорганизмов. Штаммы *T. asperellum* VTr-6 ВКПМ F-1783 и *T. atrobrunneum* VTh-7 ВКПМ F-1784 обладают целлюлозолитическими и фунгицидными свойствами (в том числе, против возбудителей фузариоза, альтерна-

риоза, фитофтороза, мучнистой росы) и применяются в сельском хозяйстве для ускоренного разложения и обеззараживания соломы, пожнивных органических остатков путем обработки почвы перед посевом и после уборки сельскохозяйственных культур. Депонированы в БРЦ ВКПМ НИЦ «Курчатовский институт».

Проведено токсиколого-гигиеническое исследование и изучение патогенных свойств указанных выше штаммов.

Штамм *Trichoderma longibrachiatum* SB-19 ВКПМ F-1529 охарактеризован как малоопасный препарат при внутрижелудочном введении, DL_{50} для крыс и мышей составила более 21400 мг/кг и 20300 мг/кг соответственно (4 класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76), при ингаляции – более 17150 мг/м³ (расчетная величина, умеренно опасное вещество, 3 класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76). Субхроническое воздействие биопрепарата в двух концентрациях (5×10^4 и 5×10^5 КОЕ/м³) в течение 1 месяца не оказывало общетоксического действия (отмечено лишь увеличение АСТ при воздействии большой концентрации) и иммунотоксического эффекта, не приводило к развитию аллергического процесса и не изменяло состояние микробиоты кишечника. Лимитирующий критерий вредного действия препарата на организм теплокровных животных в эксперименте не был установлен. Определено ПДК штамма *T. longibrachiatum* в воздухе рабочей зоны на уровне 5×10^4 КОЕ/м³, а с учетом коэффициента запаса 10 ПДК штамма в атмосферном воздухе городских и сельских поселений на уровне 5×10^3 КОЕ/м³.

Штаммы *T. asperellum* VTr-6 ВКПМ F-1783 и *T. atrobrunneum* VTh-7 ВКПМ F-1784 также не обладают патогенными свойствами. При однократном внутрибрюшинном введении высоких доз штаммы не проявляли вирулентных свойств ($DV_{50} > 3 \times 5 \times 10^9$ – 10 КОЕ/жив.). «Пороговая» доза составила $3 \times 5 \times 10^8$ КОЕ/жив. Также не выявлены токсигенные и токсичные свойства. Вместе с тем, оба штамма обладают способностью к кратковременному персистенции в организме теплокровных животных в течение 6–10 дней при однократном внутрибрюшинном введении в дозах $3 \times 5 \times 10^8$ – 10 КОЕ/жив., но не способны к диссеминации в кровь и внутренние органы животных. Показано, что DL_{50} препарата при внутрибрюшинном и внутрижелудочном введении мышам составляет более 40900 мг/кг (нетоксичное вещество) и 15500 мг/кг соответственно, при внутрижелудочном введении крысам – более 19260 мг/кг (малоопасное вещество, 4 класс опасности согласно ГОСТ 12.1.007-76), при ингаляции крысам – более 3550 мг/м³ (умеренно опасное вещество, 3 класс опасности). Субхроническое воздействие консорциума грибов *T. asperellum* и *T. atrobrunneum* в концентрациях 5×10^3 и

5х104 КОЕ/м3 в течение 1 месяца не оказывало общетоксического, иммунотоксического и сенсибилизирующего эффектов, но изменяло состояние микробиоты кишечника, что явилось лимитирующим критерием вредного действия препарата. В этой связи ПДКр.з. для этих штаммов грибов в воздухе рабочей зоны рекомендована на уровне 5х103 КОЕ/м3, а с учетом коэффициента запаса 10 ПДКа.в. ассоциации штаммов в атмосферном воздухе городских и сельских поселений установлена на уровне 5х102 КОЕ/м3.

Таким образом, при изучении биологической безопасности штаммов грибов *Trichoderma longibrachiatum* SB-19 ВКПМ F-1529, *T. asperellum* VTr-6 ВКПМ F-1783 и *T. atrobrunneum* VTh-7 ВКПМ F-1784, применяемых в сельском хозяйстве в качестве биопестицидов, нами показано, что все три изученных штамма следует отнести к непатогенным для теплокровных животных. В ходе экспериментов был разработан метод контроля этих микроорганизмов в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

Список литературы

1. Mensink B.J.W.G. (hans), Scheepmaker J.W.A. How to evaluate the environmental safety of microbial plant protection products: A proposal. *Biocontrol Science and Technology*. 17(1): 3-20. DOI: 10.1080/09583150600936982.

2. Cappa, F., David Baracchi D., Rita Cervo R. Biopesticides and insect pollinators: Detrimental effects, outdated guidelines, and future directions. *Science of The Total Environment*. 2022. 837, 155714, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155714.

3. Sheina N.I., Budanova E.V., Pivovarov Yu.P., Myalina L.I., Sazonova L.P. Biosafety assessment of microbial strains used in biotechnology according to their taxonomy. *International Journal of Biomedicine*. 2017;7(1):51-56 DOI: 10.21103/article7(1)_oa6

ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ЭНДОФИТНЫХ ДРОЖЖЕЙ ПЛОДОВ РАСТЕНИЙ

Шодиева Д.Г., Абдульмянова Л.И.
Институт микробиологии АН РУз, Ташкент

В последние годы исследования мутуалистических отношений эндофитных микроорганизмов, в том числе эндофитных дрожжей, и растений-хозяев приобретают все больший масштаб. В этих отношениях растения обеспечивают эндофиты питательными веществами и оптимальными условиями существования, необходимыми для жизнедеятельности. Эндофиты в ответ синтезируют вторичные метаболиты, с различной биологической активностью [1,2,3]. Например, была выявлена фунгицидная и фунгистатическая активность вторичных метаболитов эндофитных дрожжей, способствующая широкому применению эндофитных дрожжей в сельском хозяйстве:

- для контроля почвенных патогенов, таких как *Fusarium* и *Rhizoctonia* при внесении эндофитных дрожжей в почву;
- для обработки семян с целью увеличения устойчивости к патогенам и улучшения всхожести;
- для опрыскивания растений с целью защиты от листовых патогенов;
- для обработки плодов и овощей после сбора урожая с целью предотвращения развития гнили [4,5].

В этой связи, целью данной работы стало изучение антифунгальной активности вторичных метаболитов эндофитных дрожжей с целью их применения в качестве агентов биоконтроля фитопатогенов.

В лаборатории «Биохимии и биотехнологии физиологически активных соединений» Института микро-

4. Шеина Н.И., Буданова Е.В., Колесникова В.В., Мялина Л.И., Сазонова Л.П. Микробиота кишечника крыс при воздействии биотехнологических микроорганизмов различного таксономического положения. *Гигиена и санитария*. 2021;100(3):234-239. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-234-239

5. СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов окружающей среды».

6. Критерии оценки патогенных свойств штаммов-продуцентов, предлагаемых для использования в промышленности микробиологического синтеза. Методические рекомендации, М., РГМУ, 1992, 23 с.

7. Методические указания по экспериментальному обоснованию ПДК микроорганизмов-продуцентов и содержащих их готовых форм препаратов в объектах производственной и окружающей среды. N5789/1-91. М., 1991, 22с.

8. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными (статья №5 конвенции). К европейской конвенции об охране позвоночных животных, используемых для экспериментов и в других научных целях (ETS № 123). СПб, 2014.- 102 с.

9. Методические указания к постановке исследований по изучению раздражающих свойств и обоснованию предельно допустимых концентраций избирательно действующих раздражающих веществ в воздухе рабочей зоны. № 2196-80. – М., МЗ СССР, 1980. – 18 с.

10. Guidelines for the registration of microbial, botanical and semiochemical pest control agents for plant protection and public health uses. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/4e84d2c6-df73-430a-82ef-0aed35856e0e/>

11. Критерии оценки патогенных свойств штаммов-продуцентов, предлагаемых для использования в промышленности микробиологического синтеза. Методические рекомендации. М.: РГМУ, 1992: 23

12. Методические указания по экспериментальному обоснованию ПДК микроорганизмов-продуцентов и содержащих их готовых форм препаратов в объектах производственной и окружающей среды. №5789/1-91. М., 1991: 22

биологии АН РУз из генеративных и запасающих частей 18 растений, произрастающих в г. Ташкент и Ташкентской области, выделено более 50 изолятов эндофитных дрожжей методом накопительных культур (Табл. 1).

Таблица 1. Генеративные и запасающие части растений – источник эндофитных дрожжей.

№	Растение-хозяин	Изоляты	Кол-во
1	<i>Malus Domestica</i>	1D, 2D, MDP, QO	4
2	<i>Prunus avium</i>	G1, GP, GOK	3
3	<i>Prunus persica</i>	5D, LSHM, LSHP, QSH, QSH2, ZSH, OSHH	7
4	<i>Fragaria vesca</i>	QK, QV1, QV2, QV3	4
5	<i>Morus alba</i>	OT	1
6	<i>Morus nigra</i>	QT	1
7	<i>Prunus armeniaca</i>	O`OK, O`MK, O`KK	3
8	<i>Cerasus vulgaris</i>	CVP, 3D	2
9	<i>Ficus carica</i>	FCP, A1, A3, A2	4
10	<i>Punica granatum</i>	AN1, AN2, AN2X	3
11	<i>Diospyros kaki Trip</i>	XOK, XP1, XP1X, XPAjr1, XPRAJ2OQ2, 1X, 2X	7
12	<i>Crateagus pontica L</i>	D1, D2, D3	3
13	<i>Prunus domestica</i>	PKP	1
14	<i>Rubus idaeus</i>	M1, M2	2
15	<i>Pyrus armeniacaifolia</i>	PAP	1
16	<i>Actinidia deliciosa</i>	1K, 2K	2
17	<i>Vitis vinifera</i>	VR1	2
18	<i>Ribes aureum</i>	4D	1

Методом Maldi-Tof проведена идентификация выделенных 37 изолятов и установлены следующие роды: *Pichia*, *Hansenia*, *Kluyveromyces*, *Nakazawae*, *Metschnikowia* и *Mezerozyma* (Рис.1).

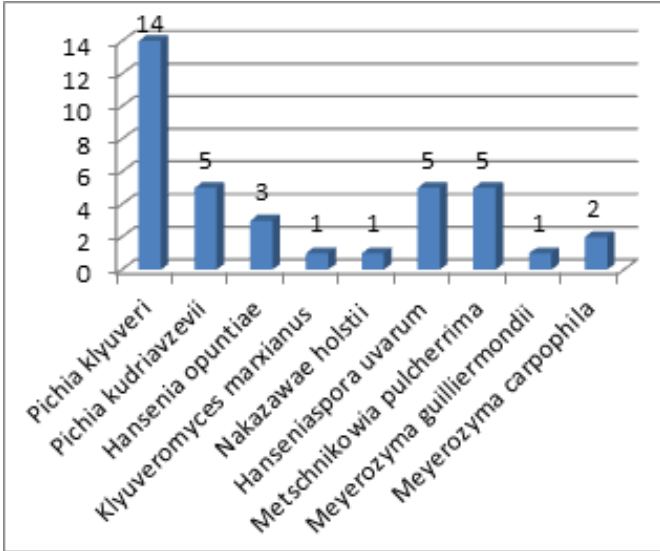


Рисунок 1. Идентификация эндофитных изолятов методом Maldi-Tof.

Как видно из представленных данных, наиболее многочисленная группа выделенных эндофитных дрожжей (более 50% – 19 штаммов) относится к роду *Pichia*.

Второй группой по количеству изолятов стала группа аскомицетов, относящихся к родам *Hanseniaspora* и *Metschnikowia* – 10 штаммов.

В результате идентификации установлено 6 родов и 9 видов эндофитных дрожжей.

Исследованы антифунгальные свойства культуральной жидкости 18 штаммов эндофитных дрожжей луочно-диффузионным методом (Табл. 2).

Таблица 2. Антифунгальная активность культуральной жидкости эндофитных дрожжей.

	Название фитопатогена	<i>F.oxysporum</i>	<i>F.solani</i>	<i>F.falciforme</i>	<i>F.moniliforme</i>	<i>A.alternata</i>
		Зона подавления роста, мм				
Контр.	Клотримазол	16	18	20	15	22
1	<i>M. pulcherrima</i> 1	25	10	22	-	31
2	<i>M. pulcherrima</i> 2	31	-	15	-	22
3	<i>M. pulcherrima</i> 3	32	32	10	13	18
4	<i>M. pulcherrima</i> 5	-	25	10	18	-
5	<i>M. pulcherrima</i> 6	22	11	15	-	18
6	<i>M. pulcherrima</i> 67	11	21	-	13	13
7	<i>M. guilliermondii</i> 01	31	13	-	10	21
8	<i>M. guilliermondii</i> 18	28	-	-	-	13
9	<i>P. kudriavzevii</i> 56	12	20	-	11	20
10	<i>P. kudriavzevii</i> 58	-	-	-	-	-
11	<i>P. kudriavzevii</i> 62	20	12	-	13	-
12	<i>P. kudriavzevii</i> 65	-	-	-	-	-
14	<i>P. kudriavzevii</i> 66	18	15	-	15	10
15	<i>H. uvarum</i> 14	31	15	10	11	30
16	<i>H. uvarum</i> 17	-	11	-	11	21
17	<i>H. opuntiae</i> 69	13	13	-	11	16
18	<i>N. holstii</i> 63	21	-	-	-	-

Как видно из представленных в таблице 2 данных, наибольшую активность ко всем исследованным фитопатогенам проявили два штамма – *M. pulcherrima* 3 и *H. uvarum* 14, образуя зону подавления роста на уровне 30-32 мм. Еще 7 штаммов подавляли рост четырех патогенов, также на достаточно высоком уровне – 18-20 мм. В целом, половина из исследованных эндофитных культур обладала фунгицидной активностью против патогенов рода *Fusarium* и *A.alternata*.

Таким образом, ассоциированные с плодами фруктовых растений эндофитные дрожжи, являются перспективными объектами исследований в качестве антифунгальных агентов. Учитывая ряд преимуществ использования эндофитных дрожжей в биоконтроле, такие как:

- экологическая безопасность – эндофитные дрожжи являются природными микроорганизмами;
- широкий спектр действия – они эффективны против различных фитопатогенов; отобранные культуры – *M. pulcherrima* штаммы 1, 2, 3, *M. guilliermondii* 01 и *H. uvarum* 14 являются перспективными объектами для создания антифунгальных препаратов.

Список литературы

1. Yixin Tu LL et al. A potentially important resource: endophytic yeasts. World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2020, 36:110.

2. Алимова М., Абдурахмонов А., Шурыгин В. Скрининг эндофитов сои по способности стимулировать рост растений и подавлять фитопатогенные грибы. Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2023. 5(107).

3. Bhuyan B. et al. Isolation of yeast endophytes from healthy seeds of Capsicum annuum L. and assessment of their antimicrobial activity. Journal of Applied Biology and Biotechnology. – 2023. – T. 11. – №. Issue. – pp.111-116.

4. Tuba BB, Kuleas H. et al. A natural approach, the use of killer toxin produced by Metschnikowia pulcherrima in fresh ground beef patties for shelf life extention. International Journal of Food Microbiology. – 345, 2021, 109154.

5. Kregiel D.; Nowacka M.; Rygala A.; Vadkertiova R. Biological Activity of Pulcherrimin from the Meschnikowia pulcherrima Clade. Molecules 2022, 27, 1855.

ВЛИЯНИЕ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ, НА СПОРЫ И ВЕГЕТАТИВНЫЙ МИЦЕЛИЙ МИКРОМИЦЕТОВ

Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н., Аникина Н.А., Шишкин А.Ю., Шишкина К.А.
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В настоящее время среди антимикробных препаратов все больше внимания уделяется мелкодисперсным субмикронным частицам оксидов тяжелых металлов. Для этих соединений отмечена фотокаталитическая активность, т.е. при воздействии на них света в различных областях спектра имеет место возрастание их антимикробного эффекта. Данные вещества обладают различными механизмами ингибирующего действия на микроорганизмы в условиях света и темноты. Это позволяет значительно расширить антимикробный спектр этих соединений и уменьшить их негативное воздействие на окружающую среду. Большинство сложных оксидов металлов работает в области УФ-спектра. В связи с чем особый интерес вызывают вещества, у которых фотокаталитический эффект проявляется в области видимого спектра. Бицидный эффект фотокаталитически активных микро- и наночастиц тяжелых металлов может меняться в зависимости от целого ряда факторов: природы металла, размера и формы частиц, их концентрации, светового спектра, мощности освещения, а также и от вида биологического объекта [1-3].

В работе была исследована противогрибковая активность новых субмикронных частиц оксидов металлов Bi_2WO_6 и $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ со средним размером частиц 300 нм.

В качестве источника света использовали светодиодный пылевлагозащищенный прожектор JAZZWAY PFL-C3 50 Вт. Поверхностная плотность потока излучения светодиодного прожектора, воздействующая на поверхность образцов соединений, составляла 524 Вт/м^2

В качестве тест-культур микроорганизмов использовали штаммы мицелиальных грибов, полученные из Всероссийской коллекции микроорганизмов (ИБФМ РАН, Пущино): *Aspergillus niger* van Tieghen VKMF-1119, *Penicillium*

chrysogenum Thom VKM F-245. Данные микромицеты являются активными биодеструкторами различных промышленных материалов.

Эксперименты проводились в присутствии исследуемых соединений, концентрация которых составляла 2 мг/мл, как в условиях воздействия света, так и в условиях темноты.

Противогрибковая активность сложных оксидов металлов определялась по изменению титра грибных спор в суспензии и биомассы мицелия.

Контрольными служили варианты эксперимента без исследуемых соединений.

Ранее нами было показано, что такие сложные соединения как $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$, CsTeMoO_6 способны проявлять ингибирующий эффект как на споры, так и на вегетативный мицелий грибов в условиях воздействия света и в условиях темноты [4,5]. Представляло интерес исследовать сложные оксиды с другими металлами, в частности Bi_2WO_6 и $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$. Результаты этих исследований представлены на рис. 1 и 2.

В ходе экспериментов было установлено, что действие света в вариантах без оксидов металлов не оказывало действия на выживаемость спор и вегетативный мицелий грибов. В процессе исследований нами показано, что в условиях темноты для гриба *A. niger* для обоих соединений имело место снижение выживаемости спор в процессе увеличения длительности экспозиции по сравнению с контролем. В условиях действия света ингибирующее действие соединений на споры увеличивалось. В наибольшей степени эффект ингибирования отмечен для Bi_2WO_6 . В вариантах с *P. chrysogenum*. Также было отмечено возрастание ингибирующего эффекта с увеличением времени экспозиции при действии света и в темноте. Причем, в условиях действия света ингибирование было более существенно. Тем не менее в данном варианте можно отметить, что ингибирующий эффект в темноте

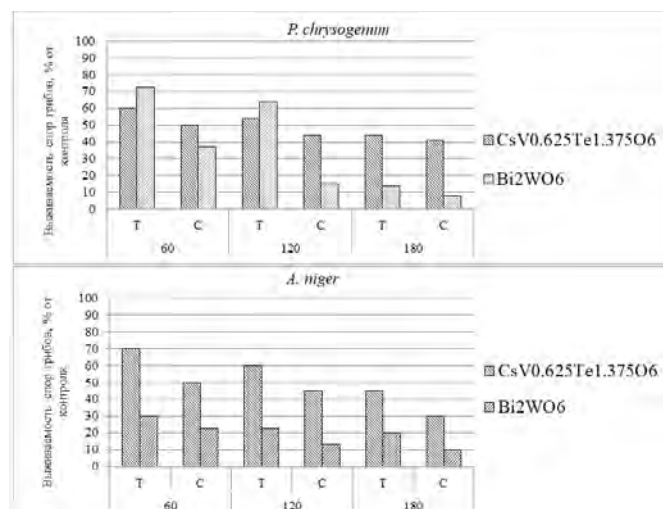


Рисунок 1 Действие сложных оксидов металлов Bi_2WO_6 и $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ на выживаемость спор грибов *A. niger* и *P. chrysogenum* в условиях воздействия света и в темноте.

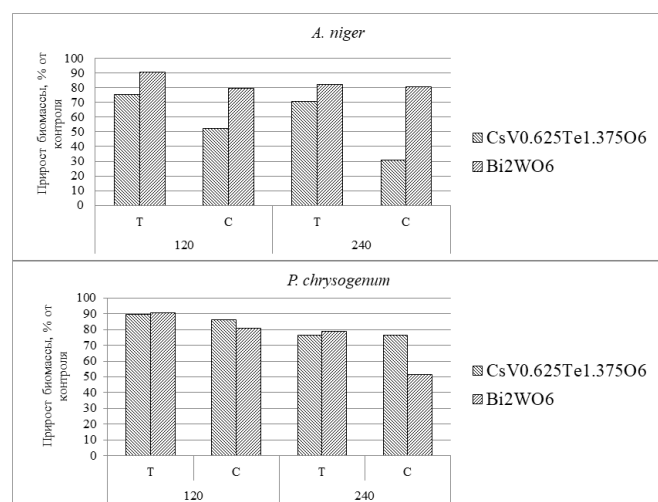


Рисунок 2. Действие сложных оксидов металлов Bi_2WO_6 и $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ на прирост биомассы мицелия грибов *A. niger* и *P. chrysogenum* в условиях воздействия света и в темноте.

и на свету при экспозиции 120 и 180 минут был более выражен для *P. chrysogenum*.

Анализ результатов по действию Bi_2WO_6 и $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ на вегетативный мицелий показал следующее. В условиях темноты и света ингибирующий эффект Bi_2WO_6 на *A. niger* практически не зависел от времени экспозиции. Ингибирующее действие $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ на мицелий данного гриба под влиянием света усиливалось. На мицелий *P. chrysogenum* данные препараты оказывали менее выраженный эффект как в условиях действия света, так и в условиях темноты. Ингибирование роста мицелия данного гриба наблюдалось в вариантах с Bi_2WO_6 при экспозиции 240 минут.

Результаты экспериментов показали, что исследуемые соединения эффективно ингибируют выживание спор грибов в условиях действия света и в темноте, причем на свету ингибирующее действие усиливалось. В меньшей степени ингибирующий эффект данных соединений был показан в отношении вегетативного мицелия исследуемых грибов, значительное снижение массы мицелия наблюдалось только в случае *A. niger* препаратом $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ в условиях света.

Неоднозначность действия исследуемых оксидов сложных металлов на мицелий грибов может быть связан с их физиолого-биохимическими особенностями, а именно, наличием в мицелии у *P. chrysogenum* функциональных систем, обеспечивающих данному грибу устойчивость как в условиях воздействия света, так и в темноте.

Также необходимо добавить и тот факт, что в зависимости от структуры металла могут меняться механизмы ингибирования микроорганизмов под действием света как за счет образования различных форм АФК (активных форм кислорода), так и за счет их количества.

Полученные результаты по антимикробному эффекту исследуемых соединений, особенно в условиях света, позволяют говорить о целесообразности их применения в качестве противогрибковых препаратов, в частности в качестве средств защиты промышленных материалов от биоповреждений, вызываемых микроскопическими грибами.

Список литературы

1. Захарова О.В., Гусев А.А. Фотокаталитически активные наночастицы оксида цинка и диоксида титана в клональном микроразмножении растений: перспективы. Российские нанотехнологии. 2019. Т. 14. № 9–10. С. 3–17.
2. Lipovsky A., Nitzan Y., Gedanken A., Gedanken, Lubart R. Antifungal activity of ZnO nanoparticles—the role of A. ROS mediated cell injury. Nanotechnology. 2011. V 22. № 10. P. 105101.
3. Mitoray D., Janczyk A., Strus M. et al. Visible light inactivation of bacteria and fungi by modified titanium dioxide. Photochemical and Photobiological Sci. 2007. V. 6. № 6. P. 642.
4. Semenychcheva L.L., Smirnov V.F., Smirnova O.N. et al. Antimicrobial Effect of Submicron Complex Oxide Particles CsTeMoO6 under Visible Light. Applied Sciences (Switzerland). № 14. V. 2. 2024. P. 889.
5. Shishkin A.Yu., Smirnov V.F., Shalaginova I.A. et al. Antifungal Activity of Submicrometer Particles of Complex Metal Oxides with Photocatalytic Activity. Microbiology. № 4. V. 93. 2024. P. 511–515.

КОМПЛЕКСНЫЙ ФУНГИЦИДНЫЙ ПРЕПАРАТ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ

Стрельцова Н.В., Прудникова С.В.
Сибирский федеральный университет, Красноярск

Картофель – одна из важнейших продовольственных культур, при этом, число вредителей картофеля исчисляется десятками, а потери урожая, связанные с их развитием, составляют миллионы тонн в год [1, 2]. Наиболее распространенными в Красноярском крае являются возбудители таких заболеваний как ризоктониоз, альтернариоз и фитофтороз [3]. В настоящее время для защиты растений существует широкий спектр фунгицидных препаратов, в том числе с несколькими действующими веществами, что позволяет не только контролировать развитие разных видов возбудителей болезней, но и повышает эффективность препаратов благодаря снижению развития резистентности микромицетов к действующим веществам [4]. Другой технологией, которая призвана повысить эффективность защиты, является разработка форм препаратов с пролонгированным действием [5]. Такая форма обеспечивает защиту растений в течение всего вегетационного периода. Кроме того, препараты с пролонгированным действием дают возможность снизить кратность обработок, а значит и объемы применения фунгицидов, что положительно сказывается на окружающей среде.

Цель работы – оценка фунгицидного действия комплексного препарата, содержащего в составе три действующих вещества, депонированных в биоразрушаемую основу из поли(3-гидроксипропириата) [П(ЗГБ)] и березовых опилок.

Материалы и методы. Экспериментальные формы фунгицидов были изготовлены в виде гранул, содержащих азоксистробин, мефеноксам и дифеноконазол (гранулы АЗО+МЕФ+ДИФ) по 5 вес. %, П(ЗГБ) – 55 вес. % и опилки 30 вес. %. Фунгицидное действие гранул исследовали в полевых условиях на двух сортах картофеля – Красноярский ранний и Леди Клэр. В группах положительного контроля использовали коммерческие препараты с аналогичными действующими веществами – Скор (д.в. дифеноконазол) и Юниформ (д.в. азоксистробин и мефеноксам). Отрицательный контроль – интактные растения. Гранулы вносили в почву одновременно с клубнями картофеля, коммерческими препаратами клубни обрабатывали по рекомендации производителя. С мая по сентябрь 2022 г. ежемесячно оценивали динамику численности ризосферных микроорганизмов – бактерий и грибов определяли общепринятыми методами почвенной микробиологии. Отбор проб проводили в соответствии со стадиями развития растений: всходы, цветение, созревание, сбор урожая. Кроме того, в конце вегетации оценивали изменения качественного состава почвенных микромицетов и бактерий. Идентификацию микромицетов проводили на основании их морфологии, бактерии идентифицировали методом времяпролетной масс-спектрометрии.

Результаты. Анализ исходной почвы до начала эксперимента показал, что численность копиотрофов не

превышала численность прототрофных и олиготрофных бактерий, и коэффициенты минерализации и олиготрофности были, соответственно, высокими (табл. 1).

Таблица 1. Соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов в исходной почве.

Численность микроорганизмов, КОЕ в 1 г почвы				
Копиотрофы	Прототрофы	Олиготрофы	Азотфиксаторы	Микромицеты
$(4,8 \pm 0,3) \times 10^6$	$(9,0 \pm 0,6) \times 10^6$	$(6,1 \pm 0,7) \times 10^6$	$(2,4 \pm 0,3) \times 10^6$	$(34,5 \pm 4,6) \times 10^3$
Коэффициент минерализации 1,86				
Коэффициент олиготрофности 1,25				

Доминирующие в сообществе почвенные микромицеты были представлены родами *Trichoderma* (26,7 %) и *Penicillium* (20,0 %); также в образцах почвы были определены *Fusarium* (15,6 %) и *Alternaria* (4,4 %).

В июне (период прорастания клубней) численность микромицетов в отрицательном контроле составляла $(40,7 \pm 3,1) 10^3$ КОЕ в 1 г почвы в ризосфере сорта Красноярский ранний и $(55,3 \pm 4,4) 10^3$ КОЕ в 1 г почвы – в ризосфере сорта Леди Клэр, что в 1,2 и 1,6 раза, соответственно, больше по сравнению с исходной почвой (рисунок 1). В целом в варианте отрицательного контроля наблюдался рост численности микромицетов в течение всего вегетационного периода, что связано с установлением благоприятных атмосферных условий в данный период – высокие температуры, достаточная влажность почвы. К концу эксперимента численность микромицетов выросла в 2,3 раза.

Применение коммерческих фунгицидных препаратов (положительный контроль) привело к снижению численности микромицетов в июне по сравнению с отрицательным контролем в 1,8 раза в ризосфере картофеля Красноярский ранний и в 1,5 раза – в ризосфере Леди Клэр. Но в период цветения картофеля уже был заметен рост численности микромицетов, который продолжался до конца эксперимента. Рост численности микромицетов в положительном контроле в итоге был сопоставим с ростом численности в отрицательном контроле на обоих сортах картофеля.

Фунгицидное действие депонированных фунгицидов (гранулы АЗО+МЕФ+ДИФ) в период всходов было сопоставимым с действием коммерческих препаратов и достоверно не различалось. Снижение численности микромицетов под действием гранул в ризосфере сорта Красноярский ранний было более заметным – в 1,6 раза, по сравнению с сортом Леди Клэр – в 1,3 раза в сравнении с отрицательным контролем. Далее рост численности микромицетов в варианте с применением

депонированных фунгицидов был отмечен на сорте Красноярский ранний только в период сбора урожая, но численность микромицетов в итоге не превысила значений исходной почвы и была более чем в 2 раза ниже, чем в положительном контроле. На сорте Леди Клэр рост численности микромицетов был отмечен на этапе созревания картофеля, но в итоге в период сбора урожая численность микромицетов также не превысила исходных значений и в 1,7 раза была ниже, чем в положительном контроле. Таким образом, было продемонстрировано эффективное действие комплексного пролонгированного фунгицидного препарата, его эффективность была сопоставима с коммерческими препаратами и даже превосходила их.

Анализ качественного состава микромицетов ризосферной почвы показал, что доминирующими представителями в отрицательном контроле были виды родов *Penicillium* и *Trichoderma*. Так, в ризосфере интактных растений суммарная доля этих представителей составила 45% и 59% для сортов Красноярский ранний и Леди Клэр, соответственно. Доля фитопатогенных микромицетов в ризосфере этих сортов существенно не отличалась: 4-5% – виды рода *Alternaria* и 17-18% – *Fusarium*.

Использование коммерческих фунгицидов (положительный контроль) способствовало росту популяции типичных сапротрофных микромицетов из родов *Penicillium* (на 6-8%) и *Mortierella* (на 7-11%). Доля фитопатогенов из рода *Fusarium* уменьшилась на 12-14% по сравнению с отрицательным контролем, а представители рода *Alternaria* не обнаруживались в ризосфере растений, обработанных коммерческими препаратами. Внесение в почву гранул с депонированными фунгицидами незначительно повлияло на виды рода *Penicillium* (доля увеличилась лишь на 1-5%), но при этом способствовало росту численности рода *Trichoderma*, доля которых увеличилась по сравнению с отрицательным контролем на 9% в ризосфере сорта Красноярский ранний и на 13% – в ризосфере сорта Леди Клэр. В ризосфере обоих сортов растений с депонированными фунгицидами не обнаруживались представители родов *Alternaria*, *Fusarium* и *Verticillium*. Следовательно, депонированные формы фунгицидов оказывали оздоравливающее действие на ризосферную почву картофеля.

В работе была проведена оценка количественного и качественного состава почвенных бактерий, которые были использованы в качестве индикатора состояния нецелевой микробиоты на фоне применения фунгицидов. На протяжении всего эксперимента

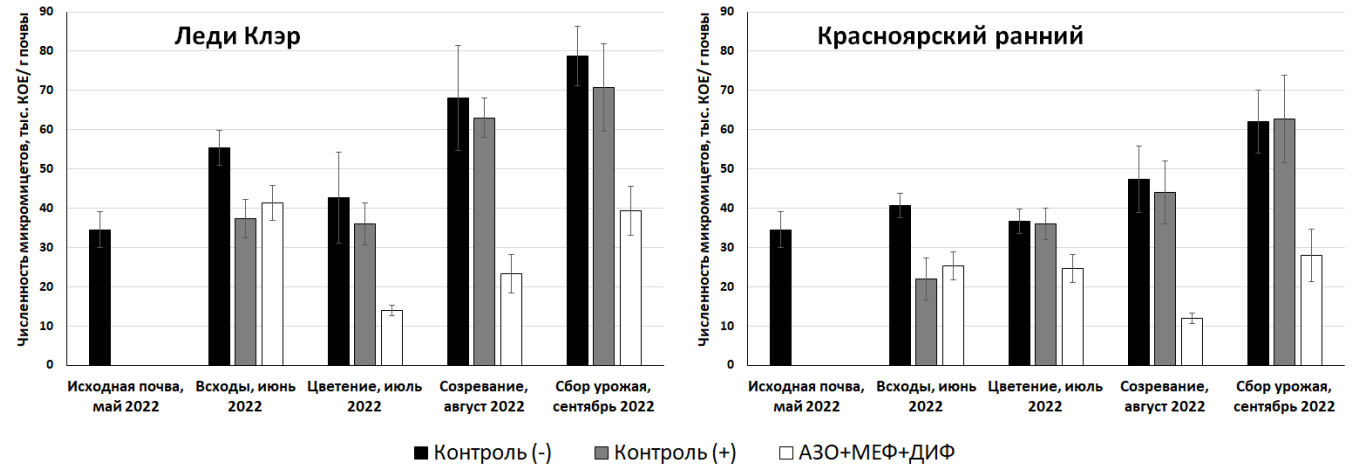


Рисунок 1. Динамика численности микромицетов в ризосфере картофеля.

наблюдался рост численности бактерий в независимости от варианта обработки почвы фунгицидами. Таким образом изменения численности бактерий подчинялись сезонным закономерностям и, в целом, не зависели от типа доставки фунгицидов в почву.

В ризосферной почве всех анализируемых групп растений доминировали спорообразующие палочки, максимально представленные в ризосфере интактных растений – от 31% у сорта Красноярский ранний до 52% – у сорта Леди Клэр. Также практически во всех образцах обнаруживались актинобактерии родов *Arthrobacter* и *Streptomyces*, а среди грамотрицательных палочек доминировали *Pseudomonas* и *Rhizobium*.

В качестве общей тенденции изменения соотношения доминирующих групп бактерий при использовании фунгицидных препаратов следует отметить снижение доли грамположительных палочек и увеличение доли грамотрицательных бактерий по сравнению с негативным контролем. В результате внесения депонированных фунгицидов увеличилась доля грамотрицательных бактерий, в том числе *Rhizobium*, *Pseudomonas* и *Stenotrophomonas*.

Таким образом, применение депонированного комплексного фунгицидного препарата обеспечило поступление действующего вещества в ризосферную зону и эффективное снижение численности микромицетов в ризосфере картофеля, которое продолжалось в течение всего вегетационного периода.

НОВЫЙ ШТАММ *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS*, АКТИВНЫЙ В ОТНОШЕНИИ ГРИБНЫХ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Текутов А.Р., Калмантаев Т.А., Жиглецова С.К., Клыкова М.В., Дунайцев И.А.
ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии Росздрава, Оболensk

Бесконтрольное применение антибиотиков привело к глобальной проблеме множественной лекарственной устойчивости среди микроорганизмов, создавая трудности при лечении инфицированных больных. Ежегодно во всем мире одной из причин миллионов инфекций являются микозы. Грибы рода *Candida* является одним из наиболее распространенных возбудителей, в том числе инвазивных микозов. Эти патогены, как и многие другие, часто демонстрируют сниженную восприимчивость к обычно используемым противогрибковым препаратам, включая полиены, триазолы и эхинокандины, и заболеваемость, вызываемая штаммами с множественной лекарственной устойчивостью, продолжает расти [1]. Поэтому потребность в поиске новых противогрибковых веществ сейчас более насущна, чем когда-либо.

Природа является почти бесконечным источником новых антимикробных соединений, которые могли бы удовлетворить эту потребность. Наиболее доступным и экономически оправданным источником антимикробных веществ натурального происхождения являются микроорганизмы, их метаболическое биоразнообразие. На сегодня известны многие тысячи таких соединений, и наиболее перспективные из них теперь могут быть синтезированы химически. К числу наиболее интересных веществ с потенциалом терапевтического применения, как считают большинство исследователей, относятся противомикробные пептиды – бактериоцины [2]. Они взаимодействуют с клеточной мембраной и нарушают ее целостность. Такой механизм воздей-

ствия менее подвержен развитию резистентности к нему у микроорганизмов. Также пептиды не проявляют токсичности для клеток хозяина при местном применении и адекватной дозировке [2-3]. Бактерии рода *Bacillus* являются одними из основных продуцентов разнообразных метаболитов, активных в отношении бактериальных и грибных патогенов человека и животных, в том числе и бактериоцинов.

Целью работы являлось исследование свойств нового бациллярного штамма *Bacillus amyloliquefaciens* и продуцируемого им пептида, активного в отношении широкого ряда бактериальных и грибных возбудителей болезней человека и животных.

Материалы и методы. Новый бациллярный изолят ЛВП-20 был выделен из лишайника на яблоне в Серпуховском г.о. Московской области. Изолят идентифицировали с помощью общепринятых микробиологических методов, биохимических тестов Enterotest, Nefermtest, API 50 CH, а также с помощью MALDI TOF Biotyper (Bruker Daltonics, Германия) и филогенетических (16S rRNA gene sequencing) тестов. Штамм идентифицирован как *Bacillus amyloliquefaciens* ssp. *plantarum*, по технологии MALDI Biotyper score составил 2,219.

Для оценки антагонистической активности штамма *B. amyloliquefaciens* ЛВП-20 использовали панель возбудителей болезней человека и животных – бактериальные штаммы родов *Bacillus*, в том числе вакцинный штамм *B. anthracis* СТИ-1, штаммы рр. *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Listeria*, и грибные штаммы рода *Candida*. Бактериальные патогены и штамм *Candida albicans* ATCC 10231 получены из коллекции Государственного

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Агропрепараты нового поколения: стратегия конструирования и реализация» (№ 075-15-2021-626).

Список литературы

1. Кузнецова М.А. Болезни картофеля. Защита и карантин растений. – 2007. – №5. – С. 1-28
2. Adolf B., Andrade-Piedra J., Bittara Molina F., et al. Fungal, Oomycete, and Plasmodiophorid Diseases of Potato. The Potato Crop. – Springer, Cham, 2020. – С. 307-350.
3. Прудникова С. В., Чураков А. А., Овсянкина С. В., Хижняк С. В. Выделение и идентификация автохтонных возбудителей болезней картофеля, распространенных в регионах Сибири. Биотехнология новых материалов – окружающая среда – качество жизни: материалы IV Междунар. науч. конф., г. Красноярск, 10-13 октября 2021 г. – С. 174-177
4. Singh N., Singh S. B. Effect of moisture and compost on fate of azoxystrobin in soils. Journal of Environmental Science and Health Part B. – 2010. – Т.45. – №. 7. – С. 676-681.
5. Волова Т.Г., Жила Н.О., Прудникова С.В., Бояндин А.Н., Шишацкая Е.И. Фундаментальные основы конструирования и применения сельскохозяйственных препаратов нового поколения. Красноярск, Красноярский писатель. – 2016. – 214 с.

научного центра прикладной микробиологии и биотехнологии «ГКПМ-Оболенск». Штамм *Candida spp.* КА9 выделен от ковидного больного.

Бактериальные патогены культивировали на классических питательных средах: ГРМ агаре, МПА, грибные патогены – на Сабуро-агаре. Все среды производства «Питательные среды», Оболенск.

Субкультивирование штамма проводили в термостате при 30°C в течение суток на чашках Петри с МП-агаром или ГРМ-агаром («Питательные среды», Оболенск, Россия). Выросшие посевы просматривали на биологическую однородность и для дальнейшей работы брали чашки с типовыми для штамма колониями. Из клеточной массы, собранной с поверхности агаризованной питательной среды (в основном МПА), готовили взвеси клеток для засева колб. Клеточными суспензиями в количестве 1% (по объему) засевали колбы Эрленмейера объемом 750 мл с 200 мл питательной среды. Инкубацию посевов осуществляли на термостатируемой качалке (28–30 °C, 130 об./мин). На этапе выбора питательных сред использовали как готовые коммерческие составы (например, ГРМ бульон, МП бульон, СГК, ПГРМ производства «Питательные среды», Оболенск), так и экспериментальные варианты (СГК с добавлением глюкозы, $MgSO_4$, KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , дрожжевой экстракт и ПГРМ с добавлением $MgSO_4$). В период культивирования отбирали пробы культуральной жидкости (КЖ) для определения динамики изменения антимикробной активности. Для этого полученные пробы центрифугировали при 10000 об/мин в течение 20 мин и пропускали через фильтр с размером пор 0,22 мкм.

Выделение антимикробного вещества (АМВ) проводили несколькими методами. По первому методу, использованному нами ранее для выделения бактериоцина из КЖ штамма *Bacillus subtilis* ПСФ-19 [4] пробы КЖ *B. amyloliquefaciens* разделяли центрифугированием (8000 об./мин, 20 мин), полученный супернатант подкисляли HCl до pH 2.5. Далее повторно центрифугировали, и выпавший осадок гомогенизировали в водно-спиртовой суспензии (6 мл воды на 26 мл 96 % этанола) и снова центрифугировали. Из полученной суспензии выпаривали жидкость на роторном испарителе Heidolph Laborota 4000 (Германия), а полученный осадок смывали дистиллированной водой или Tris HCl буфером (pH 7–8) объемом 1 мл.

В качестве альтернативного способа выделения был выбран метод Babasaki [5]. КЖ центрифугировали при 8000 об./мин и температуре 4 °C. Полученный осадок отбрасывали, а супернатант смешивали с н-бутанолом в пропорциях 1:1. После тщательной гомогенизации полученную эмульсию оставляли в холодильнике на сутки. На следующий день эмульсия разделялась на 3 фракции. Бутанольную и промежуточную фракции (интерфазную пленку) аккуратно отбирали пипеткой и выпаривали досуха. Полученный осадок растворяли в 1–2 мл дистиллированной воды или 96 % этанола.

Так же была опробована методика выделения АМВ с помощью дихлорметана (ДХМ). КЖ центрифугировали при 8000 об./мин при температуре 4 °C. Полученный осадок отбрасывали, а супернатант смешивали с ДХМ в пропорциях 1:1. Тщательно гомогенизировали полученную эмульсию в миксере и вновь центрифугировали при 4000–5000 об/мин 20 мин. Эмульсия разделялась на три фракции. Промежуточную фракцию (интерфазную пленку) аккуратно отбирали пипеткой и выпаривали досуха. Полученный осадок растворяли в дистиллированной воде.

Антимикробную активность КЖ определяли методом прямого и отсроченного антагонизма. При определении прямого антагонизма 10 мкл КЖ и бесклеточного супернатанта КЖ наносили на поверхность свежезасеянного газона с тест-штаммом патогена. Результаты учитывали после инкубации при температуре 30 °C в течение суток. Активность штамма методом отсроченного антагонизма определяли в соответствии с [6].

Молекулярную массу АМВ оценивали методом электрофореза в системе Tris-tricine SDS-PAAG (18%) с пептидными маркерами PageRuler Low Range Protein Ladder (Thermo Scientific). После электрофореза гелевую пластину с проявленными полосами помещали в стерильную чашку Петри и заливали слоем ГРМ-агара с суспензией патогена ($1,2 \times 10^9$ КОЕ/мл) при 35–40 °C. Результаты учитывали после инкубации при 30 °C в течение суток.

Результаты. Бактерии *B. amyloliquefaciens* ЛВП-20 палочковидные, грамположительные, имеют размер 0,7–0,9×1,8–3,0 мкм, споры овальной формы размером 0,6–0,8×1,0–1,4 мкм. Штамм хорошо растет на агаризованных питательных средах промышленного изготовления, включая ГРМ-агар и МПА. Оптимум роста в термостате 18–20 часов при температуре (28±1)°C, начиная с 21 часа культура начинает спороваться. Оптимальная продолжительность глубинного выращивания в колбах при 120–150 об./мин составила 18 ч. Суточные колонии штамма выпуклой округлой формы, светло-бежевые, легко снимаются с поверхности агара при помощи бактериологической петли. Одиночные колонии быстро разрастаются на питательном агаре, достигая за 3 суток 10–20 мм в диаметре. Клетки штамма предпочитают расти в аэробных условиях.

Штамм *B. amyloliquefaciens* ЛВП-20 проявляет активность против грибов родов *Candida* и бактерий родов *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Listeria*, *Escherichia*, *Salmonella*. Штамм более активен против *G*-положительных культур. Зона подавления клинического изолята *Candida spp.* КА9 достигала более 30 мм, штамм *C. albicans* ATCC 10231 – более 20 мм.

Штамм может храниться без потери свойств при температуре (5–10)°C на ГРМ-агаре не менее 6 мес. с обязательным пересевом не реже 1 раза в 2 мес., в замороженном виде при –20°C – не менее 12 мес. Для длительного хранения штамм предпочтительна лиофилизация.

В экспериментах по выбору компонентного состава питательной среды было установлено, что промышленная среда МПА («Питательные среды», Оболенск) показала самые высокие результаты по биосинтезу АМВ в условиях глубинного культивирования. Чуть меньший результат показали среда на картофельном отваре и ПГРМ с добавками. Mueller-Hinton agar и сердечно-мозговой экстракт с добавлением агара оказались наименее эффективными. Оптимальными условиями для биосинтеза АМВ являются 28 °C при (120÷130) об/мин в течении 16 часов.

В ходе определения динамики синтеза АМВ было установлено, что наибольшая продукция АМВ наблюдается около 15 ч роста. Начиная с 17 ч роста культуры зоны подавления патогенов начинали уменьшаться.

Из описанных в разделе Материалы и методы способов выделения АМВ из КЖ первый метод оказался наиболее эффективным. Суть метода состоит в использовании эффекта концентрирования бактериоцина на клетках продуцента в кислой среде, ранее описанного в литературе [7]. Такой подход позволяет, во-первых, сни-

зить объемы перерабатываемых жидкостей, во-вторых, отказаться от использования токсического растворителя и, в-третьих, сократить время выделения АМВ из КЖ.

Для выяснения природы вещества был проведен гель-электрофорез АМВ в системе Tris-tricine SDS-PAGE (18%). Последующее биотестирование гелевой пластины на индикаторном штамме позволило выявить лишь один активный пептид с молекулярной массой около 5,0 кДа.

Заключение. Изолированный нами новый штамм *B. amyloliquefaciens* ЛВП-20. проявляет высокую активность против грибов родов *Candida* и бактерий родов *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Listeria*, *Esheria*, *Salmonella*. Штамм более активен против Г-положительных культур. Зона подавления клинического изолята *Candida spp.* КА9 достигала более 30 мм, штамма *C. albicans* ATCC 10231 – более 20 мм.

Штамм может культивироваться на сравнительно дешевой питательной среде на основе картофельного отвара.

Предложен метод выделения АМВ, продуцируемого штаммом, который позволяет снизить объемы перерабатываемых жидкостей, отказаться от использования токсического растворителя и сократить время выделения АМВ из КЖ.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ХЕМОБИОГЕННЫЕ НАНО(Se, Ag, Au)-СОДЕРЖАЩИЕ СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛТРИАЗОЛА И ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ БАЗИДИОМИЦЕТОВ

Цивилева О.М.¹, Иванова А.А.², Поздняков А.С.², Прозорова Г.Ф.²
¹ Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ СНИЦ РАН, Саратов
² Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск

Водорастворимые органо-неорганические полимерные материалы с наночастицами разной природы обладают бактерицидными и иммуноадьювантными свойствами [1]. Нанокмозиты с наночастицами Se и ряда металлов в матрице гомо- и сополимеров триазола обладают значительным потенциалом при создании биологически-активных препаратов и систем направленной доставки контрастирующих и лекарственных средств [2]. Работы по синтезу и исследованию полимерных ионных комплексов и нанокмозитов металлов, оксидов, неметаллов на основе гомо- и сополимеров 1,2,4-триазола ведутся в ИрИХ СО РАН [3-6]. Актуально выявление антимикробных эффектов и иных биологических свойств синтезированных полимерных нанокмозитов. Цель работы – получение комплекса характеристик биологически активных композиций металлов и селена, изготовленных с использованием микробных культур и химических процессов.

Ксилотрофные базидиомицеты – представители родов *Flammulina*, *Ganoderma*, *Grifola*, *Laetiporus*, *Lentinula*, *Pleurotus*, *Tomophagus* были использованы для изучения ростостимулирующей активности селен- и металлсодержащих полимерных матриц, антибактериального тестирования экспериментальных образцов грибоного происхождения против бактерий *Micrococcus luteus*, *Pectobacterium atrosepticum*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Xanthomonas campestris*. Культуры грибов выращивали в отсутствие и в присутствии полимерных компонентов, обозначенных в соответствии с данными табл. 1.

В качестве полимерной матрицы для стабилизации Se- или металлических наночастиц использовали водорастворимые поли-1-винил-1,2,4-триазол и его сополимер с N-винилпирролидоном, синтезированные

Установлено, что основным антимикробным метаболитом, синтезируемым штаммом *B. amyloliquefaciens* ЛВП-20 является пептид с молекулярной массой около 5 кДа. Выделенный пептид будет в дальнейшем исследоваться в качестве основы для создания новых лекарственных средств против грибных и бактериальных болезней.

Список литературы

1. Perez-Rodriguez A., Eraso E., Quindós G., Mateo E. Antimicrobial peptides with anti-Candida activity. Int. J. Mol. Sci. 2022; 23: 9264.
2. Cotter P.D., Ross R.P., Hill C. Bacteriocins – a viable alternative to antibiotics? Nat Rev Microbiol. 2013 Feb;11(2):95-105.
3. Sumi C.D., Yang B.W., Yeo I.C., Hahm Y.T. Antimicrobial peptides of the genus Bacillus: a new era for antibiotics. Can J Microbiol. 2015 Feb;61(2):93-103.
4. Похиленко В.Д., Калмантаев Т.А., Дунайцев И.А. и др. Выделение и характеристика бактериоцина штамма *Bacillus subtilis*, изолированного из пассифлоры. Бактериология. 2022; 7(1):9–17
5. Babasaki K., Takao T., Shimonishi Y., Kurahashi K. Subtilosin A. A new antibiotic peptide produced by *Bacillus subtilis* 168: isolation, structural analysis, and biogenesis. J Biochem. 1985 Sep;98(3):585-603.
6. ОФС.1.7.2.0009.15 Определение специфической активности пробиотиков. Минздрав РФ, 24.с.
7. Yang R., Ray B. Factors influencing production of bacteriocins by lactic acid bacteria. Food Microbiol. 1994;11:281-91.

методом радикальной полимеризации в присутствии азобис(изобутиронитрила) (АИБН) в среде N,N-диметилформамида (ДМФА) (рис. 1).

Таблица 1. Полимерные компоненты, использованные в работе.

Добавка к питательной среде	Содержание элемента, масс. %	Обозначение в данной работе
Сополимер 1-винил-1,2,4-триазола с N-винилпирролидоном	0	СПЛ
Поли-1-винил-1,2,4-триазол-Se	4	Se-ПЛ
Сополимер 1-винил-1,2,4-триазола с N-винилпирролидоном-Se	2	Se-СПЛ
Сополимер 1-винил-1,2,4-триазола с N-винилпирролидоном-Ag	8	Ag-СПЛ
Сополимер 1-винил-1,2,4-триазола с N-винилпирролидоном-Au	10.7	Au-СПЛ

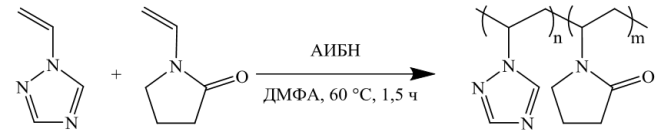


Рисунок 1. Радикальная сополимеризация 1-винил-1,2,4-триазола с N-винилпирролидоном.

Синтез полимерных нанокмозитов проводили в ИрИХ СО РАН путем химического восстановления ионов серебра, золота и селена до нуль-валентного состояния. По данным просвечивающей электронной микроскопии нанокмозиты характеризовались равномерным распределением изолированных электроно-контрастных наночастиц, имеющих преимущественно сферическую форму, во всем объеме полимерной ма-

трицы (рис. 2, а). Дисперсность наночастиц по размерам составляла 1–12 нм (рис. 2, б).

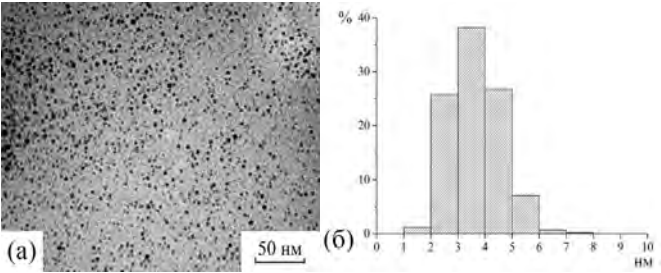


Рисунок 2. Электронная микрофотография (а) и диаграмма распределения наночастиц по размерам (б) полимерных нанокомпозитов (на примере Ag-содержащего нанокомпозита).

Выявлено влияние Se- и металлсодержащих полимерных матриц на ростовые характеристики грибов в условиях искусственной культуры. Подбор рациональных дозировок в пересчете на Se и металл привел нас к использованию концентрации 1×10⁻⁴ моль/л как исходного уровня в питательной среде. Уже начальные эксперименты позволили выявить высокий потенциал применения поли-1-винил-1,2,4-триазол-Se (Se-ПЛ) и Se-содержащего композита на основе сополимера 1-винил-1,2,4-триазола с N-винилпирролидоном, Se-СПЛ (табл. 1), обладающих, как оказалось, ростостимулирующими свойствами в отношении грибных объектов. Наряду с Se-ПЛ и Se-СПЛ, изучали и полимерную матрицу СПЛ, а также серебро- и золотосодержащие композиты на основе СПЛ (Ag-СПЛ и Au-СПЛ соответственно, табл. 1).

Общая картина экзогенного действия СПЛ как компонента агаризованных сред показала весьма слабое стимулирование или даже ингибирование роста микотроф в этих вариантах опыта. Композит Ag-СПЛ, несмотря на антимикробные свойства серебро-содержащей субстанции, не снижал и даже в некоторой степени повышал скорость освоения мицелием агаризованного субстрата, Au-СПЛ не оказывал существенного влияния на ростовые характеристики культур базидиомицетов. По результатам твердофазного выращивания мицелия можно составить последовательность в порядке убывания положительного отклика культур на присутствие полимерных химических субстанций в среде (К – контроль без добавок): Se-ПЛ > Ag-СПЛ > Se-СПЛ > Au-СПЛ > К > СПЛ. То есть выявлена ростостимулирующая активность всех изученных элемент-содержащих полимеров в отношении базидиомицетов *F. velutipes*, *G. colossus*, *G. lucidum*, *G. neojaponicum*, *G. umbellata*, *L. sulphureus*, *L. edodes*, *P. ostreatus*, *T. cattienensis*.

Для оценки влияния хемобиогенных нанокомпозитов на бактериальные фитопатогены вначале проводили погруженное выращивание всех вышеуказанных культур базидиомицетов в присутствии СПЛ, Se-ПЛ, Se-СПЛ, Ag-СПЛ, Au-СПЛ или в отсутствие этих добавок, получали целевые биокомпозиты на основе внеклеточных метаболитов. По результатам определения бактерицидной активности 60-ти образцов с *M. luteus* B-109, *P. atrosepticum* 1043, *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* 603, *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* MI, *Ps. fluorescens* EL-2.1, *X. campestris* B-610 отобрали 27 образцов, характеризовавшихся ненулевой активностью против бактериальных тест-систем. Указанные биообразцы описаны в табл. 2.

Графические зависимости количественного показателя бактерицидной активности от состава изучаемых грибных субстанций выглядели неодинаково для раз-

ных тест-систем с наиболее выраженными различиями для *M. luteus* и *X. campestris* (рис. 3).

Таблица 2. Препараты грибного происхождения с бактерицидной активностью, полученные в работе.

Номер п/п	Продуцент биокомпозита	Добавка (элемент-содержащего) полимера
1	<i>Ganoderma colossus</i> SIE1301	отсутствует
2	<i>Laetiporus sulphureus</i> 120707	отсутствует
3	<i>Pleurotus ostreatus</i> HK352	отсутствует
4	<i>Tomophagus cattienensis</i> SIE1302	отсутствует
5	<i>Flammulina velutipes</i> 0535	СПЛ
6	<i>Ganoderma colossus</i> SIE1301	СПЛ
7	<i>Ganoderma lucidum</i> 1315	СПЛ
8	<i>Lentinula edodes</i> F-249	СПЛ
9	<i>Ganoderma neojaponicum</i> SIEbgm	СПЛ
10	<i>Laetiporus sulphureus</i> 120707	СПЛ
11	<i>Flammulina velutipes</i> 0535	Se-ПЛ
12	<i>Ganoderma colossus</i> SIE1301	Se-ПЛ
13	<i>Ganoderma lucidum</i> 1315	Se-ПЛ
14	<i>Lentinula edodes</i> F-249	Se-ПЛ
15	<i>Laetiporus sulphureus</i> 120707	Se-ПЛ
16	<i>Pleurotus ostreatus</i> HK352	Se-ПЛ
17	<i>Pleurotus ostreatus</i> 69	Se-ПЛ
18	<i>Ganoderma colossus</i> SIE1301	Se-СПЛ
19	<i>Laetiporus sulphureus</i> 120707	Se-СПЛ
20	<i>Pleurotus ostreatus</i> 69	Se-СПЛ
21	<i>Ganoderma colossus</i> SIE1301	Ag-СПЛ
22	<i>Ganoderma neojaponicum</i> SIEbgm	Ag-СПЛ
23	<i>Laetiporus sulphureus</i> 120707	Ag-СПЛ
24	<i>Flammulina velutipes</i> 0535	Au-СПЛ
25	<i>Ganoderma colossus</i> SIE1301	Au-СПЛ
26	<i>Ganoderma lucidum</i> 1315	Au-СПЛ
27	<i>Laetiporus sulphureus</i> 120707	Au-СПЛ

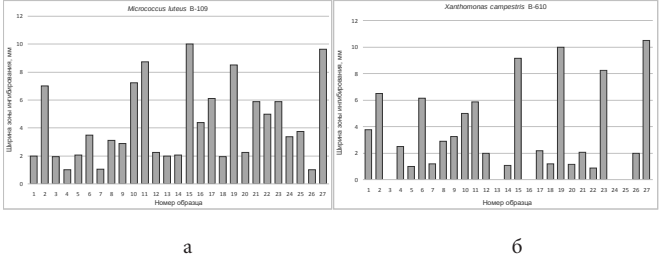


Рисунок 3. Влияние биокомпозитов грибного происхождения на *Micrococcus luteus* B-109 (а) и *Xanthomonas campestris* B-610 (б) (метод диффузии в агар). Номера образцов соответствуют данным табл. 2.

В зависимости от бактериальной тест-системы, от 8 до 12 из указанных в табл. 2 биообразцов характеризовались величиной ширины зоны ингибирования не менее 4 мм. Наиболее высокой активностью отличались образцы *L. sulphureus*+Au-СПЛ, *L. sulphureus*+Se-СПЛ, чуть меньшей – на основе Se-ПЛ с метаболитами того же базидиомицета (образец 15) и *F. velutipes*+Se-ПЛ (образец 11). В отличие от перечисленных бактерицидных агентов, биообразцы 17, 22 и 23 только в единичных случаях проявляли способность формировать зону ингибирования роста фитопатогенов шириной не менее 8 мм. Другие грибные препараты обладали более низкой активностью (рис. 3).

При значительных различиях в количественных характеристиках выявленной биоактивности (ширина зоны ингибирования для разных препаратов варьировала в пределах порядка величины) следует отметить явных «лидеров», биообразцы на основе которых обладали более высокими показателями в нашем эксперименте. Прежде всего это трутовик серно-желтый (*L.*

sulphureus), опенок зимний (*F. velutipes*), термофильный базидиомицет субтропической зоны *G. colossus*.

Явным положительным эффектом обладали тестируемые биопрепараты, изготовленные с применением селенсодержащих полимеров Se-ПЛ и Se-СПЛ. При этом необходимо отметить преимущества полимерной матрицы гомополимера 1-винил-1,2,4-триазола по сравнению с его сополимером с N-винилпирролидоном в условиях использования соответствующих Se-содержащих полимерных композитов для получения биообразцов грибного происхождения. Различие в плане более высокого содержания селена в Se-ПЛ по сравнению с Se-СПЛ (4 и 2 масс.% соответственно) нивелировалось за счет одинаковой массовой доли селена в навесках этих веществ при использовании в качестве добавок в биологическом эксперименте. Однако преимуществом как в плане бактерицидной активности полученного таким образом биопрепарата, так и ранее отмеченного положительного влияния на ростовые характеристики базидиомицетов, обладал Se-ПЛ.

Таким образом, исследовано влияние (Se, Ag, Au)-содержащих нанокompозитов, полученных химическим методом в матрице гомо- и сополимера винилтриазола, на культуры базидиомицетов. Получены элемент-содержащие хемобиокompозиты на основе грибных внеклеточных метаболитов, обладающие бактерицидным эффектом против фитопатогенов родов *Micrococcus*, *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*. Сравнитель-

ные исследования синтезированных химическим и биологическим методом полимерных композитов с наночастицами Se и металлов могут способствовать совершенствованию научных основ применения изучаемых инновационных субстанций.

Список литературы

1. Korytov K.M., Dubrovina V.I., Pyatidesyatnikova A.B., et al. Assessment of toxic and immunoadjuvant properties of nanocomposites. *Acta Biomedica Scientifica* 2019, 4(3), 102–109.
2. Singla R., Abidi S.M., Dar A.I., Acharya A. Nanomaterials as potential and versatile platform for next generation tissue engineering applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 2019, 107(7), 2433–2449.
3. Zhmurova A.V., Prozorova G.F., Korzhova S.A., Pozdnyakov A.S., Zvereva M.V. Synthesis and DC electrical conductivity of nanocomposites based on poly(1-vinyl-1,2,4-triazole) and thermoelectric tellurium nanoparticles. *Materials* 2023, 16(13), 4676.
4. Emel'yanov A., Korzhova S., Ivanova A., et al. Water-soluble nanocomposites containing Co3O4 nanoparticles incorporated in poly-1-vinyl-1, 2, 4-triazole. *Polymers* 2023, 15(13), 2940.
5. Smyslov R., Emel'yanov A., Nekrasova T., et al. Photoluminescence of metal-polymer complexes based on functional triazole-carbazole copolymers with terbium ions. *Applied Sciences* 2023, 13(8), 4762.
6. Prozorova G., Emel'yanov A., Ivanova A., et al. A novel water-soluble polymer nanocomposite containing ultra-small Fe3O4 nanoparticles with strong antibacterial and antibiofilm activity. *Nanoscale* 2025, 17(3), 1458–1472.

ЭФФЕКТИВНОЕ УСТРАНЕНИЕ ФУЗАРИОЗА НА ХВОЙНЫХ КУЛЬТУРАХ ЗА СЧЕТ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ГРИБА *CLONOSTACHYS ROSEA f CATENULATA* V1349 В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ.

Варфоломеева Е.А., Альдекеева В.Б.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

В нынешнее время, в сложной обстановке находятся хвойные культуры растений т.к. хвойные культуры наиболее уязвимы к болезням, большинство посевного материала приобретает с наличием фузариозного заболевания, которое сохраняется без видимых симптомов на стадии карантина. Возбудитель заболевания проникает в сосуды стеблей и корней, закупоривает их, при этом выделяются токсины. После чего фузариозное заболевание быстро распространяется и способно уничтожить в считанные дни не только новый посадочный материал, но и распространяется на уже взрослые растения. Множество химических препаратов малоэффективны, наблюдается эффект сдерживания, биопрепараты также проявляют слабую эффективность [1, 2]. Нами была проведена оценочно-сравнительная работа по сравнению известных биологических, химических препаратов с лабораторными образцами, в составе которого содержится почвенный гриб *Clonostachys rosea f catenulata* V1349. Работа проводилась на хвойных культурах растений (табл. 1).

Авторами данной статьи, был выделен почвенный изолят *Clonostachys rosea f. catenulata* V1349 в естественных условиях сероземных почв из-под корней здорового хлопчатника в полях Узбекистана.

Изолят прошел стадию идентификации и депонирования в ВКПМ 2022г.

В 2022 и 2024 гг, нами была проведена работа с тем же (ЛО) на основе грибов *Clonostachys rosea f catenulata* V1349, который показал свою эффективность в лабораторных условиях [3, 4]. В данной работе нашей целью было наглядно показать эффективность ЛО по отношению к большинству распространенных видов фузариоза хвойных пород (табл. 2, табл. 3).

В качестве испытания был выделен участок с растениями. Испытуемый участок поделили на 5 частей, в котором первая часть была отведена в качестве контроля, вторая часть для испытаний систем защиты на основе *Trichoderma* spp, третья для биофунгицида на основе бактерии *Bacillus subtilis*, четвертая для ЛО на основе *Clonostachys rosea f catenulata* V1349, пятая часть для химических препаратов Максим и Ракурс. Испытания проводили на территории частного питомника в Ленинградской области и в Ботаническом саду Петра Великого, на растениях открытого грунта. Фитопатологическая оценка проводилась для разных возрастных категорий хвойных: сеянцы, саженцы, молодые и взрослые растения, возрастом до 20 лет.

Таблица 1. Хвойные культуры растений.

Культура растений	Разновидность
Можжевельник	<i>Juniperus communis</i> L. можжевельник обыкновенный
	<i>Juniperus communis</i> L. «Hibernica» (f. Hibernica Gord.) можжевельник обыкновенный «Хиберника» ф. Ирландская
	<i>Juniperus communis</i> L. «Hibernica Aurea» можжевельник обыкновенный «Хиберника Aurea» ф. Ирландская золотистая
	<i>Juniperus communis</i> L. «Suesica» можжевельник обыкновенный «Суецика» ф. Шведская
	<i>Juniperus communis</i> «Vase» можжевельник обыкновенный «Вазе»
	<i>Juniperus foetidissima</i> Willd. Можжевельник воночий
	<i>Juniperus horizontalis</i> Moench Можжевельник горизонтальный
	<i>Juniperus procumbens</i> (Siebold ex Endl.) Miq. «Nana» можжевельник лежачий «Нана»
	<i>Juniperus pseudosabina</i> Fisch. Et C.A. Mey. Можжевельник ложноказацкий
	<i>Juniperus rigida</i> Siebold et Zucc. Можжевельник твердый
	<i>Juniperus rigida</i> Siebold et Zucc. var. <i>litoralis</i> (Urussov) Z.V. Kozhevnikova Можжевельник твердый, разновидность прибрежная
	<i>Juniperus Sabina</i> L. Можжевельник казацкий
	<i>Juniperus sargentii</i> (A. Henry) Takeda ex Koidz. Можжевельник Саржента
Туя	<i>Thuja koraiensis</i> Nakai Туя корейская
	<i>Thuja occidentalis</i> L. Туя западная
	<i>Thuja occidentalis</i> L. «Aurea» Туя западная «Ауреа» ф. золотистая
	<i>Thuja occidentalis</i> L. «Europe Gold» Туя западная «Европа Голд»
Тис	<i>Taxus baccata</i> L. Тис ягодный
	<i>Taxus cuspidata</i> Siebold. et Zucc. Тис остроколючный
	<i>Taxus x media</i> Rehd. (<i>T. baccata</i> x <i>T. cuspidata</i>) Тис средний

Таблица 2. Препараты используемые в работе и их характеристики.

Препарат	Описание	Препаративная форма	Действующее вещество и КОЕ/г
Биологические препараты			
ЛО	почвенный гриб с широкой фунгицидной активностью	вермикулит с мицелием и спорами	<i>Clonostachys rosea f catenulata</i> V1349 титр не менее 1*9 КОЕ/г
Глиокладин СП	биологический фунгицид для подавления возбудителей грибных заболеваний	смачивающийся порошок	<i>Trichoderma harzianum</i> , штамм 18 ВИЗР титр 10*10 КОЕ/г
Триходерма Вериде 471 СП	биопрепарат для защиты растений от болезней	смачивающийся порошок	<i>Trichoderma veride</i> , штамм 471 титр не менее 1*9 КОЕ/г
Алирин-Б	биологический фунгицид	таблетки – ТАБ	бактерии <i>Bacillus subtilis</i> , штамм В-10 ВИЗР (титр не менее 10 ⁹ КОЕ/г)
Химические препараты			
Максим	Контактный фунгицид широкого спектра	КС (концентрат суспензии)	Флудиоксонил 25 г/л Мефеноксам 10 г/л
Ракурс	Фунгицид хвойных	суспензионный концентрат (СК)	эпоксиконазол (240 г/л) и ципроконазол (160 г/л)

Данная работа велась на протяжении сезона 2023г, сравнивали концентрацию почвенных фитопатогенов методом прямого титрования,концентрацию фузариоза оценивали по количеству пораженных растений.

Почву отбирали в 10 повторностях из разных мест, разных растений с одного участка. Методом прямого титрования с последующим высевом на плотную питательную среду, определяли КОЕ/г абсолютно сухой почвы. Идентификация фитопатогенов, в основном, проводилась микроскопическим методом. В таблице 4 представлены результаты микологического анализа почвенных образцов 2023 г.

Таблица 3. Схема внесения препаратов.

Препарат	Норма расхода	Кратность применения	Способ внесения
ЛО	4,3 кг/га	3	Внесение в почву перед высадкой черенков, 2-кратный полив растений под корень.
Глиокладин СП	60 г/га, Расход рабочей жидкости – 1000- 2000 л/га	5	Внесение в субстрат перед высадкой череков и 4-кратный полив под корень.
Триходерма Вериде 471 СП	50 г/10 л воды. Расход рабочей жидкости – 100-200 мл/1 растение	4	Полив растений под корень в фазе 2-5 настоящих листьев, последующие – через 2, 4, 6 недель
Алирин-Б	1 таблетка/5 л	8	Полив растений под корнь с интервалом 15-20 дней. Расход рабочей жидкости 5 л/м²
Максим	20 мл препарата в 1 л воды.	2	Замачивание корней, через 2 месяца полив под корень
Ракурс	4 мл препарата на 5 л воды. Для обработки кроны одного дерева требуется от 2 до 5 л рабочего раствора.	4	Опрыскивание крон 1раз в месяц

Таблица 4. Результаты микологического анализа почвенных образцов 2023 г.

	Препараты	КОЕ грибов, тыс.шт. в одном г абсолютно сухой почвы			
		<i>F.oxysporum</i>	<i>F. solani</i>	<i>F.sporotrichioides</i>	<i>F.sambucinum</i>
начало 2023 г. участок 1. Контроль	–	0,9	1,8	3,2	1,3
конец 2023 г. участок 1. Контроль	–	3,2	1,9	4,8	3,5
конец 2023 г. после применения систем защиты на основе <i>Trichoderma</i> spp. участок 2	Глиокладин СП	2,2	1,2	4,0	2,8
	Триходерма Вериде 471 СП	1,6	1,0	5,2	3,9
конец 2023 г. после применения систем защиты на основе бактерии <i>Bacillus subtilis</i> spp. участок 3	Алирин-Б	1,0	0,9	4,1	3,2
конец 2023 г. после применения систем защиты лабораторных образцов на основе <i>Clonostachys rosea f catenulata</i> V1349, участок 4	Лабораторные Образцы (ЛО)	0,6	0,4	0,9	1,0
конец 2023 г. после применения химических средств защиты, участок 5	Максим	2,0	0,7	4,3	3,3
	Ракурс	1,3	0,6	4,0	2,5

Из представленной таблицы можно сделать вывод, химические фунгициды (Максим/Ракурс) и биофунгициды (на основе *Trichoderma* spp. и *Bacillus subtilis* spp) проявляют хорошую эффективность на двух видах фузариума (*Fusarium oxysporum* и *Fusarium solani*), однако при наличии более агрессивных фузариумов *Fusarium sporotrichioides* и *Fusarium sambucinum* биологические препараты проявляли слабую эффективность, а в некоторых местах фузариоз стал наиболее агрессивным, чем было в контроле, это говорит о том, что перечисленные препараты способствуют прогрессированию фузариозов. Биопрепараты на основе *Bacillus subtilis* spp. проявляют хорошие показатели только в условиях многократных обработок

Из представленной таблицы можно сделать вывод, химические фунгициды (Максим/Ракурс) и биофунгициды (на основе *Trichoderma* spp. и *Bacillus subtilis* spp) проявляют хорошую эффективность на двух видах фузариума (*Fusarium oxysporum* и *Fusarium solani*), однако при наличии более агрессивных фузариумов *Fusarium sporotrichioides* и *Fusarium sambucinum* биологические препараты проявляли слабую эффективность, а в некоторых местах фузариоз стал наиболее агрессивным, чем было в контроле, это говорит о том, что перечисленные препараты способствуют прогрессированию фузариозов. Биопрепараты на основе *Bacillus subtilis* spp. проявляют хорошие показатели только в условиях многократных обработок

Отдельное внимание уделяем Лабораторным Образцам, во всех результатах наблюдаем высокую эффективность не только сдерживания, но и значительное сокращение концентрации фитопатогенов, в то время как остальные биофунгициды и фунгициды проявляли в основном сдерживающий эффект.

Исследования подтвердили, что **гриб** *Clonostachys rosea f. catenulata* V1349 эффективно подавляет фузариоз

у хвойных, включая агрессивные виды (*F. sporotrichioides*, *F. sambucinum*). В отличие от химических и биопрепаратов (на основе *Trichoderma* и *Bacillus subtilis*), которые лишь сдерживают инфекцию, *Clonostachys rosea f. catenulata* V1349 значительно снижает концентрацию патогенов, демонстрируя стабильную эффективность в любых условиях. Это делает его перспективным экологичным средством защиты растений.

Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «История создания, состояние, потенциал развития живых коллекций растений Ботанического сада Петра Великого БИН РАН», номер 124020100075-2

Список литературы

1. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений. /пер. с нем. К.В. Попковой, В.А. Шмыгли. – М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.

2. Попкова К.В., Шкаликов В. А., Стройков Ю. М., др. Общая фитопатология: учебник для вузов.- М.: Дрофа, 2005. 445с.

3. Варфоломеева Е.А., Бочкова В.Б. Выделение и изучение почвенного гриба *Clonostachys rosea f catenulata* V1349 с дальнейшим практическим применением в качестве штамма-продуцента биопрепарата для защиты растений. Современная микология в России. 2022; 9 (6): 410-413.

4. Варфоломеева Е.А., Альдекеева В.Б. Практическая оценка эффективности почвенного гриба *Clonostachys rosea f catenulata* v1349 в качестве штамма-продуцента биопрепарата для защиты растений, а также его сравнение с другими биопрепаратами на основе *trichoderma* spp.. Современная микология в России. 2024; 10: 314.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ТЕБУКОНАЗОЛУ ИЗОЛЯТОВ ZYMOSEPTORIA TRITICI В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Зеленева Ю.В.¹, Зубко Н.Г.¹, Гришечкина Л.Д.¹, Чернышова С.К.²
¹ Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург
² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

Пшеница – одна из главных сельскохозяйственных культур в России, занимающая большую часть посевных площадей. Российская Федерация – крупнейший производитель и экспортер пшеницы на мировом рынке (<https://agriecommission.com/>). Выращивание данной культуры затрудняется различными

биотическими и абиотическими факторами. Септориоз листьев является одним из наиболее опасных грибных заболеваний многих зерновых культур, в том числе пшеницы. Возбудитель *Zymoseptoria tritici* (teleomorph: *Mycosphaerella graminicola*) (Quaedvlieg et al., 2011) –

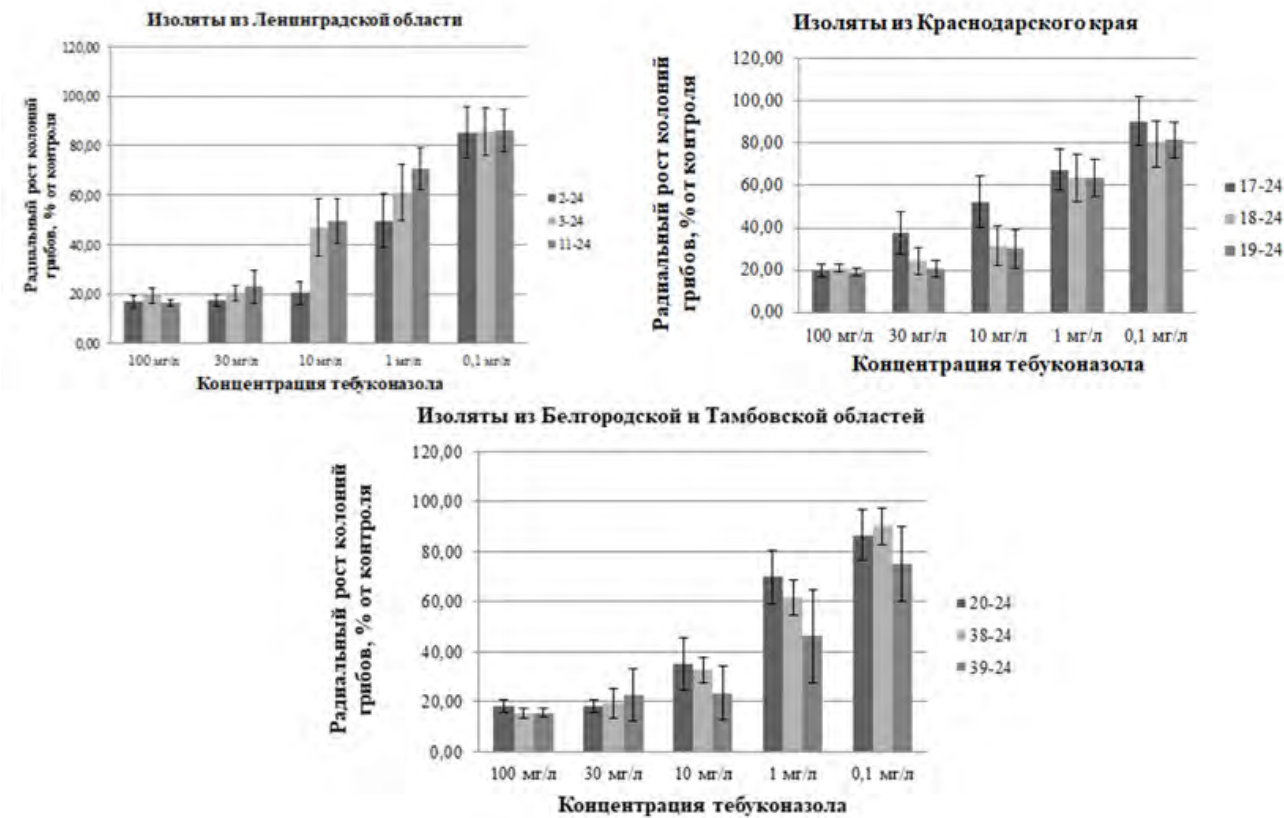


Рисунок 1. Влияние концентрации тебуконазола на рост изолятов гриба *Zymoseptoria tritici*.

апопластный патогенный вид с гембиотрофным жизненным циклом.

Это заболевание широко распространено по всему миру, в том числе в крупнейших странах-производителях пшеницы: Аргентине, Эфиопии, США, Нидерландах, Новой Зеландии, Иране, Тунисе, Марокко и Австралии (Ponomarenko et al. 2011). В годы эпифитотий потери урожая могут составлять от 30% до 54% (Ponomarenko et al. 2011, Berraies et al. 2014).

В условиях интенсивного производства зерна и отсутствия устойчивых сортов химический метод борьбы с этим патогеном является приоритетным. Высокой эффективностью в борьбе с пятнистостью листьев отличаются три основные группы фунгицидов: ингибиторы сукцинатдегидрогеназы (SDHI) – производные карбоксамидов, ингибиторы 14а-деметилазы (DMI) – триазолы и ингибиторы хинонового наружного действия (QoI) – стробилурины (Ababa G., 2023).

Азолы – самый обширный класс фунгицидов, широко используемых для защиты различных сельскохозяйственных культур от большого круга фитопатогенных организмов, включая и возбудителя септориоза (Крупенько, 2023). В основном они обладают системными свойствами. Передвигаясь по сосудистой системе растения, гарантируют высокую эффективность в защите культуры от инфекции. В пределах химического класса азолы различаются по проникающей способности и эффективности. Они не действуют на прорастание спор, однако, эффективны в отношении мицелия, а также удлиняющихся ростковых трубок (Андреева, Зинченко, 2002).

Среди этой группы фунгицидов тебуконазол занимает особое место, так как характеризуется высокой фунгицидной активностью в низких нормах применения в борьбе со многими фитопатогенами, передающимися с семенами, аэрогенным способом и через почву. Его механизм действия направлен на

нарушение биосинтеза стерола в мембранах, мишенью действия является C14-деметилирование в биосинтезе стерола (FRAC Code List, 2022).

Целью работы являлось изучение чувствительности к тебуконазолу изолятов *Z. tritici*, полученных из Ленинградской, Белгородской, Тамбовской областей и Краснодарского края.

Методика. Токсичность тебуконазола по отношению к грибу *Z. tritici* изучалась в лабораторных условиях по методике Raco et al. (2017) с использованием показателя CK_{50} (<https://www.aatbio.com/tools/ec50-calculator>). Для этого был собран растительный материал с характерными симптомами проявления заболевания. Образцы собирали в 2024 г. на территории Тамбовской, Белгородской, Ленинградской областей и Краснодарского края.

Из растительного материала была изолирована чистая культура моноконидиальных колоний гриба *Z. tritici* на картофельно-глюкозный агар (КГА) (Коломиец и др., 2017).

Всего изолировано 225 изолятов *Z. tritici* с 9 сортов пшеницы из них: 75 изолятов гриба из Ленинградской области (2-24-1...25-*Z.t.*, 3-24-1...25-*Z.t.*, 11-24-1...25-*Z.t.*); 75 из Краснодарского края (17-24-1...25-*Z.t.*, 18-24-1...25-*Z.t.*, 19-24-1...25-*Z.t.*); 25 из Белгородской области (20-24-1...25-*Z.t.*); 50 из Тамбовской области (38-24-1...25-*Z.t.*, 39-24-1...25-*Z.t.*).

Изучали следующие концентрации действующего вещества тебуконазола: 100, 30, 10, 1, 0,1 мг/л, 3-х кратной повторности. Чувствительность изолятов *Z. tritici* к фунгициду оценивали по ограничению роста культур на питательной среде (Mechl, 2006a; Mechl, 2006b).

В расплавленную питательную среду (КГА) добавляли фунгицид и тщательно перемешивали. Затем на поверхность застывшего агара с фунгицидом в чашки Петри помещали диск диаметром 3 мм, вырезанный из чистой культуры гриба. Посев гриба проводили с соблюдением асептики. В контрольном

варианте использовали чашки Петри без препарата. Для определения активности действующего вещества проводили измерение диаметра колоний гриба в двух взаимно перпендикулярных направлениях и вычисляли средний диаметр. Учеты проводили на 14 день (Raco et al., 2017).

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы «STATISTICA12». Достоверность различий между изолятами гриба, имеющих разное географическое происхождение, определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони.

Результаты. Действие препарата на изоляты гриба проявлялось в ингибировании их роста, степень которого зависела от его концентрации (рисунок 1). В контрольных вариантах диаметр колоний штаммов *Z. tritici* варьировал от 14,41±1,17 мм (18-24-1...10-*Z.t.* из Краснодарского края) до 19,47±1,87 мм (39-24-1...10-*Z.t.* из Тамбовской области).

Наименьшие показатели СК₅₀ установлены в вариантах с изолятами из Ленинградской области: 0,97 мг/л. (2-24-1-25-*Z.t.*), Тамбовской области: 2,26 мг/л. (39-24-1-25-*Z.t.*) и Краснодарского края: 2,39 мг/л (19-24-1-25-*Z.t.*) (Табл. 1).

Таблица 1. Чувствительность изолятов *Zymoseptoria tritici* к тебуконазолу.

Изоляты гриба / происхождение	СК ₅₀ для <i>Z. tritici</i> (диапазон значений для изолятов), мг/л питательной среды		
	Mean ±Std.Dev.	Min	Max
2-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Ленинградская область	0,97±0,38	0,50	2,02
3-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Ленинградская область	3,90±1,52	1,90	7,24
11-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Ленинградская область	6,62±2,62	2,88	16,44
17-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Краснодарский край	9,84±4,84	3,48	21,16
18-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Краснодарский край	2,55±1,39	0,54	6,83
19-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Краснодарский край	2,39±1,20	0,91	5,51
20-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Белгородская область	3,10±1,25	1,43	6,96
38-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Тамбовская область	2,35±0,54	1,40	3,31
39-24-1-25- <i>Z.t.</i> / Тамбовская область	2,26±3,96	0,16	13,08

*изоляты гриба изучены в 3-х кратной повторности при концентрациях тебуконазола:100; 30; 10; 1; 0,1 мг/л

Были обнаружены статистически значимые различия между средними значениями диаметра колоний при разной концентрации действующего вещества. По данному показателю достоверно отличались изоляты из Краснодарского края и из Ленинградской, Тамбовской и Белгородской областей. Между изолятами из Ленинградской области и из Белгородской, Тамбовской областей различий не выявлено. Таким образом, прослеживается влияние географического происхождения *Z. tritici* на чувствительность изолятов гриба к тебуконазолу (Табл. 2).

Таблица 2. Чувствительность к тебуконазолу изолятов из разных агроклиматических зон*.

Колонии <i>Z.tritici</i> , полученные с сортов пшеницы	Ленинградская область	Краснодарский край	Белгородская и Тамбовская области (ЦЧР)
Ленинградская область	-	0,014*	0,589
Краснодарский край	0,014*	-	0,003*
Белгородская и Тамбовская области (ЦЧР)	0,589	0,003*	-

*результаты дисперсионного анализа апостериорных сравнений средних значений радиального роста колоний *Zymoseptoria tritici* на КГА (по чувствительности к тебуконазолу), полученные с использованием *t*-критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони (различия статистически значимы на уровне $p < 0,05$)

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-76-30005.

Список литературы

1. Цифровая платформа знаний. Агроэкомиссия. Электронный ресурс. Официальный сайт. <https://agriecomission.com/> (дата обращения 02.04.225).

2. Quaedvlieg W., Kema G.H., Groenewald J.Z., Verkley G.J., Seifbarghi S., Razavi M. et. al. *Zymoseptoria* gen. nov.: a new genus to accommodate Septoria-like species occurring on graminicolous hosts. Persoonia. 2011. 26:57-69. DOI: 10.3767/003158511X571841.

3. Ponomarenko A., Goodwin S.B., Kema G.H.J. Septoria tritici blotch (STB) of wheat. Plant Health Instr. 2011. DOI: 10.1094/PHI-I-2011-0407-01.

4. Berraies S., Gharbi M.S., Rezgui S., Yahyaoui A. Estimating grain yield losses caused by septoria leaf blotch on durum wheat. Chil J Agric Res. 2014. 74(4):432-437. DOI: 10.4067/S0718-58392014000400009.

5. Ababa G. Biology, taxonomy, genetics, and management of *Zymoseptoria tritici*: the causal agent of wheat leaf blotch. Mycology, 2023. 14(4):292-315. DOI: 10.1080/21501203.2023.2241492.

6. Крупенько Н.А. Классификация и механизм действия химических фунгицидов, применяемых для защиты зерновых культур от болезней в Беларуси. Вестник защиты растений. 2023. 106(2):84-92. DOI:10.31993/2308-6459-2023-106-2-15690.

7. Андреева Е.И., Зинченко В.А. Системные фунгициды – ингибиторы биосинтеза эргостерина. 1. Флутриафол, триадимефон, триадименол, пропиконазол. Агро XXI. 2002. 3: 6-7.

8. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by crossresistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). [Electronic resource]. Available at: https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2 (accessed 02.04.2025).

9. Raco M., Matusinsky P., Ivanicova Z., Tvaruzek L., Pokorny R. Reaction of *Zymoseptoria tritici* isolates collected in the Czech Republic during the year 2017 to azoxystrobin. Collection of conference proceedings MendelNet 2017 [Electronic resource]. Available at: <https://mendelnet.cz/archive.php?secid=9&mag=mnt&vol=2017&no=1> (accessed 02.04.2025).

10. <https://www.aatbio.com/tools/ec50-calculator> [Electronic resource] (accessed 04.04.2025).

11. Коломиец Т.М., Пахолкова Е.В., Дубовая Л.П. Подбор исходного материала для создания сортов пшеницы с длительной устойчивостью к септориозу // Печатный город: Москва, Россия, 2017. С. 56.

12. Mechl A. (a) The radial growth test of determination of the sensitivity of the fungus Septoria tritici to tebuconazole, 2006. Bayer CropScience AG. Germany [Electronic resource]. Available at: https://www.frac.info/docs/default-source/monitoring-methods/approved-methods/sepctr-radial-growth-bcs-2006-v1.pdf?sfvrsn=a799419a_4 (accessed 02.04.2025).

13. Mechl A. (b) The microtiter plate test of determination of the sensitivity of the fungus Septoria tritici to tebuconazole, prothioconazole, epoxyconazole. 2006. Bayer CropScience AG. Germany. Available at: https://www.frac.info/docs/default-source/monitoring-methods/approved-methods/sepctr-microtiter-monitoring-method-bcs-2006-v1.pdf?sfvrsn=aa99419a_4 (accessed 02.04.2025).

Национальная академия микологии
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

СОВРЕМЕННАЯ МИКОЛОГИЯ В РОССИИ

Current Mycology in Russia

Том 11

Volume 11

Выпуск 6.

Грибные биотехнологии

Issue 6.

Biotechnology from fungi

Глава 10.

Новые грибные биотехнологии

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.10

Chapter 10.

Fungal biotechnology

doi: 10.14427/cmr.2025.xi.10

Содержание выпуска 6

Глава 10. Новые грибные биотехнологии

ДРОЖЖИ <i>ZYGOTORULASPORA DAGESTANICA</i> И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ Абдуллабекова Д.А., Магомедова Е.С., Качалкин А.В.....	274
БИОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МАЛОИЗУЧЕННЫХ АГАРИКОИДНЫХ ГРИБОВ ПРИ ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ Алешина О.М., Гурина С.В., Ананьева Е.П., Псурцева Н.В.....	275
ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТИМИКРОБНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГРИБОВ РОДА <i>PLEUROTUS</i> ДЛЯ ОЧИСТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ Антимонова М.А., Автономова А.В., Курбатова И.В., Кравченко Е.С., Синева О.Н., Шуктуева М.И., Загайнова А.В., Краснопольская Л.М.....	276
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МИЦЕЛИАЛЬНОЙ БИОМАССЫ АРМЯНСКИМИ ШТАММАМИ <i>FOMES INZENGAE</i> (<i>POLYPORACEAE</i> , <i>AGARICOMYCETES</i>) Бадалян С.М., Арстамян С.С., Гарибян Н.Г.....	277
КОМПЛЕКС АНТИМИКРОБНОГО ПЕПТИДА НИГЕЛЛОТИОНИНА ИЗ СЕМЯН НИГЕЛЛЫ ПОСЕВНОЙ (<i>NIGELLA SATIVA</i> L.) С ТИОРЕДОКСИНОМ <i>ESCHERICHIA COLI</i> КАК РЕГУЛЯТОР РОСТА ГРИБОВ И РАСТЕНИЙ Барашкова А.С., Рогожин Е.А.....	280
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БИОСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ <i>RHIZOPUS ORYZAE</i> F-814: ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ Беляева А.Д., Беляева И.Д., Харьковская О.Ю., Сахипова А.Р., Няникова Г.Г.....	281
БИОХИТОЗАН <i>RHIZOPUS ORYZAE</i> : ОТ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ К БИОКОМПЗИТУ Беляева И.Д., Беляева А.Д., Няникова Г.Г., Сахно Д.Д., Мартинсон К.Д.....	282
НОВОЕ В ИЗУЧЕНИИ СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ Белова Н.В., Змитрович И.В.....	283
ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА МЕДИ НА СИНТЕЗ ЛАККАЗЫ АФИЛЛОФРОИДНЫМИ БАЗИДИОМИЦЕТАМИ В ПРОЦЕССЕ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ Бодрова А.С., Ананьева Е.П., Гурина С.В., Псурцева Н.В.....	285
ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ЭКССУДАТИВНЫХ СТРУКТУР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БАКТЕРИАЛЬНЫЙ СПЕКТР СИМБИОНТОВ У КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ВЫСШИХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ <i>LENTINUS EDODES</i> (BERC.), <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> (JACQ.), <i>HERICUM ERINACEUS</i> (PERS.) Богдаев А.Г.....	286
СОСТАВ ЛИПИДОВ БИОМАССЫ МИКОФИЛЬНОГО ГРИБА <i>HYROMYCES ODORATUS</i> НА СИНТЕТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ Буракаева А.Д.....	286
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ШТАММА 1080 <i>IRPEX LACTEUS</i> (FR.) FR. ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ АПК Чемерис О.В.....	288
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПО БЛАСТОСПОРАМ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ НОВОГО ДЛЯ РОССИИ ВИДА <i>AKANTHOMYCES UREDINOPHILUS</i> (HYPOCREALES, <i>CORDYCIPITACEAE</i>) Черепанова М.А., Судариков В.Г., Митина Г.В., Чоглокова А.А.....	289
ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РОСТ МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ <i>LAETIPORUS SULPHUREUS</i> И <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> Чжэн Л., Пучкова Т.А.....	290
ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРЕПАРАТА ТРАМЕТИН ПЛЮС НА ОСНОВЕ ГРИБА КСИЛОТРОФА <i>TRAMETES PUBESCENS</i> (SHUMACH.:FR.) PILAT. Чхенкели В.А., Чхенкели Г.Д., Вокина В.А.....	291
НАНООКСИД Fe_3O_4 БИОСТИМУЛЯТОР СИНТЕЗА ЛИПАЗ ШТАММОМ ГРИБА <i>FUSARIUM NIVALE</i> FD 13L Чилочи А.А., Лаблюк С.В., Дворнина Е.Г., Клапко С.Ф.....	293
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАСТИНАХ К ИЗМЕНЕНИЮ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ ВЫСШИХ ГРИБОВ Дацук Е.Р., Смирнова А.В., Шамсутдинова Е.С., Смирнов А.В.....	294
ОЦЕНКА МЕТАНОЛА КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СУБСТРАТА ДЛЯ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ (<i>AGARICUS BISPORUS</i> И <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i>) С ПОМОЩЬЮ БИОСЕНСОРНОГО МЕТОДА Емельянова Е.В.....	295
ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ ВОДЫ В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПАТОГЕННОСТЬ МИЦЕЛИЯ <i>SALORHOMA COMPLANATA</i> Гасич Е.Л., Хлопунова Л.Б., Берестецкий А.О.....	297
МИКОПРОТЕИН БРИТАНСКИЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ Горшина Е.С.....	298
ФОРМИРОВАНИЕ, СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПЕЛЛЕТ ГРИБОВ РОДА <i>GANODERMA</i> – ПРОДУЦЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ Краснопольская Л.М., Ярина М.С., Шуктуева М.И., Джавахян Б.Р.....	300
ОСОБЕННОСТИ РОСТА МИЦЕЛИЯ ЕЖОВИКА ГРЕБЕНЧАТОГО НА РАЗНЫХ ПО СОСТАВУ ТВЕРДЫХ СУБСТРАТАХ Лавлинский А.В.....	301
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДРОЖЖЕЙ РАСЫ SAFSPIRIT C-70 И СОСТАВА ЗАМЕСА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БРАЖКИ Мордасова Е.С., Атыкян Н.А.....	302

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИТИН-ГЛЮКАНОВОГО КОМПЛЕКСА ИЗ НАТИВНОЙ БИОМАССЫ <i>PHALLUS IMPUDICUS</i> И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ D-ГЛЮКОЗАМИНА	
Разин А.Н., Филиппова И.А., Юшкевич Т.В.	302
СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ГРИБОВ <i>GANODERMA APPLANATUM</i> И <i>LENTINULA EDODES</i> НА СОХРАННОСТЬ СПЕРМЫВ УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ	
Сергушкина М.И., Полежаева Т.В., Соломина О.Н., Худяков А.Н., Зайцева О.О., Попыванов Д.В.	304
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ <i>GANODERMA APPLANATUM</i> В КАЧЕСТВЕ БИОПЕСТИЦИДА	
Шамаев Н.Д., Потапов К.О., Шуралев Э.А.	306
ИЗУЧЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ПЛОДОВЫХ ТЕЛ И ПОГРУЖЕННЫХ КУЛЬТУР БАЗИДИОМИЦЕТОВ	
Шуктуева М.И., Зиангирова М.Ю., Лысакова В.С., Комиссаров Н.С., Дьяков М.Ю., Синева О.Н., Краснопольская Л.М.	308
ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ ДЛЯ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	
Смирнов А.В., Краснопольская Л.М., Кузнецова И.Е.	310
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ <i>HERICIUM ERINACEUS</i> (BULL.: FR.) PERS. В ТЕХНОЛОГИИ КРИОКОНСЕРВИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ КЛЕТОК ЖИВОТНЫХ	
Соломина О.Н., Худяков А.Н., Полежаева Т.В., Зайцева О.О., Сергушкина М.И., Широких А.А., Широких И.Г.	311
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МАЗИ НА ОСНОВЕ МЕЛАНИНА ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ ЧАГИ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ОЖОГОВОЙ РАНЫ	
Ставский Е.А., Теплякова Т.В., Петровская И.Ф., Стацевич Л.Н., Зарубина Ю.Д., Яшина Т.А., Литвинова А.А., Шишкина А.К.	313
ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ШТАММОВ <i>ALTERNARIA PAPAVERICOLA</i> С МИКОГЕРБИЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРИ МУЛЬТИБИОКОНВЕРСИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ	
Титова Ю.А., Краснобаева И.Л.	315
ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ МИКОГЕРБИЦИДОВ НА ОСНОВЕ ШТАММОВ <i>SCLEROTINIA SCLEROTIORUM</i> ПУТЕМ МУЛЬТИБИОКОНВЕРСИИ ОТХОДОВ ГРИБОВОДСТВА	
Титова Ю.А.	316
ДУБ ЧЕРЕШЧАТЫЙ И АССОЦИИРОВАННЫЕ С НИМ ГРИБЫ КАК ЗНАЧИМЫЙ РЕСУРС ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ	
Змитрович И.В., Белова Н.В., Шишлянникова А.Б.	318
ДРОЖЖИ: ВКЛАД В РЕШЕНИЕ ОБЩИХ ПРОБЛЕМ БИОЭНЕРГЕТИКИ	
Звягильская Р.А.	320

Глава 10

Новые грибные биотехнологии

10.14427/cmr.2025.xi.10

ДРОЖЖИ *ZYGOTORULASPORA DAGESTANICA* И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Абдуллабекова Д.А.¹, Магомедова Е.С.¹, Качалкин А.В.^{2,3}¹ Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова^{2,3} ИБФМ им. Г.К. Скрыбина ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино

В результате эколого-таксономических исследований дрожжей, направленных на выявление закономерностей их распространения в природе и адаптированности к тем или иным условиям окружающей среды, нередко выделяются штаммы, относящиеся к новым таксонам.

При изучении дрожжевых сообществ жимолости грузинской (*Lonicera iberica* M. Bieb.) – эндемика Кавказа, произрастающего в Дагестане, были изолированы 4 ферментирующих штамма, образующих споры. Филогенетический анализ, основанный на последовательностях ITS-региона и D1/D2 доменов гена большой субъединицы рРНК и генов RPB2 и TEF1, показал, что они представляют собой новый вид рода *Zygotrulaspora* [1], который был предложен в 2003 г. и первоначально включал 2 вида – *Z. florentina* (бывш. *Zygosaccharomyces florentinus*) и *Z. mrakii* (бывш. *Zygosaccharomyces mrakii*) [2].

На основании результатов филогенетического анализа и фенотипических характеристик дагестанских штаммов был описан новый вид, для которого предложено название *Zygotrulaspora dagestanica*. Голотип – KBR Y-4591T, три метаболически неактивные криоконсервированные изотипические культуры – DSM 100088, VKM Y-3060 и VKPM Y-4318. Номер MycoBank – MB 83828 [1].

В настоящее время род *Zygotrulaspora* вместе с *Z. dagestanica* и выделенными позже *Z. cornina* и *Z. smilacis* [3], включает 8 видов.

При изучении физиологических признаков новых штаммов отмечена их способность к ферментации d-глюкозы и d-галактозы. Зафиксирован рост на глюкозе, d-галактозе, сахарозе (замедленный и слабый), раффинозе (замедленный и слабый) и глицерине.

Задачей исследований было определение температурного диапазона развития дрожжей *Z. dagestanica* и поиск направления использования их ресурсного потенциала.

Определение температурного интервала роста штаммов *Z. dagestanica* на среде GPYA выявило их способность усваивать углеводы в пределах 9–43°C. Максимальная температура роста и ферментации среды GPY,

содержащей 2% глюкозы в трубках Дунбара, зависела от штамма и составляла от 41 до 43 °C (фото.1,2).

В отличие от штаммов *Z. dagestanica* максимальная температура роста других видов рода *Zygotrulaspora* находится на более низком уровне – у культур *Z. chibaensis* и *Z. danielsina* при 35°C и 37°C (слабый рост), дрожжи *Z. mrakii* и *Z. florentina* не проявили способности расти при 30 °C и 35 °C соответственно [4].



Рисунок 2. Брожение глюкозы при 40°C и 42°C.

Использование термотолерантных дрожжей особенно важно для современных биотехнологий, таких, как производство биоэтанола, где проведение высокотемпературной ферментации экономически целесообразно. Однако доступность этих культур является серьезной проблемой, поэтому научные подходы к их получению постоянно совершенствуются. Наряду с использованием гибридных и рекомбинантных штаммов, предлагается применение термоустойчивых культур, выделенных из природных источников.

Потенциал дрожжей рода *Zygotrulaspora*, нетрадиционных для виноделия, исследователи ранее оценивали при проведении винификации на культуре *Z. florentina*. Авторы отметили, что при использовании ее в качестве смешанного стартера с *S. cerevisiae* улучшается вкусо-ароматический профиль виноматериалов в результате снижения летучей кислотности, оптимизации концентраций полисахаридов и 2-фенилэтанола (аромат розы). Вино из сорта винограда Санджовезе имело более высокую концентрацию глицерина и эфиров; сенсорно терпкость вина была ниже, а ароматический характер определялся цветочными нотами [5]. Возможно, что дрожжи *Z. dagestanica* также способны оказывать положительное влияние на качество вин.

Значительный практический интерес в промышленной биотехнологии, сельском хозяйстве, медицине представляют дрожжи, продуцирующие токсины, способные подавлять активность патогенов. Вопрос о кил-

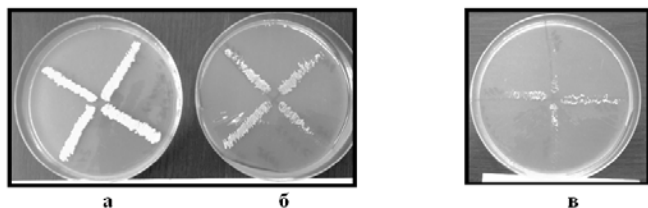


Рисунок 1. Рост штаммов *Z. dagestanica* при температуре: а – 20°C; б – 43°C; в – 44°C.

лерных свойствах дрожжей *Z. dagestanica* в настоящее время изучается.

Решение широкого спектра задач, связанных с биопотенциалом новых дрожжей, адаптированных к естественным экологическим условиям, может быть найдено только при проведении целенаправленных исследований. Выявленная термотолерантность *Z. dagestanica* рассматривается как первый шаг на этом пути.

Список литературы

1. Kachalkin A.V., Abdullabekova D.A., Magomedova E.S., Yurkov A.M. *Zygorulasporea dagestanica* sp. nov., a novel ascomycetous yeast species associated with the Georgian honeysuckle (*Lonicera iberica* M. Bieb.) // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2021. – Т. 71, N 4. – P. 1-6. DOI:10.1134/S2079096121030021

2. Kurtzman C.P. Phylogenetic circumscription of *Saccharomyces Kluyveromyces* and other members of the *Saccharomycetaceae*, and the proposal of the new genera *Lachancea*, *Nakaseomyces*, *Naumovia*, *Vanderwaltozyma* and *Zygorulasporea*. FEMS Yeast Res. 2003, 4, 233–245.

3. Ahn C., Kim M., Kim C. *Zygorulasporea cornina* sp. nov. and *Zygorulasporea smilacis* sp. nov., Two Novel Ascomycetous Yeast Species Isolated from Plant Flowers and Fruits. Mycobiology. 2021 Oct 15;49(5):521-526. doi: 10.1080/12298093.2021.1975919

4. Carvalho, C., Tomás, A., Libkind, D., Imanishi, Y., & Sampaio, J. P. (2018). *Zygorulasporea chibaensis* sp. nov. and *Zygorulasporea danielsina* sp. nov., novel ascomycetous yeast species from tree bark and soil. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 68(8), 2633–2637. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002889>

5. Lencioni, L., Romani, C., Gobbi, M., Comitini, F., Ciani, M., Domizio, P. Controlled mixed fermentation at winery scale using *Zygorulasporea florentina* and *Saccharomyces cerevisiae*. Int. J. Food Microbiol. 2016, 234, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.004>

БИОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МАЛОИЗУЧЕННЫХ АГАРИКОИДНЫХ ГРИБОВ ПРИ ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ

Алешина О.М.¹, Гурина С.В.¹, Ананьева Е.П.¹, Псурцева Н.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

Базидиомицеты представляют значительный интерес для биотехнологии благодаря способности продуцировать соединения с широким спектром биологической активности. Однако изучены биологические свойства лишь около 10% известных грибов. В связи с этим, актуальной задачей является поиск новых видов и штаммов, синтезирующих биологически активные соединения [1]. Особое внимание уделяется полисахаридам, ферментам, метаболитам с антимикробной активностью, которые могут расширить ассортимент биотехнологически ценных продуктов и способствовать созданию новых препаратов.

Целью данного исследования было выявление перспективных базидиомицетов, активно накапливающих биомассу мицелия при глубинном культивировании и обладающих высоким биосинтетическим потенциалом. В работе были поставлены следующие задачи: 1) Изучение динамики накопления биомассы отобранных штаммов при

глубинном культивировании. 2) Количественная оценка накопления полисахаридов в культуральной жидкости в процессе глубинного культивирования.

Объектами исследования являлись образцы 48 штаммов базидиомицетов класса *Agaricomycetes*. Образцы были собраны и выделены в чистую культуру во Вьетнаме на территории Национального парка Бидуп-Нуйба и заповедника Кон Чу Ранг в 2023 году.

В результате предварительного скрининга для проведения глубинного культивирования были выбраны штаммы с наиболее высокими показателями ростовых и ферментативных характеристик: *Candolleomyces candolleanus* (Fr.) D. Wächt. & A. Melzer LE-BIN 5352, *Campanella buettneri* Henn. LE-BIN 5402, *Hymenopellis raphanipes* (Berk.) R.H. Petersen LE-BIN 5399. Штаммы прошли верификацию с помощью ПЦР-анализа и были введены в Коллекцию культур базидиомицетов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE-BIN).

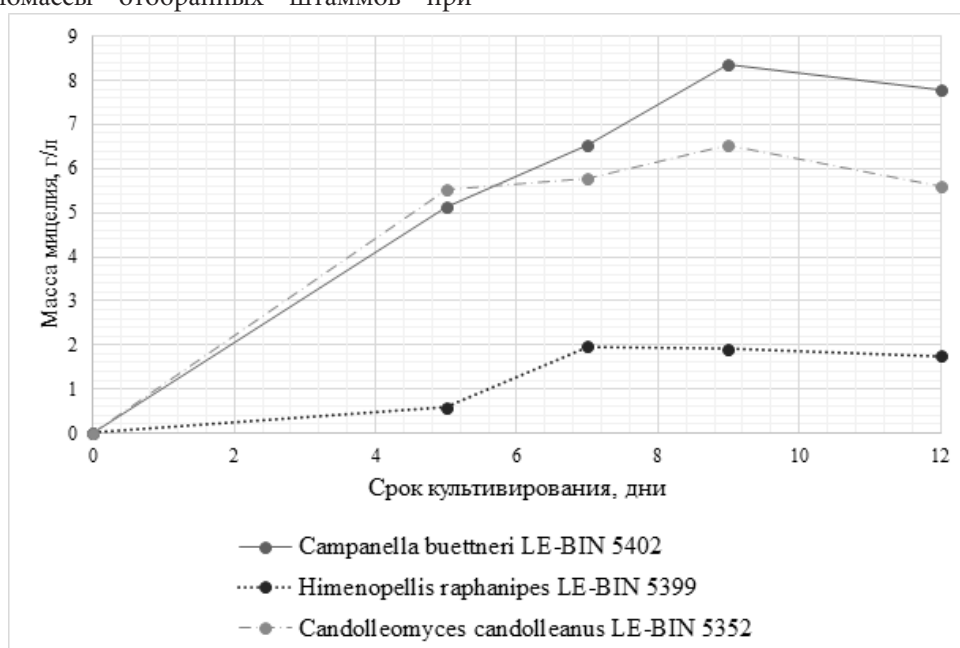


Рисунок 1. Динамика накопления биомассы отобранных штаммов.

Посевной материал выращивали в стерильных колбах объемом 500 мл, содержащих фарфоровые бусы и 100 мл солодового экстракта (солодовый экстракт 4%, рН 5,8-6,0), в течение 5-12 дней при 24±2 °С. Мицелий, выросший в виде пленки на поверхности среды, разбивали при помощи бус путем интенсивного вращения колб до образования гомогенной суспензии мицелия.

Глубинное культивирование проводили в колбах объемом 750 мл на жидкой среде на круговом шейкере-инкубаторе BioSan ES-20 при 180 об/мин и 25 °С в течение 12 дней, визуальнo контролируя культуры на контаминацию в процессе всего периода культивирования. Выращивание штаммов проводили на среде следующего состава (г/л): пептон – 3; глюкоза – 10; MgSO₄ – 0,5; CaCl₂ – 0,05; KН₂РO₄ – 0,6; K₂НРO₄ – 0,4; ZnSO₄ – 0,01; FeSO₄ – 0,005; рН = 5,6 – 6,0; стерилизовали 30 мин при 1 атм [2]. Посевную суспензию вносили в асептических условиях (10% от объема питательной среды). Съемы проб проводили на 5, 7, 9 и 12 сутки роста штаммов. Культуральные жидкости фильтровали через капроновую ткань на вакуумной установке. В отобранном культуральном фильтрате (КФ) определяли рН (Hanna рН 211). Биомассу мицелия высушивали в течение 2-3 суток при 40±2 °С. Массу воздушно-сухого мицелия определяли на аналитических весах (Ohaus Adventurer).

Изучение динамики роста отобранных штаммов при глубинном культивировании показало, что наибольшие значения биомассы были достигнуты на 7-9 дни роста. Полученные результаты по накоплению биомассы (г/л) в динамике роста штаммов представлены на рисунке 1.

Сводные результаты по культивированию исследованных штаммов при максимальных значениях биомассы представлены в таблице 1. Показано, что наибольшими значениями накопления биомассы (8,36 г/л) отличался штамм *C. buettneri* LE-BIN 5402 на 9 день культивирования при подкислении рН КФ до 4,61. Штамм *C. candolleanus* LE-BIN 5352 также достигал максимума биомассы на 9 день роста при незначительном подщелачивании КФ, однако накапливал меньше биомассы (6,52 г/л). Штамм *H. raphanipes* LE-BIN 5399 достиг максимума биомассы на 7 день роста при повышении рН почти до нейтрального, по сравнению с исходными значениями, однако характеризовался низким приростом биомассы (1,97 г/л), который оставался близким к этому уровню до конца культивирования.

Таблица 1. Сводные результаты по культивированию исследованных штаммов базидиальных грибов.

Коллекционный номер	Видовое название	День роста	Биомасса (г/л)	рН культурального фильтрата
LE-BIN 5352	<i>Candolleomyces candolleanus</i>	9	6,52	6,27

LE-BIN 5399	<i>Hymenopellis raphanipes</i>	7	1,97	6,92
LE-BIN 5402	<i>Campanella buettneri</i>	9	8,36	4,61

Начиная с 5 суток культивирования штамма *C. buettneri* LE-BIN 5402 наблюдалось образование густой, вязкой культуральной жидкости, что свидетельствовало об образовании культурой внеклеточных полисахаридов [3]. Выход полисахаридов определяли на 9 сутки культивирования, когда наблюдали максимальное накопление биомассы и наибольшую вязкость культуральной жидкости. Для выделения полисахаридов использовали метод их осаждения 96% этиловым спиртом. Образовавшийся осадок пропускали через бумажный фильтр и высушивали на воздухе. Выход полисахаридов у штамма *C. buettneri* LE-BIN 5402 составил 2,47 г/л, что свидетельствует о высоком биосинтетическом потенциале этого штамма.

Таким образом, в результате работы был изучен процесс глубинного культивирования штаммов малоизученных видов агарикомицетов, которые выделялись наиболее высокими показателями ростовых и ферментативных характеристик при культивировании на агаризованных средах, и выявлен штамм (*Campanella buettneri* LE-BIN 5402), продуцирующий наибольшее количество биомассы (8,36 г/л) при активном биосинтезе экзополисахаридов. Значительное количество синтезированных внеклеточных полисахаридов (2,47 г/л) говорит о перспективности дальнейшего исследования этого вида.

Работа выполнена в рамках государственного задания БИН РАН, рег. номер 124013100829-3.

Список литературы

1. Venturella G., Ferraro V., Cirlincione F., Gargano M.L. Medicinal mushrooms: bioactive compounds, use, and clinical trials International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. P. 634. Doi:10.3390/ijms22020634.

2. Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Senik S.V., Shakhova N.V., Belova N.V. The conservation and study of macromycetes in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection — their taxonomical diversity and biotechnological prospects Journal of fungi. 2023. Vol. 9, N 12. P. 1196. Doi:10.3390/jof9121196.

3. Jaros D., Köbsch J., Rohm H. Exopolysaccharides from Basidiomycota: Formation, isolation and techno-functional properties Engineering in Life Sciences. 2018. Vol. 18, N 10. P. 743-752. Doi: 10.1002/elsc.201800117.

ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТИМИКРОБНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГРИБОВ РОДА *PLEUROTUS* ДЛЯ ОЧИСТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ

Антимонова М.А.¹, Автономова А.В.¹, Курбатова И.В.², Кравченко Е.С.²,
Синева О.Н.¹, Шуктуева М.И.¹, Загайнова А.В.², Краснопольская Л.М.¹

¹ НИИ по изысканию новых антибиотиков, Москва

² ЦСП ФМБА России, Москва

Почва и выращиваемые на ней растения могут выступать в роли резервуара для инвазивных микроорганизмов [1]. Патогенные бактерии, такие как представители рода *Salmonella*, условно-патогенные *Escherichia coli* и бактерии группы кишечной палочки, а также бактерии из семейства *Enterobacteriaceae* могут присутствовать в почве и передаваться через пищевые цепи, вызывая заболевания у людей и животных. Потенциальным решением проблемы очистки от заражения почв патогенными и условно-патогенными микроорганизмами могут стать базидиальные грибы рода *Pleurotus* за счет их способности к синтезу метаболитов с антимикробными свойствами, что делает их возможной основой биопрепарата для борьбы с заражением почв и растений. В литературе описано, что метанольные и этанольные экстракты плодовых тел *Pleurotus ostreatus* и *P. florida* демонстрировали активность в отношении *E. coli*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Salmonella typhi*. Метанольные экстракты плодовых тел *P. ostreatus* и *P. florida*, показали зоны ингибирования роста *E. coli* до 19,8 и 18,6 мм зоны, соответственно, в отношении *P. aeruginosa* антибактериальная активность экстракта *P. ostreatus* составила до 16,4 мм, а метанольные экстракты *P. florida*, проявили активность в отношении *S. faecalis* (14,8 мм). В отношении *S. typhi* под действием метанольных и этанольных экстрактов вешенки зона ингибирования составляла до 15,6 мм. [2]. Экстракты плодовых тел *P. eryngii* (этилацетатный, метанольный, гексановый) демонстрировали умеренную активность в отношении *P. aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *S. pyogenes*, *B. subtilis* и *Candida albicans*. Экстракты были неактивны в отношении *E. coli* [3]. В плодовых телах *P. citrinopileatus* был обнаружен индивидуальный метаболит – глюкозилцерамид с выраженной противомикробной активностью в отношении *E. coli* и *S. aureus* [4]. Этилацетатный экстракт культуральной жидкости *P. citrinopileatus* показал активность в отношении *E. coli* и *S. aureus* (зоны ингибирования по 34 мм) [5]. Из видов *P. mutilus* и *P. passeckerianus* были выделены антибактериальные метаболиты – плевромутилины, ингибирующие бактериальный синтез белка путем связывания с рибосомами. Плевромутилины активны в отношении грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов, в том числе в отношении MRSA и *Mycobacterium tuberculosis* [6]. На основе плевромутилинов разработаны полусинтетические антибиотики (ретапамулин, лефамулин). Ретапамулин одобрен FDA в 2007 году для наружного применения при терапии инфекций, вызванных *S. aureus*, *S. pyogenes* [7]. Лефамулин (BC-3781) одобрен FDA в 2019 г. для системного применения (внутривенно и перорально). BC-3781 активен в отношении *S. aureus*, *Enterococcus faecium*, *S. pneumoniae*, *S. viridans*, *Moraxella catarrhalis*, *Haemophilus influenzae* и др. [8-9]. Таким образом, виды рода *Pleurotus* обладают высоким потенциалом для использования их с целью снижения нагрузки патогенных и условно-патогенных

микроорганизмов в различных местах обитания. Большим преимуществом грибов рода *Pleurotus* является их безопасность для человека, так как многие виды этого рода являются съедобными.

Целью настоящей работы стала оценка потенциала штаммов рода *Pleurotus* для создания на основе их культур биопрепарата для снижения количества патогенных и условно-патогенных микроорганизмов в почве.

Первым этапом работы было погруженное культивирование восьми штаммов, относящихся к четырем видам: *P. ostreatus*, *P. pulmonarius*, *P. eryngii* и *P. citrinopileatus*. Четыре штамма видов *P. ostreatus*, *P. citrinopileatus*, *P. pulmonarius* достигали максимума накопления биомассы на 6 сутки культивирования, два штамма *P. ostreatus* – на 7 сутки, два штамма видов *P. ostreatus* и *P. eryngii* на 8 сутки. Максимальный выход сухой биомассы был у штамма *P. ostreatus* Селигер и составил 15,33 г/л.

На втором этапе оценивали антибактериальную и антифунгальную активность погруженной культуры штаммов рода *Pleurotus*. По достижении максимального содержания биомассы проводили экстракцию культуральной жидкости этилацетатом и хлороформом, мицелия – этанолом. Антимикробную активность изучали методом диффузии из лунок в агар на чашках Петри. В качестве тест-объектов для оценки антибактериальной активности использовали: *S. aureus*, *Micrococcus luteus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa*. В качестве тест-объектов для оценки антифунгальной активности использовали: *C. albicans*, *C. auris*, *Rhizopus* spp., *Penicillium commune*, *Aspergillus brasiliensis*, *Aspergillus fumigatus*, *Fusarium* spp., *Syncephalasrum racemosum*.

В отношении *B. subtilis* были активны все штаммы вешенки, в отношении *S. aureus* и *M. luteus* были активны 7 штаммов из 8 изученных. Наибольшие зоны подавления *S. aureus* были у штамма *P. ostreatus* Виктория (20 мм). В отношении *P. aeruginosa* активность была у двух штаммов *P. ostreatus* Виктория (18 мм) и Sommer (25 мм) и штамма *P. eryngii* (19 мм). Хлороформные экстракты проявили схожую или меньшую активность по сравнению с этилацетатными.

Экстракт *P. citrinopileatus*, ингибировал рост всех грибных тест-объектов, кроме *S. racemosum*, демонстрируя активность в отношении *C. albicans* (12 мм), *C. auris* (11,5 мм), *P. commune* (13,5 мм), *A. brasiliensis* (12 мм), *A. fumigatus* (14,5 мм), *Rhizopus* spp. (13 мм). Изученные штаммы *P. ostreatus* проявляли выраженную активность в отношении *Rhizopus* spp. (16 мм), *S. racemosum* (16 мм) и *Fusarium* spp. (18 мм). Штамм *P. eryngii* был активен в отношении *P. commune*, *A. fumigatus*, *Fusarium* spp. Хлороформные экстракты показывали схожую или меньшую активность по сравнению с этилацетатными экстрактами. Этанольные экстракты сухой биомассы практически не проявили антифунгальную активность.

По результатам исследований скорости накопления биомассы и антимикробной активности для разработки и приготовления экспериментального образца био-

препарата были выбраны штаммы *P. citrinopileatus* и *P. eryngii*.

На третьем этапе проводили модельный эксперимент по влиянию экспериментального образца био-препарата на загрязнение дерново-подзолистой почвы бактериями *E. coli*, *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*. Биопрепараты мицелия, получали твердофазным культивированием с использованием субстрата на основе ячменя и проса. В качестве растительного компонента в эксперименте использовали листовой салат. Шестнадцать групп поместили в климатическую камеру на 25 дней. Раз в неделю отбирали пробы почвы для микробиологического изучения образцов.

В результате модельного эксперимента было выявлено, что биопрепарат на основе зернового мицелия подавляет инвазивную микробиоту почвы. Внесенный в почву *E. faecium* присутствовал в контроле до конца эксперимента, тогда как в группах с биопрепаратом на основе *P. eryngii* полностью элиминировался. *E. coli* и *E. faecalis* в конце эксперимента отсутствовали во всех группах. В динамике наблюдали, что действие биопрепаратов *P. eryngii* и *P. citrinopileatus* приводило к постепенному снижению количества внесенных бактерий *E. coli*, *E. faecium*, *E. faecalis*, скорость этих процессов была выше, чем в контроле.

Внесение биопрепаратов стимулировало увеличение выявляемого видового разнообразия бактерий почвы. По окончании эксперимента в опытных образцах были обнаружены виды бактерий, которые отсутствовали в почве в начале эксперимента. Это может говорить о том, что зерновой мицелий оказал стимулирующее действие на микробиоту почву, стимулируя рост аборигенной микробиоты почвы.

Биопрепараты на основе базидиальных грибов рода *Pleurotus* имеют потенциал для «оздоровления» почвы с точки зрения снижения инвазивной микробиологической нагрузки с одновременной стимуляцией аборигенной микробиоты. Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейших исследований по очистке и обогащению почв с использованием метаболического потенциала базидиальных грибов.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МИЦЕЛИАЛЬНОЙ БИОМАССЫ АРМЯНСКИМИ ШТАММАМИ *FOMES INZENGAE* (POLYPORACEAE, AGARICOMYCETES)

Бадалян С.М., Арстамян С.С., Гарибян Н.Г.
Ереванский государственный университет, Армения

Известно, что по содержанию белков, липидов, полисахаридов, а также биологически активных соединений мицелиальная биомасса культивируемых агарикомичетных грибов превосходит плодовое тело. Более того, поверхностное и глубинное культивирование мицелия с целью получения грибной биомассы позволяет разработать различные экологически безопасные и стандартизированные биотехнологические продукты, включая инновационные лекарственные (mushroom-pharmaceuticals), питательные (nutraceuticals), а также косметические (cosmeceuticals) средства [Badalyan et al., 2023; Badalyan and Zambonelli, 2023].

Широко распространенный в природе настоящий трутовик *Fomes fomentarius* s.l. встречается также на территории Армении и является единственным видом рода *Fomes* (Badalyan, Gharibyan, 2008). Филогенетический

Список литературы:

1. Пушкарева В. И., Литвин В. Ю., Ермолаева С. А. Растения как резервуар и источник возбудителей пищевых инфекций. Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2012. – №2 (63). – С. 10-20.
2. Gashaw G., Fassil A., Redi F. Evaluation of the antibacterial activity of *Pleurotus* spp. cultivated on different agricultural wastes in Chiro, Ethiopia. International Journal of Microbiology. – 2020. – Vol. 2020. – №. 1. – P. 9312489.
3. Acay H., Dündar A., Kaçar S., et al. Investigation of nutritional content, antioxidant anticancer and antimicrobial activities of *Pleurotus eryngii* (DC. Ex Fr.) Quel, extract obtained by different solvents. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi. – 2021. – Vol. 24. – №. 2. – P. 267-277.
4. Meng, T. X., Ishikawa, H., Shimizu, K., et al. A glucosylceramide with antimicrobial activity from the edible mushroom *Pleurotus citrinopileatus*. Journal of wood science. – 2012. – Vol. 58. – P. 81-86.
5. Chomcheon P., Kheawkum B., Sriwiset P., et al. Antibacterial activity of crude extracts from edible mushrooms *Pleurotus citrinopileatus* and *Tricholoma crassum* Berk. Thai J. Pharm. Sci. – 2013. – Vol. 37. – P. 107-111.
6. Novak R., Shlaes D.M. The pleuromutilin antibiotics: a new class for human use.// Curr. Opin. Investig. Drugs. – 2010. – Vol.11. – № 2. – P.182-191
7. Patel AB, Lighter J, Fulmer Y, et al. Retapamulin Activity Against Pediatric Strains of Mupirocin-resistant Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Pediatr Infect Dis J. – 2021. Vol.40. – № 7. – С. 637-638.
8. Sader HS, Paukner S, Ivezić-Schoenfeld Z, et al. Antimicrobial activity of the novel pleuromutilin antibiotic BC-3781 against organisms responsible for community-acquired respiratory tract infections (CARTIs).// J Antimicrob Chemother. – 2012. – Vol. 67. – № 5. P. 1170-1175.
9. Eraikhuemen N, Julien D, Kelly A, et al. Treatment of Community-Acquired Pneumonia: A Focus on Lefamulin. Infect Dis Ther. – 2021. Vol. 10. – №1. P. 149-163.

анализ армянской коллекции *F. fomentarius* s.l. выявил две сублинии (клады) A2 и B2, принадлежащие соответственно к *F. fomentarius sensu stricto* и *Fomes inzengae* (Ces. & De Not.) Cooke. [Peintner et al., 2019; Zhuykova, Mukhin, 2022; Badalyan et al., 2022]. Существующие литературные данные и наши исследования показали, что клады отличаются не только по морфологии плодового тела и мицелия, но и по субстратной приуроченности, способностью разрушать древесину, химическому составу, подкислению питательной среды, скорости и температуре роста, а также биоактивности [Peintner et al., 2019; Tomšovský et al., 2023; Cristini et al., 2023; Pirronitto et al., 2024; Гарибян и др. 2024]. Более того, некоторые авторы рассматривают *F. inzengae* в качестве самостоятельного вида [Peintner et al., 2019].

Целью настоящей работы было исследование особенностей накопления биомассы и морфологии мицелия 12 генетически идентифицированных штаммов (Fi/3, Fi/8, Fi/15, Fi/16, Fi/20, Fi/24, Fi/25, Fi/26, Fi/29, Fi/30, Fi/31, Fi/32) *F. inzegae* в условиях поверхностной культуры [Badalyan et al., 2022]. Коллекция была выделена в трех флористических регионах Армении (Тавушский, Апаранский, Ереванский) из плодовых тел, собранных с различных широколиственных деревьев: грецкий орех (*Juglans regia*), ива (*Salix alba*), бук (*Fagus*), тополь (*Populus*), граб (*Carpinus*) и клен (*Acer*) [Badalyan, Gharibyan, 2017].

Мицелий культивировали на жидкой среде суслы (4° по Баллингу, pH 6.0) в 250 мл колбах Эрленмейера (10 инокулюмов по 5 мм³ на 100 мл среды). Инокуляция проводилась семидневными культурами *F. inzegae*, после чего колбы инкубировались при 30°C в течение 21 суток. Описывались характер роста воздушного и субстратного мицелия, оценивалась пигментация мицелия и культуральной жидкости.

Мицелиальную биомассу (МБ) отделяли от культуральной жидкости (КЖ) фильтрованием (FILTRAK FN 18), трижды промывали дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре (22±2°C) до воздушно-сухого состояния. МБ взвешивалась ежедневно с целью выявления динамики высыхания до стабильно воздушно-сухого состояния. Количество накопленной сухой биомассы (г) пересчитывалось на г/л. При этом измеряли кислотность КЖ с помощью pH метра (HANNA Instruments, HI 8314). Микроморфологические исследования свежего мицелия проводили с помощью микроскопа с камерой (Omano T-157, OptixCam).

При поверхностном культивировании *F. inzegae* формирует хорошо развитый ватно-войлочный, позже кожистый, в центре белый, а по краям коричневый воздушный мицелий, поднимающийся по стенке колбы. По пигментации мицелия штаммы существенно не отличались, за исключением Fi/8 (*Juglans*) и Fi/31 (*Acer*), у которых она была более интенсивной. Пигментация была невыражена у Fi/16 (*Salix*) и Fi/24 (*Fagus*). На мицелии штаммов Fi/29 и Fi/30, изолированных с *Fagus* отмечалось наличие желто-коричневого экссудата. У всех исследованных штаммов цвет культуральной жидкости по сравнению с питательной средой почти не изменился.

Было описано обильное наличие характерных для мицелия *F. inzegae* вздутых, округлых интеркалярных и терминальных гифальных структур с толстой оболочкой (вероятно кутикулярные клетки или хламидоспоры). В питательной среде и на гифах наблюдались также единичные кристаллы или их скопление различной формы и размеров (прямоугольные, тетрагональные, палочковидные).

Исследованные культуры сформировали в среднем до 99.5 г/л свежей мицелиальной биомассы. Штаммы Fi/20 и Fi/25 (*Populus*), Fi/29 (*Fagus*) и Fi/31 (*Acer*) накопили более 90 г/л, а штаммы Fi/15 (*Salix*), Fi/3 и Fi/26 (*Carpinus*), Fi/32 (*Populus*), Fi/24 и Fi/30 (*Fagus*) – от 80.5 до 88.0 г/л. Штаммы Fi/8 (*Juglans*) и Fi/16 (*Salix*) образовали относительно меньшее количество биомассы – соответственно 76.5 и 66.0 г/л.

Результаты показали, что соотношение количеств свежей и сухой биомассы у исследованных штаммов

составило 16.9 – 22.11 (примерно 20:1). При этом, для всех штаммов высыхание биомассы до воздушно-сухого состояния происходило в течение четырех суток, за исключением Fi/16 (3 сутки).

Таким образом, исследованная армянская коллекция *F. inzegae* накапливала в среднем до 5.5 г/л сухой биомассы. Наибольшее количество биомассы (5.5 г/л) отмечалось у штаммов Fi/29 и Fi/31, а наименьшее (3 г/л) – у Fi/16 (*Salix*). Штаммы Fi/15 (*Salix*), Fi/20 и Fi/25 (*Populus*) образовали по 4.5 г/л, а Fi/3 и Fi/26 (*Carpinus*), Fi/8 (*Juglans*), Fi/24 и Fi/30 (*Fagus*), а также Fi/32 (*Populus*) – по 4 г/л биомассы.

Накопление биомассы является штаммоспецифичным и зависит от скорости и плотности роста мицелия агарикомицетных грибов. У исследованной коллекции *F. inzegae* не наблюдалось существенной корреляции между древесным субстратом и количеством биомассы.

В процессе культивирования штаммы *F. inzegae* подкисляли питательную среду до 21.7% (Fi/20, *Populus*). Пять штаммов, выделенных с *Carpinus*, *Salix*, *Populus* (Fi/3, Fi/16, Fi/25, Fi/26, Fi/32) подкислили среду от 15.7 до 16.7%, четыре штамма (Fi/15, Fi/29, Fi/30, Fi/31) – с *Salix*, *Fagus* и *Acer* – на 13.3%, а Fi/8 (*Juglans*) и Fi/24 (*Fagus*) – на 6.7%.

Известно, что *Carpinus* и *Populus* являются наиболее характерными субстратами для клада *F. inzegae*, *Fagus* и *Betula* – для клада *F. fomentarius* s.s., а *Salix* – универсальным субстратом для всех кладов *F. fomentarius* s.l. [Peintner et al., 2019; Badalyan et al., 2022; Tomšovský et al., 2023; Cristini et al., 2023; Pirronitto et al., 2024]. Наибольшую степень снижения кислотности КЖ, по сравнению с контролем (pH 6), отмечался именно у штаммов *F. inzegae*, выделенных с *Carpinus* и *Populus*.

Дальнейшие исследования биологических и физиологических особенностей мицелиальных коллекций *F. inzegae* будут способствовать выявлению оптимальных условий культивирования для получения мицелиальной биомассы с целью дальнейшей разработки биотехпродуктов грибного происхождения для применения в биотехнологии и биомедицине.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке РА.

Список литературы

1. Гарибян НГ, Гаспарян АК, Бадалян СМ. 2024. Исследование антифунгальной активности мицелия армянской коллекции полипорового гриба *Fomes inzegae* (Agaricomycetes) в отношении дерматофитов. Успехи медицинской микологии, 2024; 26: 20–22.
2. Badalyan S, Zhuykova E, Mukhin V. 2022. The phylogenetic analysis of Armenian collections of medicinal tinder polypore *Fomes fomentarius* (Agaricomycetes, Polyporaceae). Italian J Mycology. 51:23–33.
3. Badalyan SM, Gharibyan NG. 2008. Macroscopic Fungi from Central Part of Virahayotz Mountains' Forests of Armenia and Their Medicinal Properties. Yerevan: YSU Press, 65p.
4. Badalyan SM, Gharibyan NG. 2017. Characteristics of Mycelial Structures of Different Fungal Collections. Yerevan, YSU Press, 176p.
5. Badalyan SM, Morel S, Barkhudaryan A, Rapior S. 2023. Mushrooms as Promising Therapeutic Resources: Review and Future Perspectives. In: Agrawal DC, Dhanasekaran M (eds) Mushrooms with Therapeutic Potentials: Recent Advances in Research and Development. Singapore, Springer Nature, p. 1–54.
6. Badalyan SM, Zambonelli A. 2023. The Potential of Mushrooms to Develop Healthy Food and Biotech Products. In: Fungi and Fungal Products in Human Welfare and Biotechnology (eds. T Satyana-Payana & Deshmukh SK). Singapore, Springer Nature, p. 307–344.

7. Cristini V, Nop P, Zlámál J, Vand MH, Šeda V, Tippner J. 2023. *Fomes fomentarius* and *F. inzengae*—a comparison of their decay patterns on beech wood. *Microorganisms* 11, 679.
8. Peintner U, Kuhnert-Finkernagel R, Wille V, Biasioli F, Shiryayev A, Perini C. 2019. How to resolve cryptic species of polypores: an example in *Fomes*. *IMA fungus*. 10, 17.
9. Pirronitto S, Teng F, Verheyen C, Gaucet V, Henin J.-M, Jourez B, Schmitz S, Chandelier A. 2024. Characterization of *Fomes fomentarius* s.s. and *F. inzengae* in Belgian Beech Forests. 15, 221.
10. Tomšovský M, Kaeochulsri S, Kudláček T, Dálya LB. 2023. Ecological, morphological and phylogenetic survey of *Fomes*

fomentarius and *F. inzengae* (Agaricomycetes, Polyporaceae) co-occurring in the same geographic area in Central Europe. *Mycological Progress*. 22:79.

11. Zhuykova EV, Mukhin VA. 2022. Diversity and ecological features of phylogenetic lineages of tinder fungus in the Urals. *Russ J Ecol*. 53: 366-372.

КОМПЛЕКС АНТИМИКРОБНОГО ПЕПТИДА НИГЕЛЛОТИОНИНА ИЗ СЕМЯН НИГЕЛЛЫ ПОСЕВНОЙ (*NIGELLA SATIVA* L.) С ТИОРЕДОКСИНОМ *ESCHERICHIA COLI* КАК РЕГУЛЯТОР РОСТА ГРИБОВ И РАСТЕНИЙ

Барашкова А.С.^{1,2}, Рогожин Е.А.^{1,2}

¹ Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова (ИБХ РАН), Москва

² Всероссийский институт защиты растений (ВИЗР), Санкт-Петербург

Антимикробные пептиды (АМП) представляют особый интерес среди растительных метаболитов. Они являются компонентами врожденного иммунитета растений и участвуют в защите от биотических и абиотических факторов окружающей среды. С химической точки зрения АМП представляют собой небольшие (до 10 кДа) преимущественно катионные молекулы, обогащенные остатками цистеина. Дисульфидные связи придают им устойчивость к воздействию химических агентов и высокой температуры. Будучи продуктами рибосомального биосинтеза, подавляющее большинство АМП могут быть получены в различных системах гетерологической экспрессии. Первым описанным семейством растительных АМП были тионины – молекулы с молекулярной массой около 5 кДа, стабилизированные 3 или 4 дисульфидными связями. Известно, что тионины обладают ярко выраженной антимикробной активностью по отношению к микроскопическим грибам, дрожжам и бактериям. Кроме того, они обладают гемолитической и антипролиферативной активностью. В основе механизма активности тионинов лежит способность не специфически разрушать клеточные мембраны клеток.

Нигеллотионин NsW2 – представитель семейства тионинов – был выделен из семян нигеллы посевной (*Nigella sativa*). Было показано, что он обладает типичным для данной структурной группы спектром биологической активности: антибактериальной, антифунгальной и антипролиферативной [1]. В экспериментах с микромицетом *Aspergillus niger* было показано, что при достижении минимальной ингибирующей концентрации (МИК) равной 3,1 мкМ и выше действие пептида приводит к необратимому плазмолизу конидий данного гриба. При инкубации в присутствии NsW2 в концентрации равной ½ МИК происходила задержка начала роста, снижалась скорость накопления биомассы в стадии экспоненциального роста.

Рекомбинантный аналог данного пептида был получен в виде химерного белка в комплексе с тiorедоксином *Escherichia coli* (trx-NsW2) путем гетерологической экспрессии. Полученный белок был протестирован на наличие антимикробной активности. Установлено, что данная молекула в составе химерного белка не обладала антифунгальной активности в отношении *A. niger*. Однако, в концентрации равной 10 мкМ он вызывал задержку начала роста гриба в первые 24 ч, но этот эффект исчезал через 36 ч роста [2]. При этом, гриб, выращенный в присутствии trx-NsW2 продуцировал обесцвеченные конидии. Это может

указывать на регуляторную активность белка на гриб на физиологическом уровне, которая не свойственна самим тионинам.

Регуляторная активность гибридного белка также проявлялась в микровегетационных экспериментах на кресс-салате и ячмене. Белок и комплекс белка с фуллереном C_{60-tm} тестировали на наличие активности в отношении фитопатогенных бактерий и грибов, а также в условиях искусственного заражения растений. Было показано, что сам по себе trx-NsW2 не обладает антимикробной активностью. Но в комплексе с фуллереном в соотношении (C_{60-tm}:trx-NsW2 0,01 мг/л: 0,001 мг/л) проявляет антимикробную активность как по отношению к фитопатогенному грибу *Cochliobolus sativus* (возбудитель корневой гнили), так и к фитопатогенной бактерии *Xanthomonas campestris* (возбудитель сосудистого бактериоза). Обработка кресс-салата данным комплексом приводила к повышению энергии прорастания семян и увеличению длины роста при слабой тенденции к снижению длины корня. Комплекс trx-NsW2 с фуллереном также повышал устойчивость растений ячменя к заражению *C. sativus*: возрастало число выживших растений, увеличивалась масса одного растения происходило подавление развития инфекции [3]. Таким образом, химерный белок проявлял регуляторные свойства и по отношению к растениям в условиях искусственного заражения и без них.

Известно, что меланин является фактором резистентности и вирулентности одновременно. Способность trx-NsW2 подавлять такой жизненно важный аспект выживания грибов, как меланогенез, и в то же время усиливать защиту растений ценна в производстве продуктов питания для сельскохозяйственного применения.

*Работа выполнена при поддержке Российского
научного фонда (проект № 19-76-30005-П).*

Список литературы

1. Barashkova A. S., Sadykova V. S., Salo V. A. et al. Nigellothionins from Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Seeds Demonstrate Strong Antifungal and Cytotoxic Activity, *Antibiotics*, vol. 10, no. 2, p. 166, 2021, doi: 10.3390/antibiotics10020166.
2. Barashkova A. S., Ryazantsev D. Y., Zhuravleva A. S., et al. Recombinant Fusion Protein Containing Plant Nigellothionin Regulates the Growth of Food-Spoiling Fungus (*Aspergillus niger*), *Foods*, vol. 12, no. 16, 2023, doi: 10.3390/foods12163002.
3. Панова Г. Г. et al., 'Влияние наноконпозиций на основе производных легких фуллеренов на культурные растения в благоприятных и стрессовых условиях среды их обитания', *Журнал технической физики*, vol. 92, no. 7, p. 1045, 2022, doi: 10.21883/JTF.2022.07.52662.344-21.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БИОСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ *RHIZOPUS ORYZAE* F-814: ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Беляева А. Д., Беляева И. Д., Харьковская О. Ю., Сахипова А. Р., Няникова Г. Г.
Санкт-Петербургский ГТУ (технический университет)

Гриб *Rhizopus oryzae* (Went et Prinsen-Geerligs 1895) ВКПМ F-814 (ATCC 9363, NRRL 395, IMI 40564) представляет собой перспективный объект в области грибной биотехнологии, обладающий широким спектром метаболических и сорбционных свойств. Данный штамм продуцирует молочную кислоту, этанол, ферменты. Существенный интерес вызывает способность данного гриба синтезировать в клеточной стенке хитозан за счет активности фермента хитиндеацетилазы, что обуславливает его перспективность как источника биосорбентов [1, 2].

Среди всех направлений применения биомассы *R. oryzae* особый интерес представляет возможность получения на ее основе сорбентов с высокой удельной поверхностью и специфичностью. Хитозан, полученный из клеточной стенки *R. oryzae*, отличается более высокой удельной поверхностью и эффективностью сорбции по сравнению с крабовым хитозаном, что объясняется рыхлой структурой микрофибрилл и наличием аминокислотных групп, способных к хелатированию и ионному обмену. Исследования показали, что полученные биосорбенты эффективно извлекают из водных растворов тяжелые металлы, синтетические пищевые красители, хлорорганические пестициды, лекарственные препараты [1-3].

Выделенный грибной хитозан отличается высокой биодоступностью, селективностью, безопасностью и устойчивостью к различным условиям среды. Он проявляет выраженную антимикробную активность, способен к хелатному комплексообразованию с ионами металлов и активно взаимодействует с анионными красителями за счет электростатических и водородных связей. Исследования на модельных системах, виноматериалах и напитках показали высокую эффективность препарата на основе *R. oryzae* для дегидратации, осветления и стабилизации продуктов, без ухудшения их органолептических характеристик.

Проведенные работы по культивированию штамма F-814 на различных крахмалсодержащих средах (картофельной, соевой, рисовой, гороховой, кукурузной и др.) показали, что оптимизация состава питательной среды позволяет значительно увеличить выход биомассы, а, следовательно, повысить эффективность производства сорбентов [1-4].

В рамках исследований была предложена многоступенчатая схема обработки биомассы для получения сорбентов (щелочная и кислотная активация), позволившая получить три типа препаратов с различной степенью очистки и сорбционной активностью. Биосорбенты показали сорбционную эффективность до 98,9 % в отношении Zn^{2+} и до 99,9 % по Fe^{3+} в белых виноматериалах. Также подтверждена их пригодность в качестве энтеро- и гемосорбентов, что открывает перспективы использования в медицине для выведения токсикантов из организма [3, 4].

Сравнительный анализ биосорбентов, полученных на основе грибного и крабового хитозана, показал, что в отношении пищевых красителей (E102, E110, E122 и др.) препараты из *R. oryzae* не уступают, а в некоторых случаях превосходят аналоги по степени сорбции, что дает основания использовать их для очистки

и стабилизации пищевых продуктов, а также для выявления фальсифицированных напитков [3, 4].

Кроме экологических применений, сорбенты на основе *R. oryzae* показали перспективность в качестве энтеро- и гемосорбентов. Благодаря биосовместимости, высокой сорбционной емкости и выраженной селективности по отношению к ряду токсикантов, такие препараты могут быть применены в медицине для дезинтоксикационной терапии, стабилизации состояния при отравлениях тяжелыми металлами, а также в качестве средств профилактики интоксикаций у работников вредных производств.

Таким образом, *Rhizopus oryzae* F-814 является биотехнологически ценным микроорганизмом, сочетающим высокую продуктивность биомассы, широкий ферментативный профиль и способность к формированию эффективных сорбентов. Он выступает в роли уникальной платформы для получения природных сорбентов широкого спектра действия, объединяющих преимущества грибного происхождения (безопасность, биоразлагаемость, устойчивость) с высокой сорбционной эффективностью. Создание на его основе энтеро-, гемосорбентов и водоочистных биопрепаратов может стать основой для разработки новых экологически безопасных и экономически эффективных решений в фармацевтике, пищевой промышленности и охране окружающей среды, соответствующих современным требованиям устойчивого развития.

Список литературы

1. Ростовцева П.С., Некрасова Е.И., Няникова Г.Г. Разработка способа приготовления питательной среды на основе риса для культивирования гриба *Rhizopus oryzae*. Неделя науки СПбПУ : мат-лы науч. Конф. с межд. уч., Институт биомедицинских систем и биотехнологий. В 2 частях, Санкт-Петербург, 18-23 ноября 2019 года. Том (часть) 1. – Санкт-Петербург: СПбПУ Петра Великого, 2019. – С. 163-165.
2. Беляева А. Д., Минина А. А., Ростовцева П. С., Няникова Г. Г. Получение хитозана из *Rhizopus oryzae* при культивировании на крахмалсодержащих средах. Пищевые технологии и биотехнологии : мат-лы XVI Всероссийской конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. Казань : Изд. КНИТУ. 2019. Ч. 1. С. 264-268.
3. Няникова Г. Г. и соавт. Сорбционные свойства гриба *Rhizopus oryzae*. Известия СПбГТИ (ТУ). 2015; 29: 61-65.
4. Няникова Г. Г. и соавт. Области применения хитозана. Известия СПбГТИ (ТУ). 2007; 2: 20-26.

БИОХИТОЗАН *RHIZOPUS ORYZAE*: ОТ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ К БИОКОМПЗИТУ

Беляева И. Д.¹, Беляева А. Д.¹, Няникова Г. Г.¹, Сахно Д. Д.¹, Мартинсон К. Д.²

¹Санкт-Петербургский ГТУ (технический университет)

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Хитозан имеет широкое применение в разных областях: в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, текстильной промышленности, в производстве косметических средств. Хитозан является продуктом деацетилирования хитина. Хитин содержится в ракообразных и насекомых, в клетках грибов и диатомовых водорослей. Перспективным источником хитозана являются грибы отдела *Zygomycota*, относящиеся к родам *Mucor*, *Rhizopus* и др. По сравнению с наиболее распространенным источником хитина и хитозана – панцирем ракообразных – грибы имеют ряд технологических преимуществ. Кроме того, на сегодняшний день коммерческое производство хитозана из гидробионтов сталкивается с проблемой ограниченных сезонных поставок и транспортировки сырья [1].

В клеточной стенке гриба *Rhizopus oryzae* содержится хитин-хитозановый комплекс, что позволяет, с учетом высокой скорости роста грибов и более упрощенной в сравнении с хитозаном крабовым схеме выделения, получать большой выход грибного хитозана [2].

С целью получения новых функциональных материалов с лучшими свойствами биополимеры могут быть использованы для модификации поверхности различных частиц. Такими частицами могут быть в частности ферриты-шпинели различного состава, отличающиеся выдающимися магнитными свойствами. Такие свойства грибного хитозана как высокая адсорбционная способность, селективность, биосовместимость, экологичность и экономичность позволяют создавать различные комплексы феррит-биополимер, что увеличивает гидрофильность наноструктур, а также повышает стабильность получаемого комплекса [3].

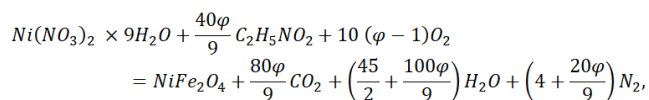
Целью работы был синтез биокомплекса на основе феррита-шпинеля и грибного хитозана для применения в медицине и экологии.

Объектом исследования является гриб *Rhizopus oryzae* (Went et Prinsen-Geerligs 1895), имеющий коллекционный номер промышленной регистрации объекта F-814 (ВКПМ; ATCC 9363, NRRL 395, IMI 40564). Штамм характеризуется способностью продуцировать α-амилазу, глюкоамилазу и L(+)-молочную кислоту. Данный штамм *R. oryzae* отнесен к непатогенным для человека в соответствии с нормативами исследований, приведенными в Санитарных правилах СП 1.3.2322-08. Работа с *R. oryzae* F-814 не требует соблюдения специальных мер безопасности.

Для выделения грибного хитозана к измельченной биомассе гриба добавляли 1 М раствор NaOH в соотношении масса биомассы (г) : объем 1 М раствора NaOH (мл) = 1 : 5 и автоклавировали при избыточном давлении 101 кПа в течение 15 мин. Осадок промывали дистиллированной водой до нейтрального значения pH. Затем центрифугировали при 5000 об/мин в течение 15 мин и сушили при температуре 50°C. Далее его обрабатывали 1 М раствором HCl в соотношении масса биомассы (г) : объем 1 М раствора HCl (мл) = 1 : 5 при постоянном перемешивании в течение 40 мин. Осадок промывали дистиллированной водой до нейтрального значения pH, центрифугировали при 5000 об/мин в течение 15 мин, затем сушили при температуре 50°C.

В результате был получен конечный продукт (грибной хитозан) [4].

Синтез исходного феррита-шпинеля состава $NiFe_2O_4$ проводили в две стадии. На первой стадии синтеза исходный рентгеноаморфный порошок получали в условиях горения раствора с значительным недостатком органического топлива. На второй стадии синтезированные продукты подвергались термической обработке на воздухе при температуре 650 °C в течение 5 ч. Основные массовые порции рассчитывали по реакции образования конечных продуктов [5]:



где $\varphi = 1$ соответствует стехиометрическому соотношению глицина (выбрано $\varphi = 0,2$ – существенный недостаток).

Конечный продукт получали методом последовательного смешения. Для модификации поверхности никелевого феррита хитозаном готовили 2 % раствор грибного хитозана, смешивая 50 мл 5 % (5 мл/ 100 мл дистиллированной воды) раствора уксусной кислоты и 1 г хитозана. Суспензию затем перемешивали в течение 1 ч при 300 об/мин. К приготовленному 2 % раствору хитозана добавляли раствор феррита (2 г $NiFe_2O_4$ / 10 мл дистиллированной воды) и перемешивали в течение 1 ч при 300 об/мин. Этот раствор добавляли к 50 мл 0,5 М раствора NaOH-10 % глутарового альдегида (2 г NaOH/ 10 г глутарового альдегида/ 100 мл дистиллированной воды) и перемешивали в течение 1 часа при 300 об/мин. Полученный биокомпозит оставляли на 12 ч. Затем их фильтровали дистиллированной водой и сушили при 50 °C до постоянной массы.

Первичную оценку физико-химических свойств биокомплекса проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе Vega 3 SBH (Tescan, Чехия) с детектором INCA 200 (Tescan, Великобритания). Были оценены морфологические свойства полученного соединения с помощью сканирующей электронной микроскопии. На микрофотографиях, полученных методом СЭМ (рисунок), видны развитая морфология и пористая структура, что положительно скажется на адсорбционных свойствах полученного композита, будет возможна физическая абсорбция в порах, а не только химические взаимодействия, вызванные реакционноспособными группами (например, аминогруппами хитозана). На представленных изображениях возможно оценить размер частиц феррита, покрытых грибным хитозаном. Синтезированные частицы находятся в диапазоне примерно (5 – 10) нм. Можно также наблюдать большие агломераты размером (100 – 150) нм, состоящие из большого количества частиц размером около 5 нм.

Рисунок 1. Снимки биокомплекса никелевый феррит/грибной хитозан (СЭМ).

Методом последовательных разведений проводили оценку антимикробной активности синтезированного биокомплекса в отношении грамположительных и

грамотрицательных бактерий, а также дрожжей. Было установлено что полученный биокомплекс никелевый феррит/грибной хитозан проявляет антимикробную активность как в отношении грамположительных культур (*Bacillus cereus* – МПК = 1 мг/мл, МБК = 2 мг/мл), так и в отношении грамотрицательных (*Escherichia coli* – МПК = 1 мг/мл, МБК = 2 мг/мл), а также в отношении дрожжей (*Candida tropicalis* – МПК = 2 мг/мл, МБК = 4 мг/мл; *Candida krusei* – МПК = 1 мг/мл, МБК = 2 мг/мл; *Kluyveromyces marxianus* – МПК = 1 мг/мл, МБК = 1 мг/мл; *Torula roseum* – МПК = 0,25 мг/мл, МБК = 0,5 мг/мл; *Saccharomyces cerevisiae* – МПК = 0,5 мг/мл, МБК = 1 мг/мл)

В результате проведенного исследования был синтезирован биокомплексный материал на основе никелевого феррита (NiFe_2O_4) и грибного хитозана, полученного из биомассы штамма *Rhizopus oryzae* F-814. Морфологический анализ методом СЭМ показал, что синтезированный продукт имеет развитую морфологию и пористую структуру, способствующие высокой сорбционной способности. Определено, что биокомплекс проявляет антимикробную активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также дрожжей, что свидетельствует о потенциале материала в качестве антимикробного агента. Использование грибного сырья вместо традиционных гидробионтов открывает возможности для более устойчивого и круглогодичного производства хитозансодержащих материалов, отличающихся стабильностью свойств и характеристик.

НОВОЕ В ИЗУЧЕНИИ СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ

Белова Н.В., Змитрович И.В.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

Многочисленные исследования метаболитов съедобных грибов и характера их биологической активности свидетельствуют о многообразии функций и роли этих организмов в жизни человека, открывая новые возможности их использования в различных областях пищевой промышленности и фарминдустрии [1–3]. Съедобные грибы как нутрицевтики, удовлетворяющие требованиям профилактического и лечебного характера, уже многие годы являются важной составляющей функционального питания [4, 5]. В исследованиях грибов в качестве пищевых и лекарственных продуктов последних двух десятилетий используется практически весь арсенал современных методов экспериментальной биологии. Следует отметить, что внедрение молекулярно-генетических методов, включая выявление процента метилированной ДНК, количественный транскриптомный анализ и редактирование генома CRISPR/Cas9 дает принципиально новые возможности в области генетики, геномной инженерии и биотехнологии грибов [6, 7].

Важным шагом в изучении влияния нутрицевтиков на метаболизм человека является анализ маркеров эпигенетической изменчивости соматических клеток в норме и патологии [8]. Исследование эпигенетических изменений в клеточных линиях и тканях, связанных с модификацией хроматина (метилирование ДНК, ацетилирование/деацетилирование гистонов) и количественными/качественными изменениями пула транскриптов, наиболее активно проводившиеся в экспериментальной онкологии [9], в настоящее время распространяются также на нутрициологические исследования [8, 10]. Наличие точных инструментов измерения уровня межиндивидуальной изменчивости и ожидаемые разме-

Список литературы

1. Феофилова Е. П. Клеточная стенка грибов: современные представления о составе и биологической функции. Микробиология. – 2010. – Т. 79, № 6. – С. 723–733.
2. Няникова Г. Г. и соавт. Сорбционные свойства гриба *Rhizopus oryzae*. Известия СПбГИ (ТУ). – 2015; 29. – С. 61–65.
3. Recent advances on synthesis, characterization and high frequency applications of Ni-Zn ferrite nanoparticles / P. Thakur, S. Taneja, D. Chahar, B. Ravelo, A. Thakur // J. Magn. Magn. Mater. – 2021. – 530. – 167925, DOI: 10.1016/j.jmmm.2021.167925.
4. Беляева А. Д., Минина А. А., Ростовцева П. С., Няникова Г. Г. Получение хитозана из *Rhizopus oryzae* при культивировании на крахмалсодержащих средах. Пищевые технологии и биотехнологии : мат-лы XVI Всероссийской конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. Казань : Изд. КНИТУ. – 2019. – Ч. 1. – С. 264–268.
5. Martinson K. D. et al. Synthesis, Structure, and Antimicrobial Performance of $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0, 0.3, 0.7, 1.0$) Magnetic Powders toward *E. coli*, *B. cereus*, *S. citreus*, and *C. tropicalis*. Water. – 2022. – № 14 (3) – 454, DOI: 10.3390/w14030454.

ры эффекта делают анализ статуса метилирования ДНК метаболически значимых генов наиболее подходящим исследовательским инструментом нутрициологических исследований. Ряд исследований выявил положительное влияние введения *Agaricus bisporus* и *Pleurotus* spp. в повседневной рацион питания, выразившееся в нормализации некоторых физиологических характеристик и повышении уровня двигательной и сенсорной активности испытуемых [4, 11].

Новым направлением использования молекулярных методов является также исследование влияния микроРНК, содержащиеся в свежих продуктах питания на физиологические процессы человека [12]. Более 60% генов, кодирующих белки человека, регулируются микроРНК и 1881 высоконадежных микроРНК закодированы в геноме человека. МикроРНК не только синтезируются эндогенно, но также могут поступать в организм с пищей. Инкапсуляция экзогенной микроРНК в экзосомы и экзосомоподобные частицы обеспечивает ее защиту от разрушения в ЖКТ и включает эти молекулы в кишечный и сосудистый эндотелиальный транспорт путем эндоцитоза – таким путем экзогенная микроРНК может попадать в периферические ткани организма. Количество микроРНК, поглощенных из пищевых продуктов, значимых с точки зрения питания, достаточно для того, чтобы вызывать биологические эффекты. Экзогенные микроРНК изменяют экспрессию эндогенной микроРНК, тем самым усугубляя эффекты взаимодействия питания и микроРНК в регуляции генов. Сложное перекрестное взаимодействие между питанием, микроРНК и их генными мишенями представляет собой перспективную в теоретическом и практическом

отношении проблему. Недавно были разработаны новые конвейеры и базы данных, включая базу данных диетических микроРНК [12]. Очевидно, модифицирующие эффекты оказывает экзогенная микроРНК, поступающая со свежими – не прошедшими термообработку и глубокую переработку – продуктами (орехи, фрукты, молоко) [10] и в этом смысле интересно было бы исследование влияния микроРНК, содержащиеся в сырых грибах на метаболические процессы человека. К настоящему времени микроРНК выделены у таких съедобных и медицинских видов базидиомицетов, как *Antrodia cinnamomea*, *Agaricus bisporus*, *Pleurotus cornucopiae*, *Cordyceps militaris* и др. [13–16].

В целом можно констатировать, что изучение влияния экзогенных микроРНК на модификацию метаболизма организма-реципиента представляет актуальное направление исследований, развитие которого может способствовать лучшему пониманию молекулярных механизмов фитотерапии и обеспечивать как новые профилактические подходы, так и более безопасные методы лечения.

С другой стороны, в настоящее время активно развиваются биоинжиниринговые исследования, направленные на поиск новых подходов к повышению продуктивности используемых в пищевой и фармацевтической промышленности штаммов грибов с помощью некоторых приемов, воздействующих на эпигеном продуцента [17, 18]. В частности, широкие перспективы для биотехнологии грибов открывает метод редактирования генома на основе открытия и модификации систем CRISPR/Cas. Этот метод позволяет регулировать процент выхода целевых биосинтетических продуктов и направленного изменения их свойств [19, 20]. Система CRISPR/Cas9 является более совершенным и надежным биотехнологическим инструментом для нацеливания на индивидуальную последовательность ДНК и РНК в геноме. Ее можно использовать для отбора и замены гена, а также для мониторинга и регулирования экспрессии генов на уровне генома и эпигенома путем связывания определенной последовательности. Использование системы CRISPR/Cas9 успешно применено для редактирования генома съедобных и медицинских грибов, включая *Agaricus bisporus*, *Ganoderma lucidum*, *Flammulina filiformis*, *Ustilago maydis*, *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Coprinosopsis cinerea*, *Schizophyllum commune*, *Cordyceps militaris* и *Shiraia bambusicola* [21, 22].

Все изложенное свидетельствует, что новые подходы и методы генетических исследований открывают широкие возможности изучения съедобных грибов и их роли в питании на основе установления механизмов воздействия на качество и продолжительность жизни и здоровье людей.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану БИН РАН 2024–2028 гг. “Таксономическое, экологическое и структурно-функциональное разнообразие грибов и грибообразных противостов” (№ 124013100829-3).

Список литературы

1. Bell V., Silva C.R.P.G., Guina J., Fernandes T.H. Mushrooms as future generation healthy foods. *Front. Nutr.* 2022. V. 9. P. 1050099. DOI: 10.3389/fnut.2022.1050099
2. Ambhore J.P., Adhao V.S., Rafique S.S., Telgote A.A., Dhoran R.S., Shende B.A. A concise review: edible mushroom and their medicinal significance. *Expl. Foods Foodomics.* 2024. V. 2. P. 183–94. DOI: 10.37349/eff.2024.00033

3. Schrey H., Lambert C., Stadler M. Fungi: Pioneers of chemical creativity – Techniques and strategies to uncover fungal chemistry. *IMA Fungus.* 2025. V. 16. e142462. DOI: 10.3897/imafungus.16.142462
4. Agarwal S., Fulgoni V.L. Nutritional impact of adding a serving of mushrooms to USDA food patterns – a dietary modeling analysis. *Food Nutr. Res.* 2021. V. 65(10). P. 29219 DOI: 10.29219/fnr.v65.5618
5. Antonelli M., Donelli D. Dietary Consumption of edible mushrooms for disease prevention: a literature overview. *Biol. Life Sci. Forum.* 2023. V. 26(19). DOI: 10.3390/foods2023-15049
6. Teichert I. Fungal RNA editing: who, when, and why? Mini-review. *Applied Microbiol. Biotechnol.* 2020. V. 104. P. 5689–5695. DOI: 10.1007/s00253-020-10631-x
7. Entaj T., Nizamani M., Karunarathna S.C. et al. Advancements in genetic studies of mushrooms: a comprehensive review. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2024. V. 40(9). P. 275. DOI: 10.1007/s11274-024-04079-8
8. Cui J., Zhou B., Ross S.A., Zemleni J. Nutrition, microRNAs, and human health 1–42017. American Society for Nutrition. *Adv. Nutr.* 2017. V. 8. P. 105–112. DOI: 10.3945/an.116.013839
9. Corces M.R., Granja J.M., Shams S. et al. The chromatin accessibility landscape of primary human cancers. *Science.* 2018. V. 362. e1898. DOI: 10.1126/science.aav1898
10. Hellbach F., Sinke L., Costeira R. et al. Pooled analysis of epigenome-wide association studies of food consumption in KORA, Twins UK and LLS. *European Journal of Nutrition.* 2023. V. 62. P. 1357–1375. DOI: 10.1007/s00394-022-03074-9
11. Cha S., Bell L., Williams C.M. The relationship between mushroom intake and cognitive performance: An epidemiological study in the European investigation of cancer – Norfolk Cohort (EPIC-Norfolk). *Nutrients.* 2024. V. 16. P. 353. DOI: 10.3390/nu16030353
12. Gutiérrez S.R., Durán N.V. Biogenesis and function of microRNAs from plants, animals and fungi applicable in health and food biotechnology. *Int. J. Mol. Biol.* 2024. V. 7(1). P. 41–47. DOI: 10.15406/ijmboa.2024.07.00166
13. Lin Y.L., Ma L.T., Lee Y.R. et al. MicroRNA-like small RNAs prediction in the development of *Antrodia cinnamomea*. *PLOS ONE.* 2015. V. 10. e0123245. DOI: 10.1371/journal.pone.0123245
14. Li B., Cheng X., Zhang T., Liu L., Nie Z., Sheng Q. The Identification of microRNAs in *Ganoderma lingzhi* sporocarp. *Mycoscience.* 2016. V. 57. P. 271–278. DOI: 10.1016/j.myc.2016.03.004
15. Marin F.R., Dávalos A., Kiltschewskij D. et al. RNA-Seq, bioinformatic identification of potential microRNA-like small RNAs in the edible mushroom *Agaricus bisporus* and experimental approach for their validation. *Int. J. Mol. Sci.* 2022. V. 23. P. 4923. DOI: 10.3390/ijms23094923
16. Qi Y., Huang C., Zhao M. et al. MiR20 negatively regulates the development of fruit bodies in *Pleurotus cornucopiae*. *Front. Microbiol.* 2023. V. 14. P. 1177820. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1177820
17. Bind S., Bind S., Sharma A.K., Chaturvedi P. Epigenetic modification. *Microbiol.* 2022. V. 13. e784109. DOI: 10.3389/fmicb.2022.784109
18. Maini R.V., Casper R.B., van der Luit Y.C. et al. Edible mycelium bioengineered for enhanced nutritional value and sensory appeal using a modular synthetic biology toolkit. *Nature Communications.* 2024. V. 15. P. 2099. DOI: 10.1038/s41467-024-46314-8
19. Xu Y., Li Z. CRISPR-Cas systems: Overview, innovations and applications in human disease research and gene therapy. *Computational and Structural Biotechnology J.* 2020. V. 18. P. 2401–2415. DOI: 10.1016/j.csbj.2020.08.031
20. Zhang Y., Chen S., Yang L., Zhang Q. Application progress of CRISPR/Cas9 genome-editing technology in edible fungi. *Front. Microbiol.* 2023. V. 14. P. 1169884. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1169884
21. Feng C.J., Xin K., Du Y. et al. Unveiling the A-to-I mRNA editing machinery and its regulation and evolution in fungi. *Nature Communications.* 2024. V. 15. e3934. DOI: 10.1038/s41467-024-48336-8
22. Deepali J., Kalia A., Sharma S., Manchanda P. Affiliations expand genome editing tools based improved applications in macrofungi. *Mol. Biol. Rep.* 2024. V. 51(1). P. 873. DOI: 10.1007/s11033-024-09809-7

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА МЕДИ НА СИНТЕЗ ЛАККАЗЫ АФИЛЛОФОРОИДНЫМИ БАЗИДИОМИЦЕТАМИ В ПРОЦЕССЕ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Бодрова А.С.¹, Ананьева Е.П.¹, Гурина С.В.¹, Псурцева Н.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

Лакказа — это фермент, который катализирует окисление фенольных и ароматических соединений с использованием кислорода в качестве акцептора электронов. Она играет важную роль в биодеградации лигнина и других органических веществ в экосистемах. Одними из основных продуцентов лакказы являются базидиомицеты [1]. Интерес к изучению лакказной активности связан с ее потенциалом для применения в биотехнологии, экологической очистке, а также в промышленности для разложения сложных органических соединений. Важным аспектом исследования является влияние различных факторов на активность лакказы. Одним из таких факторов является добавление индукторов, в частности, солей металлов, например, сульфата меди.

Целью данной работы является анализ влияния сульфата меди как индуктора на повышение лакказной активности при глубинном культивировании афиллофороидных базидиомицетов. В качестве объекта исследования был выбран штамм *Physisporinus lineatus* LE-BIN 5342 из Коллекции культур базидиомицетов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. По результатам предварительной экспресс оценки активности оксидоредуктаз этот штамм обладал высокой ферментативной активностью. Также, по литературным данным, для грибов этого рода характерен биосинтез ряда различных биологически активных веществ, например, ланостановых тритерпеноидов, которые используются в качестве препаратов-цитостатиков [2].

Для культивирования использовали глюкозо-пептонную среду следующего состава (г/л): пептон — 3; глюкоза — 10; $MgSO_4$ — 0,5; $CaCl_2$ — 0,05; KH_2PO_4 — 0,6; K_2HPO_4 — 0,4; $ZnSO_4$ — 0,01; $FeSO_4$ — 0,005; с добавлением 0,1 мг/мл $CuSO_4$; pH = 5,6 — 6,0; стерилизовали 30 мин при 1 атм. Проводили культивирование исследуемого штамма в колбах Эрленмейера при постоянном перемешивании и температуре 28°C. Активность лакказы регистрировали спектрофотометрически (λ = 525 нм) по увеличению оптической плотности после добавления в реакционную смесь (0,2 мл культурального фильтрата и 1,7 мл фосфатно-цитратного буфера, pH = 5,0) 0,1 мл 0,018% спиртового раствора синингалдазина. Длительность реакции — 180 секунд. После чего строили график зависимости активности фермента от времени реакции и определяли угловой коэффициент прямого участка кривой [3].

Медь, как и другие металлы, может играть роль кофермента для ряда ферментов, включая лакказу. Исследования показывают, что сульфат меди может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на синтез и активность лакказы, в зависимости от его концентрации. Данная культура при отсутствии соли меди в составе питательной среды образовывала незначительное количество фермента. Пател с соавторами исследовали концентрации добавленной меди в диапазоне от 0,08 мг/мл до 1,5 мг/мл [4]. Низкие концентрации меди могут стимулировать синтез лакказы, усиливая ее активность в условиях культивирования, так как медь служит необходимым элементом для активации фермента. Однако, при слишком высоких концентрациях, медь может ингибировать активность лакказы,

что связано с токсичностью и нарушением клеточных процессов в клетках гриба.

В данном исследовании оценивали активность образующейся лакказы в процессе культивирования штамма *P. lineatus* LE-BIN 5342. Анализ динамики изменения активности фермента показал, что его активность проявлялась, начиная с 5-го дня культивирования, максимальная активность фермента наблюдалась на 9-е сутки культивирования, после чего активность снижалась. Было выявлено, что данная культура характеризуется высоким уровнем лакказной активности, которая составляла 109,23 нкат/мл и была сопоставима с активностью фермента у некоторых ранее исследованных продуцентов [5, 6]. Снижение активности в процессе культивирования может быть связано с накоплением продуктов метаболизма, ингибирующих активность фермента, или с исчерпанием питательных веществ в среде. В процессе культивирования штамма была отмечена обратная корреляция изменения pH среды с ростом активности лакказы: при увеличении активности фермента pH среды снижался, что может свидетельствовать о продукции органических кислот в процессе роста грибов.

Ранее было отмечено, что без добавления сульфата меди в питательную среду, данная культура синтезировала экзополисахарид с существенным выходом. Однако было выявлено, что добавление сульфата меди снижало образование полисахаридов в культуральной жидкости. Известно, что многие грибы продуцируют внеклеточные полисахариды, выполняющие защитные и регуляторные функции, однако высокая концентрация меди может угнетать их синтез, что следует учитывать при разработке биотехнологических процессов.

Для исследованного штамма *Physisporinus lineatus* наблюдался характерный ответ на медь в виде повышения синтеза лакказы при добавлении в среду сульфата меди. Как показали эксперименты со штаммом *Trametes hirsute*, при оптимальных концентрациях меди происходит активация гена, кодирующего лакказу, и увеличение продукции фермента [7].

Таким образом, сульфат меди играет важную роль в повышении лакказной активности при глубинном культивировании штамма афиллофороидного базидиомицета *Physisporinus lineatus*. Понимание механизма воздействия меди на активность лакказы имеет важное значение для оптимизации биотехнологических процессов, связанных с использованием базидиальных грибов в промышленности и экологии. В дальнейшем, требуется оптимизация концентраций меди для максимального увеличения продуктивности лакказы и минимизации токсичных эффектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания БИИ РАН, рег. номер 124013100829-3.

Список литературы

1. Elisashvili V., Penninckx M., Kachlishvili E., et al. Ligninolytic enzyme production and dye decolorization by white-rot basidiomycetes under solid-state cultivation conditions. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2008. Vol. 24, N. 12. P. 2721–2725. DOI: 10.1007/s11274-008-9786-1.

2. Fang-Lu Wei, Hui Liu, Shu-Han Zhang, et. al. Physivitrins I-R, lanostane triterpenoids with anti-inflammatory activities from the fungus *Physisporinus vitreus*. *Phytochemistry*. 2025. Vol. 229. P. 114314. DOI: 10.1016/j.phytochem.2024.114314.
3. Leonowicz, A. and Grzywnowicz, K. Quantitative estimation of laccase forms in some white-rot fungi using syringaldazine as a substrate. *Enzyme and Microbial Technology*. 1981. Vol. 3. P. 55–58.
4. Hardik Patel, Akshaya Gupte, and Shilpa Gupte Effect of different culture conditions and Inducers on production of laccase by a Basidiomycete fungal isolate *Pleurotus ostreatus* Hp-1 under solid state fermentation. *Bioresources*. 2009. Vol. 4, N 1. P. 268–284

5. Satadru P., Sujata C. Laccase Activity and Azo Dye Decolorization Potential of *Podoscypha elegans*. *Mycobiology*. 2018. Vol. 46, N 1. P. 79–83. DOI: 10.1080/12298093.2018.1454006.
6. Kiiskinen L.-L., Ratto M., Kruus K. Screening for novel laccase-producing microbes. *Journal of Applied Microbiology*. 2004. Vol. 97, N 3. P. 640–646.
7. Vasina D. V. et al. The *Trametes hirsuta* 072 laccase multigene family: genes identification and transcriptional analysis under copper ions induction. *Biochimie*. 2015. Vol. 116. P. 154–164.

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ЭКССУДАТИВНЫХ СТРУКТУР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БАКТЕРИАЛЬНЫЙ СПЕКТР СИМБИОНТОВ У КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ВЫСШИХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ *LENTINUS EDODES* (BERC.), *PLEUROTUS OSTREATUS* (JACQ.), *HERICIUM ERINACEUS* (PERS.)

Богдаев А.Г.

Воронежский государственный университет

Изучался функциональный спектр структур, служащих для экссудации вторичных метаболитов, являющихся продуктами жизнедеятельности мицелиальных тканей культивируемых базидиальных ксилотрофов. Поскольку в мицелиальном экссудате помимо вторичных метаболитов различной биохимической природы содержатся бактерии-симбионты, функции экссудативных структур не ограничиваются выделением компонентов жизнедеятельности. Капли экссудата, в частности, привлекают насекомых. Насекомые не только служат дополнительным источником азота после расщепления в экссудативных каналах, но и являются переносчиками микрофлоры как конкурентной, так и из спектра бактерий-симбионтов в отношении конкретного вида грибов, как внутри грибной популяции, так и межпопуляционно. Было установлено, что экссудативные структуры обеспечивают благоприятные условия для размножения

и последующего распространения симбионтной микрофлоры. Некоторая пространственная изоляция экссудативных каналов достаточна для изолированного размножения колоний, что приводит к существованию консорциумов бактерий различного состава внутри экссудативных каналов, функционирующих одновременно на одном агрегате мицелия. Вместе с тем, у *L. edodes* и *P. ostreatus* экссудативные структуры могут иметь сложную ячеистую структуру, позволяющую осуществлять как изолированное размножение бактериальных консорциумов, так и миграцию бактерий из одних каналов в другие, что способствует интенсификации процессов селекции в бактериальном консорциуме. Т.о., экссудативные структуры создают условия как для автономного размножения групп симбионтов, так и для конкурентного взаимодействия между видами и штаммами бактерий в условиях локального расположения экссудативных структур.

СОСТАВ ЛИПИДОВ БИОМАССЫ МИКОФИЛЬНОГО ГРИБА *HYROMYCES ODORATUS* НА СИНТЕТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Буракаева А.Д.

Оренбургский государственный аграрный университет

В клетках микроорганизмов липиды выполняют самые различные биологические функции. Они входят в состав таких ответственных структур, как клеточная мембрана, митохондрии, хлоропласты и другие органеллы выполняют барьерную функцию, участвуют в мембранном транспорте, в реакциях, катализируемых мембранными ферментами, в процессах возбуждения и раздражения, термосенсорных реакциях, в координировании контрольных механизмов [1]. С составом липидов связаны такие свойства организмов, как термотолерантность и термофильность, психрофильность, кислотоустойчивость, вирулентность, устойчивость к ионизирующей радиации и другие признаки [2]. Кроме того, липиды могут выполнять функцию запасных продуктов. По составу липидов грибы отличаются от прокариот и обнаруживают черты сходства с высшими эукариотами [3], [4]. Триацилглицерины являются основными липидами мицелиальных грибов и могут составлять до 80%

суммы всех липидов в зависимости от продуцента, условий роста и стадии развития микроорганизма. Заметны отличия грибов и прокариот при сопоставлении состава их полярных липидов. Полярные липиды грибов состоят из глицерофосфолипидов и гликолипидов. Фосфолипиды грибов представлены пятью основными липидами: фосфатилхолином, фосфатидилэтаноламином, фосфатидилинозитом, кардиолипином, а также фосфатидилсеринном. Из них преобладающими являются фосфатидилхолин и фосфатидилэтаноламин; в зависимости от условий культивирования и фазы роста гриба может преобладать фосфатидилхолин, содержание которого достигает 35–50% суммы остальных фосфолипидов [5]. Стероиды – это группа липидов биологических мембран эукариот, по значимости играющая не менее важную роль в сохранении их функциональности и целостности, чем фосфолипиды и сфинголипиды. Известна роль холестерина и стероидных гормонов в медицине. Для

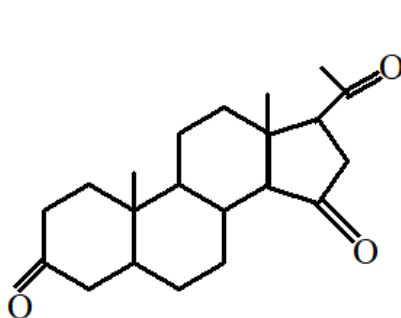


Рисунок 1. Androstane-11,17-dione, 3-(trimethylsilyl)oxy-, 17-O-(phenylmethyl)oxime, (3.alpha.,5.alpha.) M.M. 481.

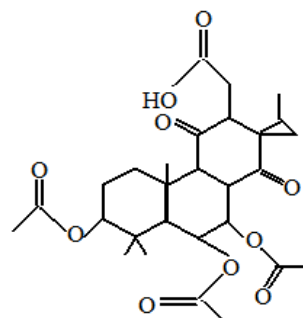


Рисунок 2. 3- beta - sitosterol – trimethylsilyl - ether . М.м. 486.

антибиотиков виридина и вортманина, обладающих сильнейшей фунгистатической активностью, еще в 60-е годы XX века была установлена стероидная структура [7].

Целью исследования явилось изучение образования липидов, в том числе стероидных соединений у микофильного гриба *Hypomyces odoratus* в условиях глубинного культивирования, их выделение, очистка и идентификация. Штамм *Hypomyces odoratus* 94/77 выращивают в колбах Эрленмейера емкостью 750 мл, содержащих 100 мл питательной среды состава (%): сахара – 3; $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – 0,3 MgSO_4 – 0,05; FeSO_4 – 0,001; вода водопроводная – 100 мл, pH = 6,0-6,2 [7]. Культивирование ведут в течение 2,4 и 6 суток при $t=22-24^\circ\text{C}$. По окончании культивирования мицелий гриба отделяют, выход биомассы сухого мицелия составляет 1,8 – 2,0 г/100 мл. Полученную после разрушения гомогенную массу мицелия дробно обрабатывают петролейным эфиром. Содержание липидов петролейно-эфирной фракции составляет 25 % от веса сухой биомассы. На основании качественной реакции на холестерин (реакция Шиффа), максимальное окрашивание в красный цвет, происходило с хлороформным концентратом на основе сахарозы выращенной на четвертые сутки, на треть и шестые интенсивность была незначительна. Можно предположить, что концентрация веществ стероидной природы убывает со временем. Разделение экстракта проводят методом ТСХ на силикагелевых пластинках в системе растворителей для нейтральных липидов: петролейный эфир – диэтиловый эфир – уксусная кислота (80:20:1) [8]. Выявляют пятна, соответствующие Разделение нейтральных липидов показало наличие следующих групп: на питательной среде №1 обнаружено – R_f – 0,05 – 1-0-моноалкиловые эфиры глицерина, R_f = 0,1 – стерины; R_f = 0,3 – высшие алифатические спирты; R_f = 0,4 – жирные кислоты; R_f = 0,6 – триацилглицериды; R_f = 0,93 – углеводороды. Далее проводят препаративную тонкослойную хроматографию экстракта на силикагеле, полученные элюенты анализируют. Согласно данным хромато-масс-спектроскопии примерно идентифицированы следующие соединения стероидной природы (рисунок 1 и 2):

Для анализа полярных липидов использовали следующую систему растворителей хлороформ – изопропанол – 25%-ный раствор аммиака при соотношении 6,5:2,5:0,4 [8] В результате

хроматографирования в данной системе растворителей присутствовали следы изолецитина (R_f = 0,08), изофосфатидилэтаноламина (R_f =0,20), фосфатидилсерина (R_f =0,05), фосфатидилглицерина (R_f = 0,37), фосфатидилэтаноламина (R_f = 0,4), цереброзиды (R_f = 0,45 – 0,51), сульфаты цереброзидов (R_f =0,18 -0,20). На 6 сутки роста состав полярных липидов менялся, наблюдалось уменьшение содержания фосфотидилсерина и увеличение содержания цереброзидов. Для анализа состава фосфолипидов использовали следующую систему растворителей: хлороформ – ацетон – метанол – уксусная кислота – вода, 6:8:2:2:1 [8]. При хроматографировании в данной системе растворителей присутствовали следы кардиолипина (R_f = 0,8),; цереброзиды (R_f = 0,78-0,83), фосфатидилэтаноламин (R_f = 0,65), сфингомиелин (R_f =0,25), фосфатидилглицерин (R_f =0,75), фосфатидилсерин (R_f =0,44).

Таким образом, штамм 94/77 микофильного гриба *Hypomyces odoratus* образует одновременно несколько практически ценных продуктов – нейтральные липиды (в том числе стероиды), полярные липиды и углеводороды. Данное свойство штамма позволяет рассматривать вопрос о разработке биотехнологического способа их получения.

Список литературы

1. Лукнер М. Вторичный метаболизм у микроорганизмов, растений и животных. - М.: Мир, 1979. - С. 548.
2. Конова И.В., Кочкина Г.А., Галанина Л.А. Преобладание цис-9-гексадеценовой кислоты – характерный признак жирно-кислотного профиля зигомикетов из порядка Kickxellales. Микробиология, 2005. - Т.74. - №1. - С. 99-103.
3. Феофилова Е.П. и соавт. О биохимических механизмах адаптации к температуре у (+) и (-) штаммов *Blakeslea trispora*. Микробиология, 2005. - Т.74. - №6. - С. 750 -755.
4. Сергеева Я.Э. и соавт. Биологически активные липиды грибов семейства *Pilobolaceae* Микробиология, 2006. -Т.75. - №1. - С. 22-28.
5. Жеребцов Н.А. и соавт. Биохимия. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2002. - 696 с.
6. Ахрем А.А., Титов Ю.А. Стероиды и микроорганизмы. М: Издательство Наука, 1970. - 528 с.
7. Пискункова Н.Ф. и соавт. Разработка синтетической среды для роста микофильного гриба *Hypomyces rosellus* 94/77 и синтеза им антибиотика и пигмента. Биологические науки, 1988. - № 1. – С.84-88.
8. Кейтс М. Техника липидологии. - М.: Мир, 1975. - С. 159, 160, 187, 296, 322.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ШТАММА 1080 *IRPEX LACTEUS* (FR.) FR. ПРИ КУЛЬГИВИРОВАНИИ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ АПК

Чемерис О.В.
Донецкий государственный университет

Развитию технологий переработки растительных отходов на основе ферментативного гидролиза будут способствовать исследования эффективного способа предварительной обработки лигноцеллюлозного сырья [1], а также поиск новых продуцентов для создания функционирующих в определенных условиях комплексных ферментных препаратов [2] и оценка реакционной способности растительных субстратов [3]. В настоящее время большую часть ферментных препаратов целлюлаз получают с помощью низших грибов *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Humicola* и др. [4]. Однако высшие базидиальные грибы являются перспективными объектами в данном направлении [5].

Синтез низкого количества целлюлозолитических ферментов продуцентами является одной из основных проблем получения целлюлаз. Биосинтез целлюлаз обычно индуцируется в присутствии целлюлозосодержащих субстратов и контролируется механизмами активации и репрессии [6]. Такая регуляция является главным фактором синтеза целлюлозолитических ферментов и темпов роста продуцента. В качестве индукторов синтеза ферментного комплекса целлюлаз могут выступать окисленные продукты гидролиза целлюлозы, а также растительные отходы [6]. В связи с этим исследования особенностей биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса путем использования дешевого лигноцеллюлозного сырья в качестве индуктора, скрининг активных штаммов-продуцентов, оптимизация условий их культивирования являются актуальными.

Целью данной работы была оценка влияния температуры на целлюлозолитическую активность штамма 1080 *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при культивировании на растительных отходах АПК.

Штамм *I. lacteus*1080 хранится в Коллекции культур шляпочных грибов Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины (ИБК) и в коллекции

культур кафедры физиологии растений ФГБОУ ВО «ДонГУ». Штамм *I. lacteus*1080 культивировали на питательной среде Чапека с лигноцеллюлозным субстратом, который вносили в измельченном виде в количестве 2 %. В качестве лигноцеллюлозного субстрата использовали растительные отходы АПК – пшеничную солому и обертки початков кукурузы. Культивирование продуцента проводили в течение 15-ти суток при температурах от 28 до 34 °С с интервалом 2 °С в термостатах ТС-80 и ТС-80-М2 (Россия). Активность ферментов целлюлазного комплекса определяли в культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 1080 на 5, 10 и 15-е сутки культивирования.

Активность целлюлаз продуцента определяли относительно фильтровальной бумаги (Filtrak, плотность 90 г/м²), Na-карбоксиметилцеллюлозы (C5678, Sigma, США), целлюбиозы (Fluka, Германия). Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [7–9]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед.) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1 μmol редуцирующих сахаров на протяжении 1 мин в условиях опыта (t=+40° С). Удельную активность (Ед./мг) определяли отношением общей активности культуральной жидкости (Ед./мл) к содержанию белка в культуральной жидкости (мг/мл). Редуцирующие сахара определяли методом Шомодьи-Нельсона (калибровочный график строили по глюкозе) [7, 8, 10].

Содержание белка в культуральной жидкости определяли по методу Бредфорда.

В таблице приведены данные ферментативной активности целлюлазного комплекса штамма *I. lacteus* 1080 при культивировании на растительных отходах АПК – пшеничной соломе и обертках початков кукурузы при разных температурах.

Таблица 1. Целлюлозолитическая активность штамма *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 1080 при культивировании на растительных отходах АПК

Время культивирования, сутки	Целлюлозолитическая активность, Ед./мг							
	Пшеничная солома				Обертки початков кукурузы			
	28 °С	30 °С	32 °С	34 °С	28 °С	30 °С	32 °С	34 °С
Общая целлюлозолитическая активность								
5	0,04±0,01	0,16±0,04	0,08±0,02	0,06±0,05	0,31±0,06	2,92±0,51	1,33±0,25	2,90±0,42
10	0,01±0,00	0,05±0,02	0,04±0,01	0,05±0,01	0,39±0,07	2,51±0,37	4,33±0,83	0,40±0,11
15	0,29±0,03	0,72±0,07	0,48±0,03	0,32±0,07	6,07±0,45	8,31±0,13	6,85±00,78	4,65±0,55
Эндоглоканазная активность								
5	6,39±1,15	3,77±1,47	5,61±1,25	12,09±1,57	28,75±1,95	69,22±5,61	103,57±6,34	77,18±7,88
10	0,45±0,13	1,57±0,29	0,28±0,06	0,43±0,11	7,13±1,03	53,25±12,69	26,67±1,85	3,61±0,55
15	0,10±0,03	0,37±0,09	1,02±0,15	7,80±1,31	26,75±2,07	71,54±5,95	31,73±4,06	6,31±0,96
Целлюбиазная активность								
5	0,60±0,09	0,16±0,03	0,14±0,02	0,23±0,03	1,19±0,05	1,08±0,03	1,24±0,19	1,27±0,11
10	0,12±0,03	0,22±0,02	0,07±0,01	0,31±0,04	1,28±0,21	1,27±0,20	1,43±0,08	2,10±0,10
15	0,12±0,02	0,12±0,05	0,10±0,02	0,12±0,01	0,43±0,06	0,28±0,03	0,77±0,08	1,15±0,07

При культивировании продуцента на питательной среде с пшеничной соломой и с обертками початков кукурузы высокие значения общей целлюлозолитической активности (относительно фильтровальной бумаги) выявлены на 15-е сутки с максимумом при 30 °С. При этом достаточно высокие значения ферментативной активности культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 1080 наблюдались при 28 °С и 32 °С.

Максимальные значения эндоглюканазной активности (относительно На-карбоксиметилцеллюлозы) культуральной жидкости выявлены на 5-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 1080. При использовании пшеничной соломы в качестве индуктора синтеза целлюлаз максимальные значения отмечены при 34 °С, а при культивировании на отходах кукурузы – при 32 °С.

Высокие значения целлюлазной активности штамма *I. lacteus* 1080 выявлены на 5-е сутки культивирования на пшеничной соломе при 28 °С, а также на 10 сутки при 34 °С. При культивировании продуцента на обертках початков кукурузы высокая целлюлазная активность культуральной жидкости наблюдалась на 5-е и 10-е сутки независимо от температуры. Исключение составил вариант культивирования при 34 °С на 10-е сутки.

Нужно отметить, что при культивировании на обертках початков кукурузы целлюлозолитическая активность штамма *I. lacteus* 1080 была значительно выше, чем при использовании пшеничной соломы.

Таким образом, для получения максимального выхода внеклеточных эндоглюканаз штамм *I. lacteus* 1080 следует культивировать на пшеничной соломе при 34 °С, а целлюлаз – при 28 °С в течение 5 суток; на обертках кукурузы с целью получения эндоглюканаз продуцент необходимо культивировать при 32 °С в течение 5 суток, а целлюлаз – при 34 °С в течение 10 суток.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Биологические способы переработки растительных отходов агропромышленного комплекса» (№ госрегистрации 124012400346-5).

Список литературы

1. Sun S., Sun S., Cao X., et al. The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. *Biores. Technol.* 2016. Vol. 199. P. 49–58.
2. Синицын А. П., Синицына О. А. Биоконверсия возобновляемой растительной биомассы на примере биотоплива второго поколения: сырье, предобработка, ферменты, процессы, экономика. *Успехи биологической химии.* 2021. Т. 61. С. 347–414.
3. Кащеева Е. И., Будаева В. В. Определение реакционной способности к ферментативному гидролизу целлюлозосодержащих субстратов. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* 2018. Т. 84 (10). С. 5–11. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-10-5-11.
4. Синицын А. П., Шашков И. А., Гусаков А. В и др. Биоконверсия возобновляемого растительного сырья в полезные продукты – оптимизация состава целлюлазного ферментного комплекса. *Актуальные вопросы биологической физики и химии.* 2018. Т.3, № 1. С. 219–224.
5. Чемерис О. В. Оценка возможности применения ферментного препарата целлюлаз *Irpex lacteus* для осахаривания растительных отходов. *Современная микология в России.* Т. 10. Материалы международного микологического форума. М.: Национальная академия микологии, 2024. С. 324–326.
6. Lynd L. R., Weimer P. J., Van W. H. Pretorius is microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol.* 2002. Vol. 66. P. 506–577.
7. Синицын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов: уч. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
8. Синицын А. П., Черноглазов В. М., Гусаков А. В. Методы изучения и свойства целлюлозолитических ферментов. *Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология.* 1993. Т. 25. 152 с.
9. Ghose T. K. Measurement of cellulase activity / T. K. Ghose. *Pure Appl. Chem.* 1987. V. 59, N 2. P. 257–268.
10. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars. *J. Biol. Chem.* 1944. V. 153, N 2. P. 375–379.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПО БЛАСТОСПОРАМ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ НОВОГО ДЛЯ РОССИИ ВИДА *AKANTHOMYCES UREDINOPHILUS* (HYPOCREALES, CORDYCIPITACEAE)

Черепанова М.А.¹, Судариков В.Г.², Митина Г.В.¹, Чоглокова А.А.¹

¹ ВНИИ защиты растений, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский ГТИ (технический университет)

При интенсификации сельского хозяйства особенно остро стоит проблема защиты растений от насекомых-вредителей. Паразитируя на растениях, вредители снижают количество и качество урожая, что ведет к значительным экономическим потерям. Поскольку химические методы защиты обладают рядом отрицательных качеств: не проявляют селективность, накапливаются в почве, вызывают резистентность у вредителей, вредны для теплокровных и т.д., большее значение приобретают биологические инсектициды, в том числе на основе энтомопатогенных грибов (ЭПГ).

Среди исследуемых в качестве биопестицидов ЭПГ широко известны грибы рода *Akanthomyces* (= *Lecanicillium*). Виды *A. muscarius*, *A. lecanii* и *A. dipterigenus* уже используются для защиты растений в защищенном грун-

те в мировой практике. Однако для поиска наиболее эффективных изолятов нужно продолжать поиски среди малоизученных видов, благодар этому список биопрепаратов постоянно расширяется (Государственный каталог ..., 2024; <https://здороваяпочва.рф/product-category/biopreparaty/bioinsekticidy/>).

Одним из перспективных представителей рода являются грибы вида *A. uredinophilus*, впервые выделенные в Корею в 2016 г (Park et.al., 2016), а недавно обнаруженные и на территории России, в республике Адыгея. Для последних изолятов было установлено, что они обладают высокой вирулентностью в отношении личинок персиковой тли *Myzus persicae*. Смертность личинок при титре спор 1×10^7 конидий/мл через 7 сут составляла 100% (Черепанова и др., 2025).

Цель данного исследования – определить продуктивность по бластоспорам новых природных изолятов вида *A. uredinophilus* на двух стандартных для ЭПГ средах: ДПГ (YPG) и полной с пептоном (ПП), а также на искусственной питательной среде, включающей 2% глюкозы, 0,5% инактивированных дрожжей, 0,1% KH_2PO_4 , 0,05% MgSO_4 , 0,2% NaNO_3 и 0,05% KCl .

Для выращивания было отобрано 5 природных изолятов вида *A. uredinophilus*, также обнаруженных в различных регионах России: SNP 40, Б1, Б2, Б4 и Ак6. По предварительным данным они обладают высокой вирулентностью в отношении *M. persicae*.

В результате культивирования выявлено, что все изоляты способны расти на жидких питательных средах, однако изоляты Б1 и Б2 образовывали глобулы на всех изученных средах. Также изолят SNP40 образовал глобулы на промышленной питательной среде. Морфология глубинной культуры остальных изолятов была схожа.

При определении продуктивности изолятов по бластоспорам выявлено, что изоляты Б4, Ак6 и SNP40 значительно хуже растут на промышленной среде в сравнении с средами ПП и ДПГ. Изоляты Б1 и Б2 образовывали глобулы, а титр спор у них был на два порядка ниже, чем у оставшихся трех изолятов. На средах ПП и ДПГ споропродуктивность изолятов оказалась близка, а статистически значимые различия на этих средах выявлены только для изолятов Б2 и Ак6. Самый высокий титр спор наблюдался у изолята SNP40.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РОСТ МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ *LAETIPORUS SULPHUREUS* И *PLEUROTUS OSTREATUS*

Чжэн Л., Пучкова Т.А.

Белорусский государственный университет, Минск

Грибы не являются фототрофными организмами. Для роста их мицелия в толще субстрата освещение не требуется. Свет различной природы и длины волны может влиять на морфогенез, обменные процессы и продуктивность некоторых грибов. Для развития плодовых тел шляпочных грибов – базидиомицетов требуется чередование циклов света и темноты. Изучаются гены, ответственные за образование чувствительных к свету белков. Поглощение света белками-фоторецепторами стимулирует образование плодовых тел [1, 2]. При искусственном культивировании *P. ostreatus* (вешенки) во время плодоношения проводят периодическое освещение культивационного помещения лампами дневного света, без которого могут образовываться плодовые тела неправильной формы. Считается, что на инициацию и созревание плодовых тел существенно влияют длины волн около 400 нм, находящиеся в диапазоне синего света [3].

Изучение влияния облучения ультрафиолетовым светом на гриб *P. ostreatus* проводится с различными целями. УФ-облучение с длиной волны 254 нм спор и мицелия приводит к изменениям в структуре ДНК и является одним из методов получения мутантных штаммов. Плодовые тела вешенок, как и некоторых других съедобных грибов, содержат предшественник витамина D2 эргостерол, который под действием УФ-излучения может превращаться в эргокальциферол (витамин D2). Поэтому проводят изучение влияния УФ-облучения на содержание витамина D2 в плодовых телах. С помощью УФ-облучения возможно проводить кратковременную обработку собранных плодовых тел

Из приведенных данных можно сделать предварительный вывод, что наиболее перспективным штаммом для культивирования и коммерческого использования является штамм SNP 40, хотя Ак 6 и Б4 так же достойны внимания. Очевидно, для штаммов Б1 и Б2 необходимо подобрать другие условия культивирования.

Список литературы

1. Государственный каталог Пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Минсельхоз России. 2024. Москва.
2. Союз органического земледелия. Биоинсектициды. URL: <https://здороваяпочва.рф/product-category/biopreparaty/bioinsekticidy/> (дата обращения 03.04.2025)
3. Park M.J., Hong S.B., Shin H.D. *Lecanicillium uredinophilum* sp. nov. associated with rust fungi from Korea. *Mycotaxon*. 2016. V. 130. P. 997-1005. doi: 10.5248/130.997.
4. Черепанова М.А., Митина Г.В., Чоголокова А.А. и др. Первые в России находки энтомопатогенного гриба *Akanthomyces uredinophilus* (Hypocreales, Cordycipitaceae) из республики Адыгея. *МиФ*. 2025. №1. С. 74-87.

от контаминации посторонними микроорганизмами для увеличения срока их хранения [4, 5].

Гриб *Laetiporus sulphureus* (трутовик серно-желтый), как и *P. ostreatus*, является дереворазрушающим грибом. Он привлекает внимание исследователей, так как в плодовых телах и мицелии содержит желто-оранжевый каротиноидный пигмент лаетиפורовую кислоту, а также другие биологически активные вещества.

Целью данной работы являлось изучение влияния длительности облучения бактерицидным УФ-светом на рост мицелия грибов *L. sulphureus* и *P. ostreatus*.

В работе использовали штаммы грибов, выделенные в чистую культуру из плодовых тел. Кусочки мицелия грибов засевали на чашки Петри, содержащие глюкозо-пептонную агаризованную среду. Чашки инкубировали при температуре 28 °С в течение нескольких суток до начала заметного роста мицелия и достижения колониями 15-20 мм в диаметре. После этого, чтобы облучить мицелий, открытые чашки Петри помещали под настольную бактерицидную лампу ($\lambda=260$ нм) на расстоянии 40 см. Облучение чашек проводили однократно длительностью от 1 до 30 минут. По истечении времени облучения чашки Петри накрывали крышками и помещали в термостат при температуре 28°С. Контролем служили необлученные чашки. Культивирование грибов продолжали до достижения их колониями края чашки. Измерение радиуса колоний грибов проводили в трех направлениях каждые двое суток. По средним значениям радиуса колоний строили графики и рассчитывали среднюю скорость радиального роста (Кр, мм/сут.). При дорастании колонии до края чашки определяли ее радиус, высоту и плотность воздушного мицелия, и определяли ростовой

коэффициент. Для сравнения влияния бактерицидного облучения в чашки Петри на поверхность полноценной агаризованной среды засеивали 0,1 мл ночной культуры бактерий *Escherichia coli* и проводили их облучение в открытых чашках Петри. Рост бактерий оценивали через 7 суток культивирования.

УФ-облучение повлияло и на среднюю скорость радиального роста и на ростовой коэффициент обоих грибов. Полной гибели мицелия после 30 минут облучения не наблюдалось. Результаты влияния УФ-облучения на показатели роста колоний грибов на агаризованных питательных средах представлены на рисунках 1 и 2.

В большей степени облучение повлияло на рост мицелия *P. ostreatus*. Облучение его мицелия в течение 3 минут приводило к снижению Кг в 2 раза, а РК – в 3 раза. Облучение в течение 10-30 минут снижало Кг в 3-3,6 раз, а РК – в 5-6 раз. При облучении от 10 до 30 минут показатели роста *P. ostreatus* медленно снижались, но рост полностью не останавливался. Вероятно, это можно объяснить тем, что у гриба плотные колонии. В их глубине оставались жизнеспособные клетки и из них рост при дальнейшем культивировании продолжался.

На рост мицелия *L. sulphureus* УФ-облучение повлияло в меньшей степени. Облучение мицелия в течение 3 минут приводило к снижению Кг в 1,3 раза. Значение РК медленно снижалось после 10 минут облучения. Облучение в течение 20-30 минут снижало Кг и РК в 1,4-1,7 раз.

В опыте с облучением чашек Петри, засеянных бактериями *E. coli*, показано, что облучение в течение 3-5 минут оказывало бактерицидное действие на клетки этих бактерий.

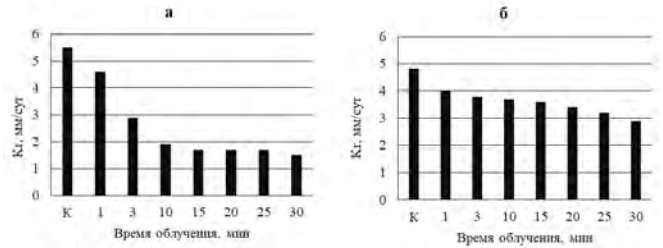


Рисунок 1. Влияние УФ-облучения на среднюю скорость радиального роста мицелия грибов *P. ostreatus* и *L. sulphureus*.

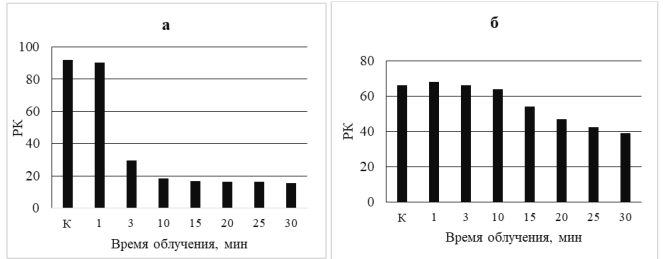


Рисунок 2. Влияние УФ-облучения на ростовой коэффициент мицелия грибов *P. ostreatus* и *L. sulphureus*.

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРЕПАРАТА ТРАМЕТИН ПЛЮС НА ОСНОВЕ ГРИБА КСИЛОТРОФА *TRAMETES PUBESCENS* (SHUMACH.:FR.)PILAT.

Чхенкели В.А.¹, Чхенкели Г.Д.¹, Вокина В.А.²

¹ Биотехвет, Иркутск

² Восточно–Сибирский институт медико–экологических исследований, Ангарск

Одной из сложных проблем, стоящих перед ветеринарной наукой и практикой, являются ассоциированные респираторные и желудочно-кишечные болезни молодняка крупного рогатого скота

[1,2]. Совершенствование системы мер по снижению заболеваемости включает в себя и использование новых лечебно-профилактических препаратов. В качестве такого препарата нами предлагается препарат Траметин

Плюс (патент RU № 2 819 785), разработанный на основе модифицированной биологически активной субстанции, получаемой при жидкофазной ферментации гриба-ксилотрофа *Trametes pubescens* (Shumach.:Fr.) Pilat. штамм 0663[3]. Разработка новых лекарственных средств требует более тщательного медико-биологического обоснования безопасности их применения по критериям общетоксического действия, отдаленных и специфических последствий [4-6]. Цель исследований заключалась в изучении репродуктивной токсичности, генотоксичности ветеринарного препарата Траметин Плюс.

Репротоксическое действие препарата изучали при внутрижелудочном введении в терапевтической дозе (1,5 мл/кг) самцам и самкам белых крыс. Было сформировано 5 групп. Исследование генотоксических свойств препарата проводили на белых крысах самцах [7]. Препарат вводили внутрижелудочно металлическим зондом в профилактической (0,75 мл/кг) и терапевтической (1,5 мл/кг) дозах в течение 28 дней. Статистический анализ результатов исследования проводился с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1. (StatSoft) (лицензия № AXXR004E642326FA).

Показано, что введение препарата в терапевтической дозе (1,5 мл/кг) внутрижелудочно самцам и самкам белых крыс не влияет на основные интегральные показатели животных. В период беременности динамика массы тела также не имела отличий от контрольных животных. Масса тела самцов, получавших препарат в терапевтической дозе в течение 14-ти дней перед спариванием, в период спаривания, далее еще 20 дней не имела значимых отличий с контрольной группой. Эффективность спаривания крыс во всех группах составила 100%. Фертильность животных, получавших препарат, соответствовала оптимальному уровню.

Все крысята родились живыми, средняя масса тела была сопоставимой у потомства самок всех групп как на 4-й, так и на 7-й день после рождения. Достоверных отличий по массе тела потомства выявлено не было. На 20 -й день жизни проведено тестирование крысят из полученного потомства в тесте «открытое поле». По показателям тревожности, двигательной и исследовательской активности потомство, полученное от самок и самцов, получавших ветеринарный препарат, не отличалось от особей контрольной группы.

Изучение генотоксических свойств осуществляли методом щелочного гель-электрофореза изолированных клеток (метод ДНК-комет) при хроническом внутрижелудочном введении препарата в профилактической и терапевтической дозах. Регистрировали уровень фрагментации ДНК в лейкоцитах крови крыс через 24 ч после последнего введения препарата.

Результаты изучения поврежденности ДНК клеток крови крыс представлены в таблице 1. При определении уровня фрагментации ДНК по процентному содержанию ДНК в «хвосте кометы» в лейкоцитах у белых крыс самцов, получавших препарат в течение 30-ти дней в профилактической и терапевтической дозах, не выявило статистически значимых различий по сравнению с контрольной группой ($p=0,47$ и $p=0,38$, соответственно, табл. 2).

Поврежденность ДНК клеток крови у особей группы позитивного контроля в данном эксперименте составила 28,3(19,6-39,8)%. Большая выраженность поврежденности ДНК в группе позитивного контроля свидетельствовала об объективности эксперимента.

Таблица 1. Показатели повреждения ДНК в клетках крови белых крыс при хроническом внутрижелудочном введении опытного ветеринарного препарата, Me(Q25;Q75).

Показатель	Группы животных		
	Контроль (n=6)	Профилактическая доза (n=6)	Терапевтическая доза (n=6)
%ДНК в «хвосте кометы»	3,70(2,95;3,95)	4,64(3,10;5,34)	4,00(3,17;4,25)

Таблица 2. Распределение клеток крови крыс по степени повреждения ДНК, Me (Q25;Q75).

%ДНК в «хвосте кометы»	Количество клеток с разной степенью поврежденности ДНК, %		
	Группа животных		
	Контроль (n=6)	Профилактическая доза (n=6)	Терапевтическая доза (n=6)
0-1	6(2;8)	10(6;18)	1,5(0;5)
1,1-10	88(85;95)	78(69;84)	90,5(85;95)
10,1-30	5(2;6)	7,5(6;10)	5(2;11)
>30	0,5(0;2)	2(0;3)	1(0;3)

Распределение клеток по степени поврежденности ДНК представлено в таблице 2. В образцах крови опытных групп животных наблюдалось сходное с контрольной группой распределение клеток с разной степенью повреждений ДНК. Клетки со значительными повреждениями (от 10 до 30% поврежденной ДНК) обнаружены в исследуемых группах в количестве от 5% до 7,5%. Количество апоптоз-положительных клеток во всех исследуемых группах животных количество не превышало 2%.

Проведенные нами исследования по изучению токсичности препарата Траметин Плюс показали, что по параметру среднесмертельной дозы (DL_{50}) испытуемый препарат при остром внутрижелудочном пути поступления характеризуется как вещество, имеющее низкую опасность острой токсичности, и относится к V классу опасности ($DL_{50}>2000$ мг/кг). Величины среднесмертельных доз (DL_{50}) свидетельствуют об отсутствии различий половой чувствительности животных. При изучении кумулятивных свойств в тесте субхронической токсичности случаев гибели животных и признаков интоксикации у крыс отмечено не было, что позволяет отнести исследуемый ветеринарный препарат к группе веществ, не обладающих кумулятивными свойствами. При оценке сенсибилизирующих свойств показано, что изучаемый опытный ветеринарный препарат при внутрикожной сенсибилизации морских свинок обладает слабо выраженными аллергенными свойствами.

Влияние ветеринарного препарата Траметин Плюс на репродуктивную функцию изучалось при пероральном введении белым крысам обоего пола в терапевтической дозе (1,5 мг/кг) в течение 14 дней до спаривания, в период спаривания, в период беременности и в течение 4 дней после родов. Негативного влияния на репродуктивную систему самцов и самок крыс не выявлено.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развития малых форм предприятий в научно – технической сфере» договор №4893 ГС1/86520 от 16 февраля 2023 г.

Список литературы

1. Чхенкели В.А. Комплексная диагностика и профилактика ассоциированных желудочно-кишечных и респираторных болезней телят в современных социально-экономических условиях Иркутской области. 2023. Иркутск: Издательство ИГУ.121с.

2. Чхенкели В.А., Чхенкели Г.Д., Вокина В.А. Токсикологическая оценка ветеринарного препарата Траметин Плюс. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024 .54(12):109 -118. Doi: 10/26298/0370-8799 -2024-12-12.

3. Патент РФ № 2 819 785. Чхенкели В.А., Чхенкели Г.Д., Чхенкели Д.Г. Препарат для профилактики ассоциированных желудочно-кишечных и респираторных болезней телят и способ его применения. Патентообладатель: ООО «Биотехвет». Опу-бл.: 24.05.2024. Бюл. № 15.

4. Арисова Г.Б. 2021. Токсикологическая характеристика ветеринарного противопаразитарного препарата пролонгиро-ванного действия в форме раствор при приеме внутрь. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2021. 22:С.67 -73.

5. Индюхова Е.Н., Арисов М.В., Арисова Г.Б., Степанова И.А. Токсикологическая оценка ветеринарного комплексного ин-сектоакарицидного препарата «Неотерика Протекто 12». Россий-ский паразитологический журнал. 2018.12(3): С.60 -66.

6. Marty M. S., Allen B., Chapin R. E., Cooper R., Daston D.P. Reproductive Toxicology .2009.86: С.470-489.

7. Дурнев А.Д. Фармакология мутагенеза. Эксперимен-тальная и клиническая фармакология. 2021.84(2):С.8-14.

НАНООКСИД Fe₃O₄ БИОСТИМУЛЯТОР СИНТЕЗА ЛИПАЗ
ШТАММОМ ГРИБА *FUSARIUM NIVALE* FD 13L

Чилочи А.А.¹, Лаблюк С.В.¹, Дворнина Е.Г.¹, Клапко С.Ф.²
¹Институт Микробиологии и Биотехнологии Политехнического Университета, Кишинев
²Молдавский Государственный Университет, Кишинев

Липазы (триацилглицерин гидролазы, К.Ф. 3.1.1.3) — это группа ферментов, способных осуществлять ги-дролиз ацилглицеринов до глицерина и свободных жир-ных кислот. Они катализируют разнообразные реакции, включая гидролиз, перэстерификацию и интерестери-фикацию других эфиров, а также синтез эфиров. Ли-политические ферменты, особенно микробные липазы, играют ключевую роль в различных промышленных процессах. Эти ферменты нашли широкое применение в таких отраслях, как медицина, биотехнология, произ-водство моющих средств, пищевая промышленность, а также для гидролиза жиров и масел. Также сохраняется значительный интерес к исследованию новых микроб-ных липаз для производства биодизеля, синтеза эфи-ров и биополимеров, разлагаемых в природе. Благодаря способности действовать при экстремальных темпера-турах, рН стабильности в органических растворителях, селективности действия, липазы, полученные с исполь-зование мицелиальных грибов в качестве продуцентов, имеют более широкий спектр использования (1-3). В данном контексте, выявление новых штаммов грибов, продуцирующих липазы с уникальными, остается акту-альной задачей. Целью представленных исследований было проведение скрининга грибов-продуцентов липаз и оптимизация условий их культивирования. Культиви-рование 11 штаммов мицелиальных грибов из различ-ных родов (*Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*), известных как высокоактивные продуценты различных гидролаз, проводилось глубинным методом. Споровая суспен-зия каждого штамма инокулировалась в питательную среду и инкубировалась при температуре 30°C с пере-мешиванием со скоростью 200 об/мин в течение 144 часов. Продуктивность липаз измеряли на 4, 5 и 6 день культивирования (Таб. 1). В результате скрининга в качестве перспективного продуцента был выбран штамм *Fusarium nivale*. Этот штамм проявил высокую липоли-тическую активность (2837,5 ± 71,08; 3592 ± 102,40 ед/мл), при этом максимальный биосинтез липазы был до-стигнут на 5 сутки культивирования.

Исходя из положительного эффекта, полученного ранее на активность гидролаз при использовании нано-частиц металлов (4), на следующем этапе исследования было изучено влияние разных концентраций нанooksи-да железа на липолитическую активность штамма (Таб. 2)

Максимальный стимулирующий эффект был до-стигнут при концентрации наночастиц железа Fe₃O₄ в 10 мг/л, при этом ферментативная активность на чет-вертый день культивирования составила 3812,5 ед/мл — что сопоставимо с 3592,0 ед/мл в контрольном ва-рианте на пятый день и на 37% выше, чем у контроля в тот же день. Разница в ферментативной активности,

полученной при применении биостимулятора, сохраня-ется даже на уровне ферментных препаратов. Образцы липолитических препаратов, полученных при культи-вировании штамма *Fusarium nivale* в присутствии нано-оксида Fe₃O₄ в оптимизированных условиях, характери-зуются более высокой ферментативной активностью по сравнению с контролем, составляя 354000 ед/г по срав-нению с 258330 ед/г в контроле. Отметим, что цикл куль-тивирования был сокращен на 24 часа, что представляет собой значительные экономические преимущества.

Таблица 1. Липолитическая активности тестированных штаммов мицелиальных грибов.

Штаммы микробиот	Липолитическая активности, ед/мл		
	4-ые сутки	5-ые сутки	6-ые сутки
Продолжительность культивирования (сутки)			
<i>Fusarium moniliforme</i>	1012,5±7,21	1258,0±8,33	1158,0±18,16
<i>Fusarium oxysporum</i>	1200,0±38,19	1204,0±39,74	1012,5±7,22
<i>Fusarium gramineatum</i>	1208,0±8,33	817,0±22,05	492,0±22,05
<i>Fusarium nivale</i>	2837,5±71,08	3592,0±102,40	3125,0±14,49
<i>Fusarium solani</i>	1604,0±164,57	1096,0±18,16	1146,0±44,10
<i>Aspergillus terreus</i>	442,0±48,04	433,0±30,05	375,0±7,22
<i>Aspergillus niger</i> 412	1770,0±11,02	3118,7±6,3	962,5±43,90
<i>Aspergillus flavus</i>	808,0±11,02	762,5±26,02	695,0±15,02
<i>Aspergillus fumigatus</i>	700,0±19,09	675,0±14,43	475,0±14,43
<i>Penicillium jantanelium</i>	875,0±14,43	783,0±22,05	637,5±7,22
<i>Penicillium corylofilum</i>	825,0±14,43	746,0±11,02	600,01054±7,22

Таблица 2. Липолитическая активности штамма мицелиаль-ных грибов *Fusarium nivale* при культивировании в присутствии нано-оксида Fe₃O₄ (50-100 нм).

Концентрация нано-оксида Fe ₃ O ₄ , мг/л	Энзиматическая активность, ед/мл		
	4-ые сутки	5-ые сутки	6-ые сутки
Продолжительность культивирования (сутки)			
1,0	2179,0±21,6	2125,0±32,5	2120,0±26,2
5,0	2929,0±52,4	2929,0±41,3	2008,0±33,7
10,0	3812,5±43,1	3475,0±48,2	2983,0±51,1
15,0	2316,0±52,3	2245±34,8	2200,0±35,2
Контроль	2837,5±71,1	3592,0±102,4	3158,0±14,5

Исследования проводились в рамках исследователь-ской программы 020101 «Инновационные биотехнологи-ческие решения для сельского хозяйства, медицины и ох-раны окружающей среды» (Министерство Образования и Исследований Республики Молдова).

Список

1. Kumar A., Gudiukaite R., Gricajeva A., Sadauskas M., Malunavicius V., Kamyab H. et al., Microbial lipolytic enzymes – promising energy-efficient biocatalysts in bioremediation, *Energy*, Volume 192, 2020, 116674.
2. Kumar A., Verma V., Dubey V., Srivastava A., Garg S., Singh V. et al. Industrial applications of fungal lipases: a review. *Front Microbiol.* 2023 Apr 28;14:1142536. doi: 10.3389/fmicb.2023
3. Mendes D., Silva F., Guarda P., Almeida A., de Oliveira D., Morais P. et al. Lipolytic Enzymes with Hydrolytic and Esterification Activities Produced by Filamentous Fungi Isolated from Decomposition Leaves in an Aquatic Environment. *Enzyme Res.* 2019.

4. ЧИЛОУЧИ, Александра, ТЮРИНА, Жанета, БИВОЛ, Чезара, СЛАРСО, Steliana, ДВОРНИНА, Елена, ЛАБЛЮК, Светлана. Новые биотехнологии культивирования микроскопических грибов – продуцентов внеклеточных гидролаз с использованием наноматериалов. In: Современная микология в России, 14-15 aprilie 2020, Moscova. Национальная Академия Микологии, 2021, Ediția 6, Vol. 8, pp. 399-401. 10.14427/cmr.2020.viii.12; 10.14427/cmr.2020.viii.13 DOI: <https://doi.org/10.14427/cmr.2020.viii.12>; 10.14427/cmr.2020.viii.13

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАСТИНАХ К ИЗМЕНЕНИЮ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ ВЫСШИХ ГРИБОВ

Дацук Е.Р., Смирнова А.В., Шамсутдинова Е.С., Смирнов А.В.
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва;

В настоящее время актуальной областью исследований является разработка различных датчиков и сенсорных систем. Датчики влажности воздуха востребованы и используются как в быту для контроля воздуха в жилых помещениях, так и для мониторинга влажности воздуха на технологических производствах электроники и лекарственных средств, в сельскохозяйственной деятельности, строительстве, и т.д. [1].

Акустоэлектронные датчики обладают рядом преимуществ, таких как высокая чувствительность, быстродействие, стабильность и небольшие размеры [2]. Важным фактором, влияющим на точность и надежность устройства, является используемое сенсорное покрытие. В недавних исследованиях [3] было показано, что покрытие на основе фугата мицелия высших грибов обладает высокой адсорбционной способностью, долговечностью, является экологичным, простым в производстве и нанесении.

Обратные акустические волны в пластинах обладают аномальной дисперсией и имеют высокую степень локализации энергии в области возбуждения. Благодаря таким необычным свойствам, предполагается, что создание датчиков на обратных волнах позволит увеличить чувствительность и уменьшить размеры устройства [4]. На данный момент чувствительность обратных волн к внешним воздействиям малоизучена и вызывает высокий интерес.

Цель данного исследования – сравнить чувствительность прямой и обратной акустических мод в пластине YX ниобата лития к изменению влажности воздуха, используя в качестве сенсорного покрытия фугат мицелия высших грибов.

В работе был создан экспериментальный образец сенсорного устройства, состоящий из акустического резонатора на волнах в пластинах и чувствительного покрытия. В качестве волновода использовалась пластина YX ниобата лития (Y – срез, X – направление распространения) толщиной 350 мкм. Нанесение электродных структур производилось методами магнетронного напыления и проекционной фотолитографии, длина волны резонатора составила 1.4 мм. В качестве чувствительного покрытия использовался фугат мицелия базидиального гриба *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., методика создания которого описана в работе [3]. Покрытие было нанесено на свободную поверхность пластины с тыльной стороны. Для создания потока воздуха различной влажности, в установке производилось смешивание сухого воздуха из генератора чистого воздуха и влажного воздуха из

барботера. После чего поток паров попадал в газовую камеру, прикрепленную к сенсорному устройству. Влажность воздуха, поступающего из барботера, была проверена датчиком влажности и составляла порядка 90%.

Напуск пробы в газовую камеру производился в течение 15 минут, после чего с помощью векторного анализатора цепей измерялась АЧХ параметра S_{11} для прямой SH_1 и обратной A_1 акустических волн в пластине.

Были проведены измерения с использованием чувствительных покрытий различной толщины. Толщина пленок была измерена с помощью лазерного конфокального микроскопа Olympus Lext и составила в среднем около 2, 4 и 6 мкм соответственно. Зависимость параметра S_{11} прямой волны от объемного содержания паров воды в потоке воздуха при использовании каждого из покрытий показана на рис. 1.

Из полученных графиков был сделан вывод, что наиболее чувствительным является покрытие с толщиной 4 мкм. При использовании более толстого покрытия, влагу абсорбирует только верхний слой пленки, а нижний слой, находящийся в контакте с пластиной не взаимодействует с паром напрямую. Таким образом, для изменения свойств такого покрытия требуется больше времени и большее количество паров воды. При использовании более тонкого покрытия, количество фугата на поверхности пластины мало, в следствии чего изменение свойств такого покрытия оказывает меньшее влияние на свойства волны.

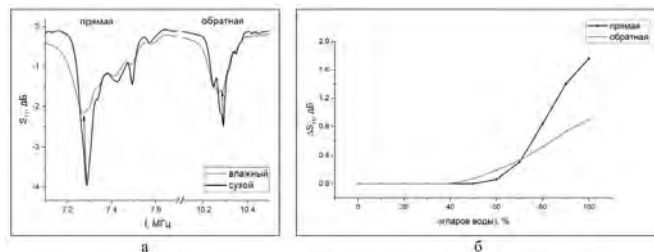


Рисунок 1. Зависимость изменения параметра S_{11} прямой волны от содержания паров воды в общем воздушном потоке при использовании пленок различной толщины: 2, 4, 6 мкм.

Далее, с использованием оптимального покрытия толщиной 4 мкм, было проведено сравнение чувствительности прямой и обратной мод к влажному воздуху. Результаты представлены на рис. 2.

Обе волны чувствительны к содержанию паров воды в воздухе более 50%. При этом в диапазоне от 50 до 70% наиболее сильно изменяются амплитудные параметры обратной волны. При воздействии воздуха

с содержанием паров воды в общем потоке более 70%, прямая волна является более чувствительной. Это может быть объяснено тем, что прямая волна изначально возбуждается в пластине более эффективно и имеет более глубокий пик (рис. 2 а), в следствие чего имеет больший диапазон возможных значений параметра S_{11} .

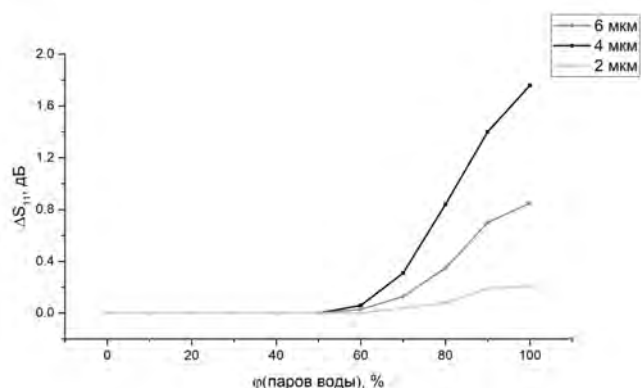


Рисунок 2. а – АЧХ параметра S_{11} резонатора при воздействии сухого воздуха и воздуха с влажностью 90%. б – зависимость изменения параметра S_{11} прямой и обратной волн от содержания паров воды в общем воздушном потоке.

Таким образом, в работе был создан экспериментальный образец датчика влажности на основе акустического резонатора на волнах в пластинах с использованием сенсорного покрытия фугата мицелия

базидиального гриба *Ganoderma lucidum*. Определена оптимальная толщина пленки, равная 4 мкм, при которой амплитудный отклик акустических волн на изменение влажности воздушного потока является наибольшим. Проведено сравнение чувствительности прямой и обратной мод в пластине YX ниобата лития к изменению влажности воздуха. Показано, что при содержании в общем потоке более 70% паров воды наибольший отклик дает прямая волна, что может быть объяснено ее более эффективным возбуждением в пластине. При содержании паров воды в общем потоке от 50 до 70 %, более чувствительной является обратная волна.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №23-79-10079).

Список литературы

1. Arman Kuzubasoglu B. Recent studies on the humidity sensor: A mini review. *ACS Applied Electronic Materials*. 2022, 4(10), 4797-4807.
2. Kuznetsova I., Anisimkin V., Gubin S. Super high sensitive plate acoustic wave humidity sensor based on graphene oxide film. *Ultrasonics*. 2017, 81, 135-139.
3. Smirnov A., Anisimkin V., Krasnopolskaya L. et al. Features of the formation of sensitive films based on mycelium of higher fungi for surface and plate acoustic waves gas sensors. *Sensors*. 2023, 23(4), 2216
4. Smirnov, A., Zaitsev, B., Nedospasov, I., Nazarov, G., Kuznetsova, I. Backward Acoustic Waves in Piezoelectric Plates: Possible Application as Base for Liquid Sensors. *Sensors*. 2023, 23(2), 648.

ОЦЕНКА МЕТАНОЛА КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СУБСТРАТА ДЛЯ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ (*AGARICUS BISPORUS* И *PLEOROTUS OSTREATUS*) С ПОМОЩЬЮ БИОСЕНСОРНОГО МЕТОДА

Емельянова Е.В.

ИБФМ им. Г.К. Скрыбина, ФИЦ Пушинский НЦ биологических исследований РАН, Пушино

Пектин клеточных стенок растений – основной источник метанола в древесине. Поэтому в разложении древесных остатков принимают участие ферменты деградации метанола: алкоголь оксидаза, метанол оксидаза. Алкоголь оксидаза обнаружена в клетках дрожжевых культур и в клетках некоторых базидиальных грибов [1, 2]. Метанол оксидаза – это ключевой фермент метаболизма метанола у метилотрофных дрожжей. Об образовании этого фермента в клетках базидиомицетов известно немного [3]. Все описанные в литературе базидиомицеты, содержащие метанолюкисляющие ферменты, относятся к классу *Agaricomycetes*. Методики, использованные для обнаружения метанолюкисляющих ферментов, были достаточно трудоемкими.

Новый биосенсорный электрохимический метод, разработанный автором, позволяет быстро и с минимальными затратами оценить присутствие фермента, запускающего метаболизм субстрата в клетках микробной культуры [4]. Указанный метод предполагает использование лабораторных моделей электрохимических микробных сенсоров двух типов (реакторный микробный сенсор и мембранный микробный сенсор [5]), сформированных на основе клеток изучаемой микробной культуры и кислородного электрода типа Кларка. В реакторном микробном сенсорном устройстве (РМСУ) суспензия интактных микробных клеток служит распознающим элементом и позволяет обнаружить в клетках фермент, который запускает метабо-

лизм субстрата. Имобилизованные клетки, используемые в мембранном микробном сенсорном устройстве (ММСУ) и зафиксированные на рабочей поверхности электрода Кларка, тоже позволяют обнаружить ответ клеток на субстрат. При этом ответ клеток обусловлен двумя процессами: транспортом субстрата в клетки и взаимодействием фермент-субстрат в клетках исследуемой культуры. Если в клетках отсутствует фермент начального метаболизма субстрата, то ответ, полученный с помощью ММСУ, будет обусловлен только транспортом субстрата в микробные клетки.

Биосенсорный экспресс метод ранее был использован для изучения особенностей метаболизма субстрата у бактерий и опробован на дрожжевых культурах [1, 6]. В настоящем исследовании биосенсорную методику применили, чтобы оценить способность базидиальных клеток метаболизировать метанол. В работе были использованы культуры агарикомицетов, плодовые тела которых съедобны: *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus*.

Формирование РМСУ на основе мицелия базидиомицетов имеет специфические особенности, связанные с погруженным ростом грибов. Достаточно гомогенная суспензия неповрежденного мицелия грибов должна быть использована для формирования РМСУ. Однако в глубинной культуре рост грибов чаще происходит в виде пеллет разного размера и разной степени плотности. Можно дезинтегрировать пленки грибного мицелия, как это делают для получения

посевого материала при глубинном культивировании базидиомицетов. Но в этом случае нарушается целостность гиф гриба. Методика получения гомогенной суспензии неповрежденного мицелия базидиомицетов находится в стадии доработки. Поэтому измерения с помощью РМСУ на основе неповрежденного мицелия *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus*, позволяющие оценить присутствие метанолюкисляющих ферментов в мицелии этих культур, еще не проводили.

Для формирования распознающей части ММСУ использовали мицелий грибов, которые выращивали в пробирках на агаризованном пивном сусле. Фрагмент воздушного мицелия (1-3 мг) закрепляли на измеряющей поверхности кислородного электрода Кларка, формируя микробный электрод. Микробный электрод помещали в измерительную кювету, заполненную 50 мМ К-Na-фосфатным буфером, pH 7.4.

После формирования распознающей части ММСУ определяли отклик мицелия на метанол. Для этого раствор метанола добавляли в кювету. Измерения проводили в открытой 5-мл кювете, оснащенной магнитной мешалкой, при + 20-22°C. После внесения метанола в кювету изменялась скорость потребления кислорода мицелием грибов. Кислородный электрод преобразовывал изменение концентрации кислорода (как результат реакции клеток на метанол) в изменение тока электрода. Сигнал кислородного электрода (изменение тока электрода) усиливали с помощью In-gold 531 O₂ amplifier. Скорость изменения потребления кислорода клетками в ответ на появление субстрата была пропорциональна скорости изменения тока электрода, которую регистрировали с помощью двухкоординатного XY Recorder-4103. Скорость отклика мицелия на метанол (скорость реакции на метанол) в пА/с рассчитывали как первую производную изменения тока электрода в ответ на внесение субстрата. Микробный электрод и кювету промывали после каждого измерения. Продолжительность одного измерения, включая стадию промывки реакционной кюветы, не превышала 20 минут.

Кривые зависимости скорости реакции грибного мицелия на метанол, построенные с помощью ММСУ для *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus*, представлены на Рисунке 1А. Ответ клеток мицелия мог быть обусловлен двумя процессами: транспортом метанола в грибные клетки и взаимодействием фермент-субстрат в клетках исследуемых грибов. Однако измерение реакций на метанол с помощью РМСУ, которое подтвердило бы взаимодействия фермент-субстрат в мицелии, не проводили. Поэтому зависимости, представленные на Рисунке 1А, однозначно свидетельствовали о наличии транспорта метанола в клетки грибов. Метанол хорошо растворяется в липидах клеточной оболочки и мог самостоятельно проникать в клетки, на что указывал бы линейный характер зависимости скорости реакции клеток на метанол от концентрации последнего. Однако на Рисунке 1А представлены кривые с насыщением, указывающие на то, что транспорт мог происходить с участием белков-переносчиков. Активность процессов, определяющих реакцию клеток грибов на метанол, была достаточно низкой: $V_{\max}$ не превышала 8 пА/с. Это, возможно, было связано с участием переносчиков, неспецифичных для метанола. Сродство окисляющих метанол ферментов к метанолу, определенное для базидиомицетов в [2, 3], было (12 мМ и 17.3 мМ) на порядок выше констант, полученных в настоящем исследовании *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus*. Константы полунасы-

щения для исследованных культур составляли 129 мМ и 314 мМ, соответственно. Высокие значения констант (низкое сродство к метанолу) могли быть следствием того, что полученные константы характеризовали два процесса, то есть были комплексными константами. Кроме того, при широкой субстратной специфичности ферментной системы низкое сродство к метанолу могло свидетельствовать о том, что субстрат не был основным для данного фермента. Как, например, это было в случае K_m , приведенных в [2]: 13 мМ – для основного субстрата, метанола, и 154 мМ – для 4-гидрокси бензилового спирта.

Для сравнения на Рисунке 1Б приведены зависимости скорости реакции на метанол от концентрации метанола, построенные с помощью ММСУ для дрожжей *Ogataea parapolymorpha* ВКМ-Y-2518 и *Ogataea angusta* ВКМ-Y-1397. Клетки этих дрожжей содержали конститутивные ферменты, запускающие метаболизм метанола в клетках дрожжей. Поэтому ответы клеток, показанные на рисунке 1Б, были обусловлены двумя процессами: транспортом метанола в клетки и взаимодействием фермент-метанол в клетках дрожжевых культур. Для *Ogataea parapolymorpha*, как было ранее показано для бактериальных клеток, содержащих конститутивный фермент начального метаболизма субстрата, $V_{\max}$ была достаточно высокой, достигала 200 пА/с. А сродство фермента к метанолу (константа полунасыщения – 6 мМ) было сравнимо с K_m , приведенными в литературе для базидиомицетов и определенными традиционными методами. Однако для иммобилизованных клеток *Ogataea angusta* ВКМ-Y-1397 $V_{\max}$ была такой же невысокой, как и для базидиомицетов, использованных в настоящей работе. И сродство к метанолу, 115 мМ, было того же порядка, что и для *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus*. Если провести аналогии, то можно предположить наличие ферментов, запускающих метаболизм метанола в мицелии *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus*. Однако однозначно подтвердить или опровергнуть присутствие метанолюкисляющих ферментов в мицелии исследованных грибов будет возможно после доработки методики получения гомогенной суспензии интактного мицелия и формирования РМСУ.

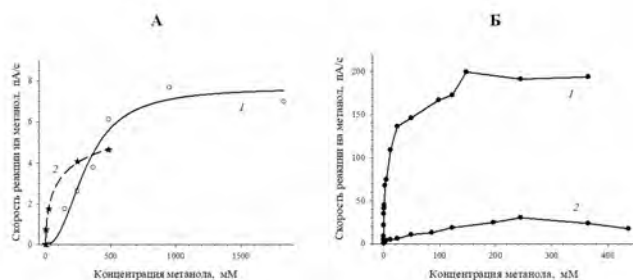


Рисунок 1. Зависимости скорости реакции на метанол от концентрации метанола для ММСУ: (А) на основе клеток воздушного мицелия *Pleorotus ostreatus* (1) и *Agaricus bisporus* (2); (Б) на основе иммобилизованных клеток дрожжей *Ogataea parapolymorpha* ВКМ-Y-2518 (1) и *Ogataea angusta* ВКМ-Y-1397 (2).

Таким образом, с использованием нового биосенсорного электрохимического метода было показано, что клетки воздушного мицелия базидиальных грибов *Agaricus bisporus* и *Pleorotus ostreatus* содержат конститутивные системы транспорта метанола в мицелий. С помощью лабораторных моделей мембранных микробных сенсорных устройств были определены комплексные константы полунасыщения $S_{0.5}$ (аналоги K_m), которые характеризовали сродство к метанолу для про-

цессов, определяющих реакцию мицелия на метанол. Для исследованных базидиомицетов S0.5 были равны 129 мМ и 314 мМ, соответственно.

Список литературы

1. Kerwin R.M., Ruelius H.W. Production of alcohol oxidase by several basidiomycetes.. *Applied Microbiology*. 1969. P. 347-351. Doi: 10.1128/am.17.3.347-351.1969.
2. Stefanek S., Typek R., Dybowski M., Wianowska D., Jaszek M., Janusz G. Novel basidiomycetous alcohol oxidase from *Cerrena unicolor* – characterization, kinetic, and proteolytic modifications.. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. V. 25. 11890. Doi: 10.3390/ijms252211890.

3. De Oliveira B.V., Teixeira G.S., Reis O. et al. A potential role for an extracellular methanol oxidase secreted by *Moniliophthora perniciosa* in Witches' broom disease in cacao.. *Fungal Genetics and Biology*. 2012. V. 49. P. 922-932. Doi: 10.1016/j.fgb.2012.09.001.
4. Emelyanova E.V. Microbial biosensor for characterization of a microorganism: a review focusing on the biochemical activity of microbial cells.. *Micromachines*. 2023. V. 14. 733. Doi: 10.3390/mi14040733.
5. Racek J. *Cell-Based Biosensors*, Technomic Publishing Company, Lancaster, Basel, 1995. Pp. 13–14.
6. Емельянова Е.В. Экспресс оценка физиологических характеристик дрожжей с помощью биосенсорного метода. *Современная микология в России*. 2024; 10: 48-49. DOI: 10.14427/cmr.2024.x.02.

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ ВОДЫ В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПАТОГЕННОСТЬ МИЦЕЛИЯ *CALOPHOMA COMPLANATA*

Гасич Е.Л., Хлопунова Л.Б., Берестецкий А.О.
Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург

Борщевик Сосновского является одним из наиболее агрессивных инвазивных видов сорных растений. Не смотря на предпринимаемые усилия по его контролю, вид остается проблемным на территории некоторых регионов России. Поиск альтернативных методов подавления борщевика Сосновского, в том числе при помощи фитопатогенных грибов является актуальным. Определенный микогербицидный потенциал выявлен у *Calophoma complanata* (Tode) Qian Chen & L. Cai – возбудителя фомоза борщевика Сосновского (Гасич и др., 2010).

Одним из важных показателей качества инфекционного материала при производстве микогербицида является его устойчивость к абиотическим факторам среды. Часто в полевых условиях основным фактором, препятствующим прорастанию спор гриба и внедрению в ткани растений, является недостаточная продолжительность влажного периода. При культивировании грибов при помощи определенных компонентов питательной среды можно моделировать стрессовые состояния, которые могут приводить к повышению устойчивости микромицетов к стрессам в полевых условиях (Miranda-Hernández et al., 2016; Brown et al., 2017). Активность воды является абиотическим фактором, который влияет на рост и метаболическую активность микромицетов (Burg, Ferraris, 2008). Микромицеты, выращенные на питательной среде с пониженной активностью воды, то есть в условиях водного стресса, способны накапливать низкомолекулярные органические вещества – осмолиты, позволяющие регулировать водный обмен и тем самым защищающие клетки от различных стрессовых нагрузок. Для снижения активности воды в питательной среде могут использоваться хлорид натрия и глицерин (Matsuda et al., 2006; Rathore et al., 2015; Stevenson et al., 2017).

Цель работы – оценить влияние изменения активности воды в питательной среде на рост мицелия штамма 32.121 *Calophoma complanata* и его патогенность для борщевика Сосновского.

Гриб культивировали на жидкой соевой среде (сахароза – 60 г/л, соевая мука – 15 г/л, KH_2PO_4 – 1 г/л, $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,5 г/л, KCl – 0,5 г/л, дрожжевой экстракт – 1 г/л, pH 6) на орбитальном шейкере-инкубаторе Innova 44 R (Eppendorf, Германия) при температуре 20 °C и скорости вращения 180 об/мин в течение 6 суток. Для понижения активности воды в питательную среду добавляли глицерин (5, 10, 15, 20, 25%) или хлорид натрия (2, 4, 6,

8, 10, 12%). Измерение активности воды в питательной среде производили с помощью анализатора Aqualab 4TE (Decagon Devices, США). Мицелий отделяли от культуральной жидкости и измельчали при помощи гомогенизатора IKA T 18 digital Ultra turrax (Германия). Мицелиальный инокулюм ($C=50$ мг/мл) использовали для заражения отрезков листьев борщевика Сосновского, помещенных в чашки Петри на увлажненную водой фильтровальную бумагу. Каплю суспензии (10 мкл) при помощи автоматической пипетки наносили в центр листового сегмента на абаксильную поверхность, чашки инкубировали при 22 °C при переменном искусственном освещении (12 ч день), размер некроза измеряли на 3 сутки.

Вышеприведенные концентрации глицерина и хлорида натрия также использовали для модификации активности воды при изучении роста штамма на агаризованной соевой среде при 24 °C в течение 5 сут.

Активность воды (A_w) в немодифицированной питательной среде была на уровне 0,99. Добавление хлорида натрия или глицерина в агаризованную соевую среду приводило к понижению активности воды, при максимальных концентрациях до уровня A_w 0,91 и 0,93 при использовании хлорида натрия (в концентрации 12%) и глицерина (в концентрации 25%), соответственно. Установлено, что штамм 32.121 способен расти в широком диапазоне активности воды 0,99–0,92, хотя при A_w 0,92–0,94 колонии развивались очень слабо, при A_w 0,91 роста не было. При снижении активности воды отмечено уменьшение диаметра колоний, как при использовании глицерина, так и хлорида натрия. При активности воды 0,97 диаметр колоний уменьшался примерно в два раза по сравнению с контролем.

На жидкой соевой среде штамм 32.121 развивал мицелиальные колонии в виде пеллетов и недифференцированной мицелиальной массы.

При понижении активности воды отмечалось снижение сырой биомассы мицелия. В случае использования глицерина в качестве модификатора активности воды, максимальная масса сырого мицелия (76 г/л) зарегистрирована при концентрации глицерина 5–10%, что соответствовало A_w около 0,98–0,97. В контроле – на немодифицированной среде накопление биомассы было примерно в 1,1 раза выше.

При добавлении в состав среды хлорида натрия максимальная масса сырого мицелия (73,8 г/л) отмечена при A_w около 0,986 (при добавлении в среду 2% хлори-

да натрия). На немодифицированной среде накопление биомассы было примерно в 1,2 раза выше. Повышение концентрации хлорида натрия $\geq 10\%$ вызывало сильное угнетение роста гриба.

Патогенность мицелиального инокулюма при добавлении в питательную среду 10–25% глицерина (A_w 0,93–0,97) или 2–12% хлорида натрия (A_w 0,986–0,92) была выше, по сравнению с немодифицированной средой и средой с 5% глицерина. Увеличение концентрации глицерина $\geq 10\%$ не приводило существенно к росту патогенности мицелия. В опыте с хлоридом натрия наиболее патогенным оказался мицелий, полученный на среде с 6% соли.

Тип осмолита, используемый для понижения активности воды, значительно влиял на рост мицелия. При сходной активности воды в питательной среде с глицерином и хлоридом натрия наблюдались различия в накоплении биомассы. Хлорид натрия оказывал более сильное воздействие на рост штамма, так при A_w 0,94 накопление биомассы на среде с хлоридом натрия снижалось в 11,8 раза по сравнению со средой без добавок. На среде с глицерином даже при A_w 0,93 накопление биомассы снижалось всего в 2,2 раза.

При стрессе, вызванном обезвоживанием, происходит накопление полиолов, прежде всего глицерина, в наружных слоях мембран клеток грибов, что обеспечивает защиту внутренней среды клетки от внешних факторов, которые могут подавить действие основных ферментов (Blomberg, Adler, 1992). Поэтому грибы могут расти при более низких значениях активности воды в присутствии глицерина по сравнению с другими веществами. Хлорид натрия, помимо осмотического эффекта, может приводить к накоплению токсичных ионов Na^+ и Cl^- и нарушению минерального питания.

Культивирование штамма на среде с высоким содержанием сахаров (6% сахарозы) в течение 6 суток при-

водило к накоплению большого количества биомассы патогенного для борщевика Сосновского мицелия. Добавление глицерина и хлорида натрия снижало биомассу мицелия, но приводило к повышению его патогенности.

Основываясь на данных о накоплении биомассы и патогенности мицелия, в состав питательной среды для культивирования штамма 32.121 рекомендуется включать глицерин (10%) и/или хлорид натрия (2%).

Список литературы

1. Гасич ЕЛ, Хлопунова ЛБ, Берестецкий АО, Сокорнова СВ. 2010. Штамм гриба *Phoma complanata* (Tode) Desm. 1.40 (ВИЗР), обладающий микогербицидной активностью против борщевика Сосновского. Патент на изобретение. RU 2439141 06.10.2010
2. Miranda-Hernández F, Garza-López PM, Loera O. 2016. Cellular signaling in cross protection: an alternative to improve mycopesticides. *Biological Control* 103: 196–203. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2016.09.007
3. Brown AJP, Cowen L E, Di Pietro A, Quinn J. 2017. Stress adaptation. *Microbiol Spectrum* 5(4): FUNK-0048-2016. doi:10.1128/microbiolspec. FUNK-0048-2016.
4. Burg MB, Ferraris JD. 2008. Intracellular organic osmolytes: function and regulation. *J Biol Chem* 238 (12): 7309–13. doi:10.1074/jbc.R700042200
5. Matsuda Y, Sugiyama F, Nakanishi K, Ito S-I. 2006. Effects of sodium chloride on growth of ectomycorrhizal fungal isolates in culture. *Mycoscience* 47 (4): 212–217. doi:10.1007/s10267-006-0298-4
6. Rathore SS, Saxena SN, Sharma YK, Mishra BK, Singh B. 2015. Effect of pH and salt levels on growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini* isolate from cumin. *Intern. J. Seed Spices*. 5 (1): 100–101
7. Stevenson A, Hamill PG, Medina A. et al. 2017. Glycerol enhances fungal germination at the water-activity limit for life. *Environ Microbiol*. 19 (3): 947–967. doi:10.1111/1462-2920.13530
8. Blomberg A, Adler L. 1992. Physiology of osmotolerance in fungi. *Adv Microb Physiol*. 33: 145–212. doi: 10.1016/s0065-2911(08)60217-9

МИКОПРОТЕИН БРИТАНСКИЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Горшина Е.С.

Московский политехнический университет

Грибные продуценты, несомненно, являются перспективными источниками пищевых и биологически активных веществ. Широкое применение продуктов на основе грибных штаммов в пищевой промышленности и медицине обусловлено сочетанием их функциональных свойств, позволяющих отнести их к продуктам здорового питания. Мицелиальная биомасса грибов обладает рядом преимуществ перед традиционными белковыми продуктами, получаемыми биотехнологическим путем (белком одноклеточных, в том числе дрожжей).

Одной из наиболее перспективных технологий в этой области является технология получения высокобелкового пищевого продукта на основе глубинно выращиваемой биомассы мицелиальных грибов, получившего название «микопротеин».

На мировом рынке микопротеин представлен продукцией с торговой маркой Quorn®, первоначально выпускавшейся английской фирмой Marlow Foods Ltd (совместное предприятие Rank Hovis McDougall (RHM) и Imperial Chemical Industries (ICI)). Quorn представляет собой готовые к употреблению быстрозамороженные продукты, органолептически соответствующие мясным блюдам, основу которых составляет биомасса *Fusarium graminearum* A3/5 [1]. В настоящее время

штамм-продуцент (РТА-2684) переидентифицирован как *Fusarium venenatum*. С 2015 года бренд Quorn принадлежит материнской компании Monde Nissin и продается в 17 странах.

Штамм был в 1967 выделен в Великобритании из почвы и отобран из 3000 образцов. Для производства его биомассы был разработан процесс непрерывной ферментации с использованием биореактора объемом 40 м³ с механическим перемешиванием, а затем и в эрлифтном ферментере. Культивирование проводят в асептических условиях на среде с глюкозой, аммонийными солями и биотином. Полученную биомассу отделяют и подвергают термической обработке с целью снижения содержания нуклеиновых кислот, избыточное количество которых в пищевых продуктах приводит к нежелательным метаболическим эффектам [1].

В 1985 году RHM после оценки безопасности микопротеина, которая проводилась в течение 10 лет, получила разрешение на его продажу для употребления в пищу [2].

В большинстве продуктов Quorn мицелиальную массу гриба смешивают со специями и яичным белком, который выступает в роли связующего, а затем придают нужную текстуру и форму. В веганской версии в качестве связующего используется растительный белок. Quorn

предлагает линейку охлажденных вегетарианских и веганских блюд, в том числе пиццу, лазанью, хот-доги, бургеры и другие.

В начале 2000-х годов Quorn занимал около 60% рынка заменителей мяса в Великобритании, а его годовой объем продаж составлял около 95 миллионов фунтов стерлингов. Рынок продукции Quorn рос по всему миру, однако в 2002 году в Соединенных Штатах Центр науки в интересах общества (CSPI) оспорил маркировку Quorn как продукта на основе грибов, поскольку *Fusarium venenatum* с точки зрения потребителя является не грибом, а микроорганизмом. К этому мнению присоединился и Американский институт грибов, считая, что указание на то, что продукт произведен из грибов, вводит потребителя в заблуждение. Указание же на то, что продукт сделан на основе «грибка» или плесневого гриба настораживает покупателя или вовсе отвращает от покупки. Неблагоприятно сказались на продажах и подтвержденные случаи аллергии на продукты с микопротеином, несмотря на то аллергические реакции могут быть на любой белковый продукт, но именно на Quorn такие случаи крайне редки. Производитель понес убытки и теперь позиционирует Quorn как продукт, получаемый путем брожения подобно пиву, вину и хлебу.

На протяжении 20 лет, примерно в те же годы, что и в Великобритании (1975-1995), в СССР разрабатывалась технология получения микопротеина, для чего во ВНИИ биосинтеза белковых веществ (ВНИИсинтезбелок) была создана лаборатория технической микологии. В качестве штамма-продуцента использовали предоставленный болгарскими учеными ультрафиолетовый мутант базидиального гриба *Polyporus squamosus* Huds.: Fr. шт. PS-64, позднее идентифицированный как *Fusarium sambucinum* Fuck. var. *ossicolum* (Berk. et Curt.) Bilai шт. ВСБ-917. Биомасса гриба предназначалась для промышленного использования в производстве продуктов питания с целью увеличения в них содержания белка. В разные годы продукт имел различные условные названия (грибной мицелий, микобелок, мицелий высших грибов (МВГ)) [3].

Технологию отработывали на испытательном стенде ВНИИсинтезбелок и в заводских условиях на предприятиях Главмикробиопрома. Опытные партии продукта набавывали в опытном цехе Ефремовского биохимического завода.

Было показано, что отечественный микопротеин обладает высоким содержанием белка (30-35 % по сумме аминокислот), включает все незаменимые аминокислоты (в том числе лизин), на долю которых приходится до 45% от суммы аминокислот, и по этому показателю **близок белкам мяса**. Использование его в сочетании с зерновыми, дефицитными по незаменимым аминокислотам, позволяет получить питательный продукт, сбалансированный по содержанию аминокислот. В состав углеводов микопротеина входят хитиновая клетчатка и биологически активные полисахариды (глюканы и галактоманнаны). Липидный состав отличается высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот (более 50 % жирных кислот приходится на долю эссенциальных жирных кислот – линолевой и линоленовой). Биомасса содержит фосфолипиды, витамины, убихинон Q₁₀, макро- и микроэлементы (кальций, калий, фосфор, магний, железо, медь, цинк) в легко усвояемой форме и другие ценные биологически активные соединения.

Работы по микопротеину шли в рамках государственной тематики и включали взаимодействие нескольких организаций. Исследования безопасности микопротеина по программе ВОЗ, проводившиеся в течение 14 лет (1975-1988 г.г.) в Институте питания АМН СССР [4], показали отсутствие токсического, канцерогенного и коканцерогенного, аллергенного, мутагенного, гонадотропного, эмбриотоксического, тератогенного действия. В 1988 году Минздравом СССР было выдано разрешение на применение микопротеина в качестве пищевой добавки при производстве продуктов питания.

Параллельно, начиная с 1982 года в профильных институтах пищевой промышленности проводились испытания микопротеина в рецептурах пищевых продуктов. На основании этих исследований микопротеин был одобрен как функциональная добавка при изготовлении хлебобулочных изделий, в вареных колбасах, майонезах и других продуктах. Было показано, что микопротеин обладает влаго- и жиросодержащими свойствами, органолептически повышает плотность колбасных и фаршевых мясопродуктов, усиливает действие ароматических и вкусовых добавок.

Таким образом, разработка технологии производства микопротеина осуществлялась параллельно и независимо в СССР и Великобритании. В 1990 году планировалось начало строительства цеха по производству отечественного микопротеина на Шебекинском биохимическом заводе. Однако в 1990-е годы финансирование проекта в России было прекращено.

В 2000-е годы в Московском государственном университете инженерной экологии (ныне Московский политехнический университет), в рамках выполнения работ по теме «Разработка промышленной технологии и аппаратуры для производства микопротеина» была разработана по сути новая технология производства микопротеина и соответствующая техническая документация [5]. Заменено сырье, модернизирована технология и аппаратное решение производства, с применением методов математического планирования эксперимента оптимизированы состав питательной среды и технологические режимы культивирования (температура, pH, интенсивность перемешивания, аэрация), что позволило *увеличить* выход биомассы в 2 раза без потери ее качества [6,7].

Тем не менее в настоящее время производство микопротеина в России отсутствует. Производству препятствует необходимость серьезных капиталовложений и риски при выводе нового продукта на рынок.

При этом в последнее десятилетие в мире наблюдается стремительное наращивание мощностей по производству мицелия грибов. Помимо компании, выпускающей Quorn, появились и другие производители глубинно выращенной биомассы мицелиальных грибов, как плесневых, так и базидиальных, *например*, компания ENOUGH в Нидерландах (микопротеин ABUNDA). В США, Европе и Юго-Восточной Азии возникают как стартапы, так и крупные предприятия по производству грибного мицелия такие как Infinite Roots в Германии, Nature's Fynd и Meati Foods в США, Miso-Technology в Омане и другие. В Индонезии появилась быстрорастущая компания Better Meat, выпускающая микопротеин Rhiza на основе *Neurospora crassa*. Бывают и временные неудачи, например, компания Misoarena

свернула в Швеции до лучших времен строительство завода по производству микопротеина Promus, однако мнение аналитиков однозначно сходится на том, что в пищевых технологиях за грибами будущее.

Список литературы

1. Trinci A.P.J. Myco-protein: A twenty-year overnight success story// *Mycological Research*, 1992, v.96 (1), p.1-13
2. Denny A., B. Aisbitt and J. Lunn. Mycoprotein and health// *Journal compilation British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 2008, v. 33, p. 298–310
3. Морозова Г.Р., Высоцкий В.Г., Сафонова Н.В., Мамаева Е.М. Промышленное получение мицелия высших грибов.– М.: ОНТИТЭИ Микробиопром, 1978.– 56 с.

4. Мамаева Е.М., Высоцкий В.Г. Медико-биологические аспекты проблемы использования в питании человека белка мицелия грибов. Вопросы питания.–1988.–№ 2.–С. 8-15.
5. Горшина Е.С., Т.В. Русинова, Н.С. Марьина и соавт. Экологически чистая технология производства микопротеина – пищевой добавки для коррекции рациона питания. Сборник научных трудов МГУИЭ. Вып. 3. Механика, теплофизика, экология Федер. Агенство по образованию, Моск. гос. ун-т инж. экол.– М.: МГУИЭ, 2006.– С. 124–131
6. Горшина Е.С., Неманова Е.О., Бирюков В.В., Русинова Т.В. Патент РФ № 2511427, С 12N 1/14, С 12P 21/00, C12 R 1/77 Штамм *Fusarium sambucinum* – продуцент грибной белковой биомассы. Опул. 10.04.2014 Бюл. № 10
7. Горшина Е.С., Неманова Е.О., Бирюков В.В., Русинова Т.В. Патент РФ №2511041, , С 12P 21/00, C12N 1/14, C12 R 1/77 Способ получения грибной белковой биомассы. Опул. 10.04.2014 Бюл. № 10;

ФОРМИРОВАНИЕ, СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПЕЛЛЕТ ГРИБОВ РОДА *GANODERMA* – ПРОДУЦЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

Краснопольская Л.М., Ярина М.С., Шуктуева М.И., Джавахян Б.Р.
НИИ по изысканию новых антибиотиков, Москва

Изучение морфологии мицелиальных грибов в процессе их погруженного культивирования для получения целевых продуктов является с одной стороны важным инструментом разработки и совершенствования биотехнологий, с другой – необходимым критерием штатного протекания процесса. Мицелиальные базидиальные грибы в условиях погруженного культивирования в колбах на орбитальных шейкерах в подавляющем большинстве случаев растут в виде пеллет, в условиях биореакторов они преимущественно формируют дисперсный мицелий. Как известно, выращивание в колбах используют на первых стадиях разработки биотехнологических процессов, за которыми следует перенос культивирования в биореакторы, а также как первый этап получения жидкого посевного мицелия.

Целью настоящей работы было изучение формирования, структуры и морфологии, включая микроморфологию, пеллет грибов рода *Ganoderma*. Объектами исследования служили штаммы видов *Ganoderma lucidum* 5-1, *G. resinaceum* 4 и 8, *G. curtisii* 9, являющиеся продуцентами биологически активных эндополисахаридов. В частности, из мицелия штамма *G. lucidum* 5-1 были выделены щелочерастворимый ксиломаннан и водорастворимый фукогалактан, показавшие высокую противоопухолевую активность в опытах *in vivo* [1]. Было показано, что в основе противоопухолевых свойств ксиломаннана лежит его способность активировать противоопухолевый иммунитет за счет экспрессии цитокинов [2]. Водорастворимые полисахариды этого штамма также показали антиоксидантную активность, выражающуюся в хелатировании ионов двухвалентного железа [3]. Разработанный биотехнологический способ получения эндополисахаридов штамма *G. lucidum* 5-1, включавший погруженное культивирование продуцента в колбах на начальном этапе получения жидкого посевного мицелия, был успешно апробирован в промышленных условиях. Длительность процесса культивирования в промышленном биореакторе, обеспечивающая максимальный выход погруженной биомассы, составила 52 часа.

Формирование пеллет. В литературе приведены в основном результаты изучения формирования пеллет аскомицетов. В этом случае достаточно часто авторы обсуждают результаты засева сред бесполовыми спорами, которые при прорастании могут оставаться

единичными структурами или образовывать агрегации спор. Эти два варианта будут лежать в основе путей формирования погруженного мицелия двух морфологических типов. Работая с мицелиальными базидиомицетами, мы не имеем возможности использовать в качестве первичного инокулюма бесполовые споры. Поэтому засев производят фрагментами культуры определенной или неопределенной формы, выросшей на плотной питательной среде, так называемыми агарово-мицелиальными кусочками. Значительно менее распространен способ первоначального засева жидких сред взвесью мелких фрагментов воздушного мицелия в воде. При любом из этих способов засева формирование пеллеты начнется с фрагмента мицелия. Разрастание таких фрагментов будет происходить в условиях постоянного перемешивания жидкой среды, в случае выращивания в колбах на шейкере – согласно его орбитальному движению. В результате неравномерного физического воздействия жидкости на фрагменты мицелия у изучаемых нами культур формировались протопеллеты кометоподобной формы – с увеличенной центральной частью и вытянутым в противоположном направлении, постепенно утончающимся отростком. По своему размеру эти протопеллеты значительно уступали сформировавшимся пеллетам, имевшим форму геоида или цилиндра. Крупные пеллеты, сохранившие форму протопеллеты, были отмечены в единичных случаях. Также в единичных случаях были выявлены пеллеты, представляющие шарообразный агрегат небольших пеллет, связанных между собой единым центром и редкими гифами вне его. По мере того, как погруженная биомасса достигала своего максимального содержания, было отмечено явление так называемого вторичного засева. Фрагментация мицелия поверхностного слоя пеллет приводила к образованию новых мелких протопеллет и дисперсного роста мицелия. Именно явление вторичного засева лежит в основе успешного проведения непрерывного или полунепрерывного культивирования мицелиальных организмов.

Структуру и морфологию пеллет изучали с помощью световой и электронной микроскопии. Гифы всех изученных штаммов рода *Ganoderma* имели пряжки. В зависимости от состава питательной жидкой среды пеллеты грибов рода *Ganoderma* могли различаться по размеру и быть либо гладкими, либо «hairy pellet», то есть нести выраженные хорошо сформированные отростки.

Было показано, что гифы таких отростков могли быть связаны между собой анастомозами. Поверхность гладких пеллет в большинстве случаев имела «сетчатую» структуру, представляющую собой узлы из тесно соприкасающихся гиф, которые затем расходились в разные стороны, чтобы образовать новые узлы. Эта микроморфологическая структура напоминала структуру макромира – крупномасштабную структуру Вселенной.

Меньшие размеры пеллет были отмечены при выращивании изучаемых штаммов на среде, содержащей соевую муку, что согласуется с основными принципами морфологической инженерии [4]. Меньшие размеры пеллет обеспечивали лучшие условия массообмена, это приводило к значительно более высоким выходам биомассы и таких первичных метаболитов, как биологически активных полисахаридов. Известно, что образованию вторичных метаболитов, в том числе биологически активных, способствует определенное лимитирование роста продуцента. Поэтому определение целевого продукта диктует необходимость изучения морфологических характеристик продуцента при разработке биотехнологического способа его культивирования, установлению корреляций между морфологическими признаками и биосинтетической активностью.

В условиях периодического погруженного культивирования и истощаемости питательных веществ процесс развития пеллет грибов рода *Ganoderma* проходил ряд последовательных этапов. После формирования протопеллеты согласно модели Перта проходило увеличение ее объемов за счет разрастания поверхностных слоев. Это разрастание носило четко выраженный характер – все гифы такого слоя были радиально вытянуты. По мере увеличения объема пеллет и ухудшения условий массообмена внутренних слоев, то есть недостаточного поступления к ним

кислорода и питательных веществ, гифы в центре пеллет утончались, на них образовывалось большое количество кристаллов. В других слоях пеллет кристаллы отсутствовали. Четко выраженный радиальный рост внешних гиф в определенный момент сменялся хаотическим ростом. Скорее всего эти изменения были связаны с постепенной утилизацией питательных веществ. В пользу этого предположения свидетельствует образование на этом этапе большого количества хламидоспор, которые могли быть как апикальными, так и интеркалярными. Как известно, хламидоспоры предназначены для переживания неблагоприятных внешних ситуаций. В нашем исследовании неблагоприятной ситуацией выступала лимитация по кислороду и питательным веществам. Морфологически центр пеллеты, слои радиального и хаотического роста четко различались между собой.

Таким образом, было показано, что пеллеты грибов рода *Ganoderma* представляют собой достаточно строго организованную по единой схеме структуру.

Список литературы

1. Краснопольская Л.М., Ярина М.С., Автономова А.В., Усов А.И., Исакова Е.Б., Бухман В.М. Сравнительное изучение противоопухолевой активности полисахаридов из мицелия *Ganoderma lucidum* в опытах in vivo. Антибиотики и химиотерапия, 2015. Т. 60, № 11-12, С. 29-34.
2. Бляхер М.С., Алешкин А.В., Федорова И.М., и соавт. Влияние ксилотрипана, выделенного из *Ganoderma lucidum*, на продукцию цитокинов мононуклеарами периферической крови человека. Цитокины и воспаление, 2017; 1 (1-2): 27-30.
3. Альмяшева Н.Р., Ярина М.С., Голышкин А.В., Джавахян Б.Р., Краснопольская Л.М. Антиоксидантные свойства водорастворимых полисахаридов и этанольных экстрактов мицелия ксилотрофных базидиальных грибов. Антибиотики и химиотерапия, 2017, Т. 62, № 7-8, С. 8-12.
4. Lu Z., Chen Z., Liu Y., et al. Morphological engineering of filamentous fungi: Research progress and perspectives. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2024, V/ 34, N 6, 1197.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА МИЦЕЛИЯ ЕЖОВИКА ГРЕБЕНЧАТОГО НА РАЗНЫХ ПО СОСТАВУ ТВЕРДЫХ СУБСТРАТАХ

Лавлинский А.В.

Воронежский государственный университет

Ежовик гребенчатый (*Hericium erinaceus*) — съедобный лекарственный гриб, относящийся к семейству *Hericiaceae*. Из мицелия ежовика гребенчатого выделено несколько эринацинов, представляющие собой вторичные метаболиты гриба (эринацины А-К, Р и Q), среди которых были обнаружено, что эринацин А (ЭрА) представляет собой особое соединение, способное стимулировать действие фактора роста нервов (NGF). К настоящему времени подтверждено, что ЭрА, обнаруженный в мицелии ежовика гребенчатого, оказывает фармакологическое действие на центральную нервную систему, более успешное восстановление после инсульта, болезни Паркинсона, Альцгеймера, снижает уровень депрессии и заболеваний, связанных с нервной системой, таких как диспареуния и пресбиакюзис. Целью нашей работы было изучение особенностей зарастания мицелием ежовика гребенчатого твердых субстратов, состоящих из зерна бурого риса, ржи и дробленой кукурузы. Полностью колонизированные мицелием ежовика гребенчатого субстраты на указанных видах зерна после высушивания могут быть использованы для приготовления БАДов. В качестве объекта исследования нами был взят штамм ежовика гребенчатого из частной грибной фермы в РФ, полученный из Японии. Субстрат из зерна для выращи-

вания на нем мицелия помещался в пакеты объемом 2 л из термоустойчивой пленки и готовился по стандартной методике для стерильной технологии. Варьирующими факторами воздействия были сама зерновая культура, влажность зерна (30% – 45%) и температура инкубации (+15 – +22 С) при росте мицелия. Результаты опыта обрабатывались статистически с использованием многофакторного дисперсионного анализа. Нами было показано, что на сроки полного зарастания зерна мицелием ежовика гребенчатого выше указанных субстратов существенное влияние оказали его влажность (быстрее всего зарастание шло при влажности зерна 40%-45%), а также температура его инкубации (наиболее оптимальная температура была в пределах +18 – +22 С). Также достоверное влияние на сроки зарастания субстрата оказало сочетание факторов температуры и влажности. Вид самого зернового носителя не оказал достоверного влияния на сроки его полной колонизации. На качество зарастания зернового также субстрата влияние оказала и его подготовка перед стерилизацией. Учитывая, что зерно бурого риса является наиболее дорогим материалом для приготовления субстрата, была показана возможность его замены зерном ржи и кукурузы для выращивания мицелия ежовика гребенчатого.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДРОЖЖЕЙ РАСЫ SAFSPIRIT C-70 И СОСТАВА ЗАМЕСА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БРАЖКИ

Мордасова Е.С., Атыкян Н.А.
МГУ имени Н. П. Огарева, Саранск

На сегодняшний день в мире используются десятки разных рас дрожжей, но наиболее изученными и распространенными являются *Saccharomyces cerevisiae*. Брожение является ключевым этапом в производстве дистиллятов и напрямую влияет на качество конечного продукта. Оптимизация этого процесса, в том числе путем подбора рас спиртовых дрожжей и состава замеса, позволяет повысить эффективность производства.

В настоящее время важным вопросом спиртовой промышленности считается повышение эффективности переработки зернового сырья на спирт. Дрожжи расы *SafSpirit C-70* – это производственные спиртовые дрожжи компании Fermentis, способные сбраживать широкий круг зерновых субстратов и производить спирт с высокой степенью чистоты. Исследование влияния данной расы дрожжей и состава зернового сусла на процесс ферментации и качество получаемого спирта является целью данной работы.

В работе использовались следующие методы: микроскопический метод определения концентрации клеток дрожжей, гравиметрический и рефрактометрический методы анализа истинных и видимых сухих веществ, потенциометрический метод анализа pH, титриметрический метод анализа кислотности, пикнометрический метод определения концентрации спирта в дистиллятах, газохроматографический метод анализа примесей в спирте.

В работе использовалось сырье стандартного (размер частиц от 1 мм) и ультрадисперсного (размер частиц менее 10 мкм) измельчения. Сырье предварительно подвергалось гидроферментативной обработке. Анализ сусла, полученного из сырья ультрадисперсного измельчения, показал, что оно более полно осаживалось

и выбрасывалось по сравнению с суслом, полученным из зерна стандартного измельчения, что связано с большей доступностью крахмала зерновых частиц действию ферментов. Максимальный выход спирта – 10,2 об. %, был получен в сусле из смеси зерновых культур (пшеницы и ржи в соотношении 1:1) стандартного измельчения с использованием активированных дрожжей. Изменение состава замеса (введение в него ячменя) даже при использовании активированных дрожжей привело к снижению выхода спирта на 25% – до 7,7 об.%. Использование ультраизмельчения для смеси зерновых культур (пшеницы, ржи и ячменя в соотношении 1:1:1) практически не изменило выход спирта по сравнению с вариантом с измельчением до 1 мм. Все полученные образцы спирта по содержанию примесей (в первую очередь метанола) соответствовали требованиям нормативных документов.

Список литературы

1. Smith T. G. et al. Wheat as a feedstock for alcohol production. HGGG Research Review. 2006; 33 (4): 11-48. DOI 10.1007/3-540-11018-6_3
2. Kłosowski G., Mikulski D., Macko D. Influence of various yeast strains and selected starch raw materials on production of higher alcohols during the alcoholic fermentation process. Eur Food Res Technol. 2015. Vol. 240. №1. С. 233–242.
3. Хоконова М.Б., Цагоева О.К. Показатели качества зерновых затворов при сбраживании спиртового сусла. Пищевая промышленность. 2020. №7. С. 41–43.
4. Strąk-Graczyk E., Balcerek M., Przybylski K., Żyżelewicz D. Simultaneous saccharification and fermentation of native rye, wheat and triticale starch. Journal of the science of food and agriculture. 2019. Vol. 99. №11. С. 4904–4912.
5. Bai F.W., Anderson W.A., Moo-Young M. (2008). Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. Biotechnology advances. 2008. Vol. 26. №1. С. 89–105.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИТИН-ГЛЮКАНОВОГО КОМПЛЕКСА ИЗ НАТИВНОЙ БИОМАССЫ *PHALLUS IMPUDICUS* И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ D-ГЛЮКОЗАМИНА

Разин А.Н., Филиппова И.А., Юшкевич Т.В.
НПО БИОЛЮКС, Санкт-Петербург

Глюкозамин – это аминсахарид, который является частью таких полисахаридов, как хитозан и хитин, это один из самых распространенных моносахаридов. Глюкозамин входит в перечень БАДов с установленным действием согласно Российской Академии Медицинских Наук (МР 2.3.1.2432 -08: 4.3.8.1. Глюкозамин сульфат). В природе глюкозамин содержится в раковинах моллюсков, а также костях животных в некоторых видах грибов.

Глюкозамин широко используется в медицине, ветеринарии и пищевой промышленности для создания лекарств, БАДов для лечения и профилактики различных заболеваний.

Цель: отработать технологию получения хитин-глюканового комплекса из нативной биомассы *Phallus impudicus* и определить содержание в нем D-глюкозамина.

Материалы и методы. Нативная биомасса *Phallus impudicus*, полученная методом глубинного культивирования.

Биомасса гриба *Phallus impudicus*.

Для получения хитин-глюканового комплекса использовалась биомасса гриба *Phallus impudicus* – производства ООО «НПО «БИОЛЮКС», г. Санкт-Петербург.

Качественные характеристики сырья:

- внешний вид – микрогранулы;
- цвет – от темно-серого до коричневого;
- запах – свойственный мицелию без постороннего запаха;
- крупность помола (мм) – 2;
- массовая доля влаги (%) не более – 10,0;
- массовая доля золы в пересчете на абсолютно сухое вещество (%) не более – 12,0;
- массовая доля сырого протеина в пересчете на продукт с массовой долей влаги (%) не менее – 10,0;
- содержание свободных цианидов – не допускается;
- содержание свинца (мг/кг) не более – 5,0;

- содержание мышьяка (мг/кг) не более – 2,0;
- содержание ртути (мг/кг) не более – 0,1;
- содержание кадмия (мг/кг) не более – 0,3;
- содержание металломагнитной примеси размером частиц до 2 мм включительно (мг/кг) не более – 20,0;
- общее количество микробов в 1 г продукта, не более – $1 \cdot 10^3$;
- наличие бактерий рода сальмонелла – не допускается;
- безвредность в тест-дозе – безвреден.

Химические реагенты.

Использовались следующие химические реагенты:

- ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».
- ГОСТ 10929-76 «Водорода пероксид».
- ГОСТ 4201-79 «Натрий углекислый. ТУ».
- ГОСТ 4228-77 «Натрий гидроокись. ТУ».
- ГОСТ 3118-77 «Кислота соляная».

Методы обработки исходного сырья. Исходное сырье подвергалось гидробаротермической обработке, которую проводили в автоклаве с мешалкой, автоматическим поддержанием температуры и давления. Внутренняя поверхность автоклава сделана из нержавеющей стали, для предотвращения взаимодействия химических реагентов и сырья с металлом. Исходное сырье загружалось в автоклав, заливалось раствором химического реагента. При этом гидромодуль сохранялся постоянным 1:10. По истечении необходимого времени обработки через нижний клапан производили слив отработанного раствора.

Полученную массу промывали водой на фильтрах.

Определение содержания D-глюкозамина. Для определения D-глюкозамина использовался калориметрический метод Эльсона-Моргана. Количество D-глюкозамина (dX) определяли по разности содержания D-глюкозамина в пробах, полученных при гидролизе в 6н HCl и 2н HCl растворах соляной кислоты, которые определялись по формуле:

$$X_{12} = C \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot 100 / V_2 \cdot V_4 \cdot n$$

где C – количество D-глюкозамина по калибровочной кривой, мг/см³;

V₁ – объем, взятый на гидролиз, см³;

V₂ – объем, взятый на очистку после нейтрализации, см³;

V₃ – объем после очистки от артефактов, см³;

V₄ – объем, взятый на определение D-глюкозамина, см³;

n – навеска биомассы, мг.

Расчет количества азота, принадлежащего D-глюкозамину, производили по формуле:

$$A = (dX \cdot 5,6) / 100$$

где 5,6 – коэффициент, отражающий содержание азота в молекуле D-глюкозамина.

Определение содержания азота. Метод основан на сжигании белка и минерального азота в присутствии серной кислоты и перигидроля. Серная кислота, взаимодействуя с перигидролем, образует мононадсерную кислоту, которая является сильным окислителем. При таких условиях сжигание белка происходит за 1 час 10 мин.

Содержание азота вычисляли по формуле:
где X – количество азота в пересчете на а. с. вещество, %;

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \cdot K \cdot 0,0014 \cdot 100}{m \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right)};$$

V₁ – объем 0,1 н раствора едкого натра, израсходованного на титрование 50 см³ 0,1 н раствора серной кислоты в контрольном опыте, см³;

V₂ – объем 0,1 н раствора едкого натра, израсходованного на титрование остатка серной кислоты, не пошедшей на связывание выделившегося аммиака при отгонке, см³;

K – поправочный коэффициент к титру 0,1 н раствора едкого натра;

0,0014 – количество азота, эквивалентное 1 см³ точного 0,1 н раствора H₂SO₄;

m – масса исследуемого продукта, г;

W – влажность исследуемого продукта, %.

За окончательный результат принимали среднее арифметическое значение двух определений. Допускается расхождение при параллельных определениях не более $\pm 0,5$ %.

Определение влажности и зольности проводили методами, изложенными в ГОСТ 28178-89 «Дрожжи кормовые. Метод испытания».

Результаты и обсуждения. Обработка биомассы *Phallus impudicus* содовым и кислотным растворами в одну и две ступени позволяет более эффективно удалять минеральные и органические вещества из этой биомассы при сохранении более высокого выхода D-глюкозамина и содержания D-глюкозамина в хитин-глюкановом комплексе. При этом последовательная трехстадийная обработка позволяет удалить большее количество глюканов. Вместе с тем, при четырехстадийной обработке биомассы происходит большее разрушение D-глюкозамина, чем при трехстадийной обработке биомассы, на что указывают показатели содержания D-глюкозамина в хитин-глюкановом комплексе.

От органических азотсодержащих веществ, рассматриваемая обработка биомассы, не освобождает хитин-глюкановый комплекс. Об этом можно судить по значению показателя общего содержания азота.

Многостадийная обработка биомассы гриба *Phallus impudicus* с использованием горячей гидроокиси натрия, соляной кислоты и перекиси водорода позволяет более эффективно удалить из данного сырья зольные компоненты, о чем можно судить по результатам, представленным в таблице.

От стадии к стадии наблюдается увеличение содержания D-глюкозамина и общего азота в хитин-глюкановом комплексе за счет увеличения азота, принадлежащего D-глюкозамину.

Обработка биомассы гриба *Phallus impudicus* карбонатом натрия, соляной кислотой, а также многоступенчатая обработка горячей гидроокисью натрия, соляной кислотой, перекисью водорода позволяет эффективно удалить из данного микробиологического сырья посторонние ингредиенты с получением чистого хитин-глюканового комплекса с высоким содержанием D-глюкозамина.

Таблица 1. Влияние условий обработки биомассы гриба рода *Phallus impudicus* на выход и химический состав хитин-глюканового комплекса.

Условия обработки биомассы ¹	Способ и стадии обработки биомассы						
	Последовательная четырех стадийная обработка				Последовательная трех стадийная обработка		
	I	II	III	IV	I	II	III
Продолжительность, ч	7	5	5	7	7	5	4
Химический реагент	NaOH	HCl	H ₂ O ₂	NaOH	NaOH	HCl	H ₂ O ₂
Концентрация химического реагента, %	11,0	11,0	19,0	11,0	11,0	12,0	19,0
Гидромодуль	1:10	1:10	1:10	1:10	1:10	1:10	1:10
Температура, °С	98±2	68±2	20±2	98±2	98±2	68±2	20±2
Выход, %	49,0	47,7	97,0	27,1	84,4	58,2	78,0
Зольность, %	40,4	1,3	0,7	1,5	10,5	1,0	1Д
Общее содержание азота, %	-	2,30	2,30	3,30	-	-	2,60
Содержание ДГА, %	-	42,02	38,94	62,14	-	-	43,90
Содержание азота,принадлежащего ДГА, %	-	2,18	2,07	3,25	-	-	2,45

Примечание: 1. Температура водопроводной воды при промывке хитин-глюканового комплекса 98±2°С.
2. Числитель – выход продукта от абсолютно сухой массы продукта, полученного на предыдущей стадии обработки знаменатель – выход продукта от абсолютно сухой массы исходного сырья.

Выводы. Нативная биомасса *Phallus impudicus* содержит D – глюкозамин. Четырех стадийная обработка биомассы щелочными и кислотными растворами позволяет повысить выход D – глюкозамина. Многостадийная обработка биомассы *Phallus impudicus* позволяет получить чистый хитин-глюканвый комплекс с высоким содержанием D-глюкозамина.

Список литературы

1. Шабрукова Н.В., Прошина М., Гамаюрова В.С. Экспресс-метод количественного определения D-глюкозамина в хитин-глюкановых комплексах.. Тезисы докладов конф. молодых ученых «Пищевые технологии». Казань, 22-23 декабрь 1998. – С. 13
2. Емельянова И.З. Химико-технологический контроль гидролизного производства. М.: «Лесная промышленность», 1976. -С. 227-229
3. Канарская З.А. Получение и свойства хитин-глюканового адсорбента из биомассы грибов. Диссертацияна соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань 2000

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ГРИБОВ *GANODERMA APPLANATUM* И *LENTINULA EDODES* НА СОХРАННОСТЬ СПЕРМЫ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Сергушкина М.И.¹, Полежаева Т.В.¹, Соломина О.Н.¹, Худяков А.Н.¹, Зайцева О.О.¹, Попыванов Д.В.²
¹Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
²ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров

Сохранение существующего разнообразия пород животных на планете является сложной задачей. Для стабильной передачи их генетического материала необходимо соблюдать чистоту линий и осуществлять четкие правила разведения. Сохранность генетического фонда обеспечивается разными репродуктивными технологиями, которые основаны на криоконсервации биоматериала [1]. В животном мире существует разнообразие механизмов, лежащих в основе производства, созревания, структуры и функционирования сперматозоидов. В настоящее время актуальным является направление по долгосрочному сохранению в жизнеспособном состоянии сперматозоидов. При использовании для этой цели отрицательной температуры, так же применяются криопротекторы разной природы. В настоящее время повсеместно происходит изучение особенностей структуры, свойств грибов. Известно, что криозащитным действием могут обладать полисахариды некоторых базидиальных грибов. В частности, ксиломаннан из мицелия и плодовых тел базидиального гриба *Flammulina velutipes*, полисахаридная фракция мицелия грибов *Trametes ochracea* или *Hericium erinaceus* [2]. Огромный спектр биологического действия полисахаридов базидиальных грибов позволяет сделать предположение о том, что их можно использовать в составе криоконсервирующей среды

для консервации клеток. Одними из перспективных базидиальных грибов являются *Ganoderma applanatum* и *Lentinula edodes*. Следовательно, цель данного исследования: определить перспективу совместного влияния полисахаридов базидиальных грибов *G. applanatum* и *L. edodes* на сохранность спермы в условиях отрицательной температуры – 80°С в течении 28 суток.

Материала и методы. В работе использованы полисахариды, полученные из культуральной жидкости ксилотрофных базидиальных грибов следующих природных изолятов: *G. applanatum* (Polyporales: Ganodermataceae) GA (ON130353.1 в NSBI), *L. edodes* (штамм LE). Для этого изоляты выращивали в жидкой среде из пивного сусла, разведенного до 4° по Баллингу, при постоянном перемешивании на магнитной мешалке в течение 20 сут. при температуре 25°С. Для выделения фракции полисахаридов культуральную жидкость отфильтровывали от мицелиальной биомассы и упаривали при 50°С до постоянного веса.

Быки-производители голштинской породы (n=8; возраст – 2-3 года)- постоянные доноры спермы, содержались на предприятии АО «КировПлем» (Россия). Условия содержания поддерживались оптимальными и одинаковыми для каждого быка. Сперму собирали с использованием искусственного влагалища (42°С). Свежеполученную сперму разбавляли в соотношении 1:5 с разбавителем (вес/объем): 2.75 г ТРИС (AppliChem,

Германия), 0,8 г глюкоза (NeoFroxx, Германия), 0,3 г мальтоза (NeoFroxx, Германия), 1,4 лимонная кислота (CDH, Индия), 6 мл глицерин (АО Химреактив, Russia), 20 мл желток куриный, бидистиллированная вода до 100 мл. В опытах с полисахаридными фракциями в данный состав раствора добавляли полисахариды *G. applanatum* / *L. edodes* и также смешивали со спермой в соотношении 1:5. Полисахариды каждого гриба добавляли такого количества в г, чтобы конечная концентрация каждого из полисахаридов была в первой группе 0.1%, а во второй группе 0.2%. Смесь разливали по полимерным коническим микропробиркам по 0.5 мл и помещали в воздушную среду холодильника ТВЛ-К 050Б (ЗАО “ИнСовт”, Россия) +5°C на 2 часа, после чего переносили в электрический морозильник Vestfrost (Vestfrost, Дания) на -80° С для хранения. Отогрев осуществляли в водяной ванне при +37°C через 28 суток хранения.

До охлаждения и после отогрева проводили анализ биологических параметров спермы с помощью системы Аргус-CASA, которая включала фазово-контрастный микроскоп (CX43RF Olympus, Япония), программное обеспечение, цифровую камеру, ПК укомплектованный принадлежностями. Для этого каплю сперматозоидов быков вносили в счетную камеру Маклера (Counting chamber Makler®, Sefi Medical, Israel) и накрывали покровным стеклом.

Подвижность сперматозоидов и показатели кинематики определяли с помощью компьютерного анализа движения сперматозоидов (частота кадров: 60 Гц/сек, количество кадров: 30, минимальный контраст клеток; 15, минимальный размер клетки (пиксель) 8, интенсивность клеток, пороговая прямолинейность 80, средний VAP 25 μm/s, низкий уровень VAP 5.0, VSL 0.05 μm/s). Вся совокупность зафиксированных клеток делилась по характеру движения на три популяции – прогрессивные, непрогрессивные и неподвижные. В работе рассматриваются показатели кинематики только у прогрессивно подвижных сперматозоидов, как объекта, имеющего практическую ценность. Оценивали следующие показатели: криволинейную скорость VCL (микрон/сек), прямолинейную скорость VSL (микрон/сек), среднюю скорость пути VAP (микрон/сек), среднее угловое смещение MAD (град), линейность LIN (%), перекрестную частоту биений BCF (Гц). При этом использовали не менее 200 сперматозоидов по каждому параметру подвижности из предусмотренных протоколом исследования программы АргусCASA.

Данные были проанализированы на предмет нормальности с использованием теста Шапиро-Уилка. Результаты исследования представлены в виде медианы, 25-го и 75-го центилей (Me, Q1-Q3). Для оценки различий использовали непараметрические критерии Манна-Уитни, считая различия значимыми при $p<0.05$. Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения «StatTech ver. 3.1.1».

Результаты и обсуждение. Репродуктивные клетки животных очень чувствительны к факторам криоконсервирования (изменения осмолярности, обезвоживания, механическое повреждения кристаллами льда и т. д.). Повреждение билипидной структуры мембраны ведет к потере ее целостности, а в итоге, снижению подвижности сперматозоидов, потере фертильности [3]. Для предотвращения данных нарушений к сперме перед воздействием холода принято добавлять антиоксиданты, моно-, ди- или трисахариды [4]. При анализе литературных данных [5] выявлено, что полисахариды базидиальных грибов возможно смогут

оказать защитный эффект при низкотемпературном хранении репродуктивных клеток.

Установлено, что после 28 суток хранения спермы с одним разбавителем (контроль) показатели кинематики сперматозоидов снизились относительно исходного состояния подвижности (до воздействия отрицательной температуры).

В работе оценивались показатели кинематики только у популяции прогрессивно подвижных сперматозоидов. Выявлено, что показатели: криволинейной скорости, средней скорости пути, статистически значимо выше у сперматозоидов, которые хранились с разбавителем и полисахаридными фракциями базидиальных грибов *Ganoderma applanatum* и *Lentinula edodes* в концентрации каждого по 0.1% / 0.2% , чем у сперматозоидов хранившихся с одним разбавителем (контроль) (таблица). Отличия показателей между группами 1 и 2 (при использовании разной концентрации полисахарида грибов) не выявлены (таблица).

Таблица 1. Показатели подвижности (n=8, Me, Q1-Q3) у прогрессивно подвижных сперматозоидов после 28 суток хранения при -80°C в разбавителе (контроль), в том числе содержащим по 0,1% полисахаридной фракции *G. applanatum* и *L. edodes* (группа 1) или по 0,2% полисахаридной фракции *G. applanatum* и *L. edodes* (группа 2).

Показатели кинематики	Исследуемые группы		
	контроль	группа 1 (по 0.1%)	группа 2 (по 0.2%)
VAP (μm/s)	31.23 (18.31 — 37.12)	43.01 *(35.03 – 48.11)	40.80 *(31.33 – 50.60)
VSL (μm/s)	39.61 (27.65 — 44.89)	39.54 (30.14 – 40.44)	36.52 (26.13 – 39.78)
VCL (μm/s)	65.54 (43.62 – 70.25)	81.08 *(68.00 — 85.12)	78.50 *(66.32 – 84.36)
MAD (°)	54.71(46.14 – 61.45)	48.91 *(43.22 – 53.21)	47.02 *(42.11 – 52.42)
LIN (%)	48.65 (37.84 – 55.41)	48.13 (41.52 – 55.52)	45.69 (38.42 – 51.42)
BCF (Hz)	66.83 (51.47 – 71.22)	62.52 (48.67 – 70.44)	63.51 (51.63 — 69.91)

Примечания: VAP – средняя траекторная скорость; VSL – прямолинейная скорость; VCL – криволинейная скорость; MAD – средний угловой градус; LIN (VSL/VCL) – линейность; BCF – перекрестная частота биений; * – отличие от показателя контроля статистически значимо $p<0,05$; отличия показателей между группами 1 и 2 не выявлены.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученные в исследовании результаты свидетельствуют о перспективе совместного применения полисахаридов базидиальных грибов *Ganoderma applanatum* и *Lentinula edodes* в качестве компонента разбавителя для криоконсервирования спермы быков производителей при -80°C.

Список литературы

1. Bolton R.L, Mooney A, Pettit M.T, et al. Resurrecting biodiversity: advanced assisted reproductive technologies and biobanking. Reprod Fertil. 2022. V. 3. No 3. P. 121 – 146. doi: 10.1530/RAF-22-0005
2. Solomina O.N., Sergushkina M.I., Shirokikh A.A., Polezhaeva T.V., Shirokikh I.G., Zaitseva O.O., Khudyakov A.N. Hericium erinaceus BP16 as a source of polysaccharides stabilizing the functions of bulls spermatozoa during hypothermic storage. Theoretical and

Applied Ecology. 2021. No. 3. P. 212-218. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-212-218

3. Yeste M. Sperm cryopreservation update: cryodamage, markers, and factors affecting the sperm freezability in pigs. Theriogenology. 2016. V. 85. No. 47. P. 64.

4. Cassani P, Beconi M.T., O'Flaherty C. Relationship between total superoxide dismutase activity with lipid peroxidation, dynamics and morphological parameters in canine semen. Anim Reprod Sci. 2005. V. 86. P.163-173. doi: 10.1016/j.anireprosci.2004.06.006

5. Kozarski M., Klaus A., Niksic M., et al. Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharide extracts from the widely used mushrooms *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes* and *Trametes versicolor*. Journal of Food Composition and Analysis. 2012. V. 26. P. 144–153.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ *GANODERMA APPLANATUM* В КАЧЕСТВЕ БИОПЕСТИЦИДА

Шамаев Н.Д.^{1,2,3}, Потапов К.О.¹, Шуралев Э.А.^{1,2,4}

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет

² КГМА – филиал РМАНПО Минздрава России, Казань

³ Казанский ГМУ Минздрава России

⁴ Казанский ГАУ

Введение. Местные популяции медоносных пчел сокращаются и выявлено множество взаимосвязанных факторов, способствующих этому: 1) мировая торговля медоносными пчелами и продуктами пчеловодства, что способствует интродукции «неместных» видов; 2) потеря или фрагментация среды обитания; 3) интенсивное использование пестицидов и влияние поллютантов [1]; 4) болезни и вредители медоносных пчел [2, 3, 4, 5]. Контроль численности популяции большой восковой моли *G. mellonella* является одной из серьезных проблемой для колоний медоносных пчел в полевых условиях [3, 4]. Учитывая интерес сохранения здоровья колоний медоносной пчелы, а также снижения влияния пестицидов, существует настоятельная необходимость в обнаружении потенциальных биопестицидных компонентов и изучении их свойств по отношению к большой восковой моли *G. mellonella*. Среди наиболее широко исследованных грибов можно выделить ксилотрофные виды рода *Ganoderma*. Алкалоиды, аминокислоты, жирные кислоты, фенольные соединения, белки и полисахариды, стероиды и терпеноиды являются одними из многих фитохимических веществ, обнаруженных в *Ganoderma* spp. Среди небольшого числа видов, относящихся к этому роду, в Европе в целом, и в европейской части России в частности, наиболее широко распространенным является используемый в данных исследованиях *G. applanatum* [6, 7]. Этот же вид является наиболее часто встречающимся на территории Республики Татарстан. В данном исследовании уделено внимание отпугивающему воздействию, токсичности и активности питания насекомых при воздействии экстракта трутовика плоского *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.



Рисунок 1. *G. applanatum* на стволе тополя.

Материалы и методы. Плодовые тела трутовика плоского (*G. applanatum*) были собраны в Зеленодольском районе Республики Татарстан в августе 2023 года (Рис 1). Вид идентифицировали по макро- и микроскопическим признакам [6, 7]. Плодовые тела 7 дней сушили в тени, затем в печи. Сухой гриб измельчали в мелкий порошок и готовили этанольный экстракт.

Большая восковая моль *G. mellonella* была выделена из естественной экосистемы улья местной пасеки Лаишевского района в Республике Татарстан. Были использованы 25-дневные личинки, выращенные в биоклиматических камерах при 27°C и относительной влажности 65% (Рис. 2).



Рисунок 2. Личинки большой восковой моли (*G. mellonella*).

Эксперимент состоял из нескольких отдельных этапов, длительность каждого – 7 дней. Водный раствор экстракта (ВРЭ) дозировали в мл (10 мл соответствовало 100 мг). Смертность насекомых регистрировали в конце седьмого дня. На отдельном этапе опыта формировали от 6 до 14 групп, в каждой из них было по 30 личинок большой восковой моли. На первом этапе оценивали отпугивающую способность экстракта методом Маццонетто и Вендрамима [8], активность питания по Ротундо с соавт. [9] и окукливание личинок. В опыте было 6 групп, личинкам 1-3 группы добавляли соответственно по 10, 50 и 100 мл ВРЭ, а личинки 4-6 группы служили контролем, им вносили соответственно 10, 50 и 100 мл стерильной дистиллированной воды (СДВ). На втором этапе определяли контактную токсичность по Обенг-Офори и Рехмута [10]. В 1-5 группах испытывали 10, 50, 100, 200 и 300 мл ВРЭ, контролем служили личинки с таким же объемом СДВ (6-10 группа). Задача третьего этапа – определить токсичность ВРЭ методом

Чу с соавт. [11]. С этой целью сравнивали реакцию личинок на разные дозы ВРЭ (30, 60, 100, 150, 200, 250 и 300 мл – группы 1-7) и те же объемы СДВ (группы 8-14). Для анализа фагоцитарной активности и меланизации использовали личинок из третьего этапа эксперимента. Случайным способом для сравнения отобрали по 10 особей из 6 и 13 групп (развивавшихся соответственно при 250 мл ВРЭ или 250 мл СДВ), 7 и 14 – по 300 мл ВРЭ или СДВ. У каждой личинки отбирали до 10 мкл гемолимфы, и добавляли 1×10^4 дрожжевых клеток *Saccharomyces* spp. Фиксировали, высущивали и красили по Романовскому-Гимзе согласно инструкции.

Для оценки отпугивающей способности экстракта относительно СДВ рассчитывали индекс RI: $RI=1$ – указывает на схожую отпугивающую способность; $RI>1$ – испытуемый продукт имеет более низкую отпугивающую способность по сравнению с СДВ; $RI<1$ – соответствует большей отпугивающей способности изучаемого средства. Данные учитывали как долю пораженных особей от их общего числа и анализировали с помощью теста ANOVA после преобразования в значения арксинуса $\sqrt{x}/100$. Логистический регрессионный анализ использовали для поиска взаимосвязей между данными. Значение $p<0,001$ считали достоверным. Анализ данных и визуализацию проводили с использованием R Statistical Software (версия 4.3.0).

Результаты исследований и обсуждение. На первом этапе эксперимента при сравнении групп 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 выявили значения RI равные единице. Уровень достоверности был низким ($p>0,001$), что указывает на отсутствие у испытуемого вещества отпугивающего свойства по отношению к большой восковой моли. Активность питания личинок также не менялась от воздействия ВРЭ ($p>0,001$), тогда как окукливание значительно различалось между группами после воздействия ВРЭ. Личинки были склонны к более раннему (почти в 3 раза) окукливанию при использовании экстракта в дозах 50 и 100 мл по сравнению с контрольными группами ($p<0,001$) и окукливание можно рассматривать как проявление защитной реакции. Как правило, оно не приводило к развитию во взрослую особь, что снижало репродуктивный потенциал популяции насекомого. Возможно, что компоненты экстракта трутовика имитируют гормоны большой восковой моли, которые позволяют насекомым быстрее развиваться во взрослую особь. У насекомых группы 2 по сравнению с 5 ($p<0,001$) и 3 по сравнению с 6 ($p<0,001$) при превращении в имаго не наблюдали полового диморфизма. Его отсутствие также может привести к снижению репродуктивного потенциала популяции. На втором этапе эксперимента оценка контактной токсичности выявила низкий уровень достоверности ($p>0,001$) при сравнении групп с ВРЭ и СДВ, что указывает на отсутствие данного свойства у экстракта трутовика в отношении моли. Контроль токсичности на третьем этапе опыта также показал низкий уровень достоверности ($p>0,001$) при сравнении групп с ВРЭ и СДВ. Следовательно, и это свойство у экстракта гриба по отношению к моли отсутствует. Выживаемость личинок на каждом этапе эксперимента составила 78-100 % и была статистически не достоверной ($p>0,001$). Анализ фагоцитарной активности и меланизации при использовании экстракта из трутовика и СДВ в группах 6 и 13, 7 и 14 не выявил нарушений (рис. 3).

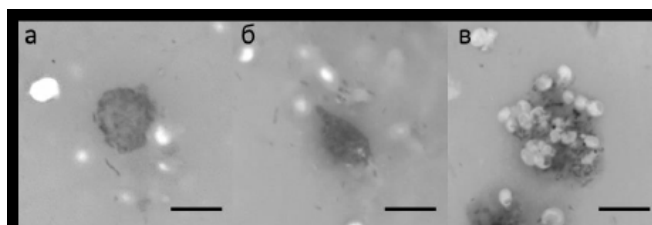


Рисунок 3. Типы гемоцитов в гемолимфе *G. mellonella*: а – прогемоцит; б – плазматоцит; в – реакция меланизации на дрожжевые клетки (мерная линейка: 10 мкм; $\times 100$).

Заключение. При исследовании выявили некоторые биопестицидные свойства водного раствора экстракта трутовика в объеме 50 и 100 мл (500 мг/мл и 1 г/мл) в отношении большой восковой моли. Водный раствор экстракта трутовика стимулирует раннее окукливание, не приводящее к формированию взрослой особи, и препятствует формированию у имаго полового диморфизма. И то, и другое снижает репродуктивный потенциал популяции насекомого.

Список литературы

1. Салихов Д.Г., Петров С.В., Шамаев Н.Д. и соавт. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в биогеохимических провинциях Республики Татарстан. *Journal of Agriculture and Environment*. – 2023. – № 8 (36). – URL: <https://jae.cifra.science/archive/8-36-2023-august/10.23649/JAE.2023.36.8> (дата обращения: 27.03.2025).
2. Шамаев Н.Д. Методы биотехнологии в изучении экологии и биогеографии медоносной пчелы и решении проблем интенсификации пчеловодства. *Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции. – Рыбное: Федеральный научный центр пчеловодства, 2024. – С. 194-198.*
3. Шамаев Н.Д., Шуралев Э.А., Мукминов М.Н. Распределение гаплотипов *Nosema apis* в условиях единичной пасеки Республики Татарстан. *Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета им. П.А. Костычева*. – 2024. – № 16. – С. 92-101.
4. Kwadha C.A., Ong'amo G.O., Ndegwa P.N., et al. The biology and control of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Insects*. – 2017. – Vol. 8, Iss. 2. – Art. № 61.
5. Shamaev N.D., Shuralev E.A., Mukminov M.N. Current status of *Nosema* spp. infection cases in *apis mellifera* in eurasian countries and Ptp3 gene haplotypes in the Republic of Tatarstan, Russia. *Veterinary Research Communications*. – 2024. – Vol. 48, Iss. 4. – P. 2691-2698.
6. Большаков С.Ю., Волобуев С.В., Ежов О.Н., Паломожных Е.А., Потапов К.О. Афилофороидные грибы европейской части России: аннотированный список видов. – СПб : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. – 578 с.
7. Ryvarden L., Gilbertson R.L. *European polyporales. Part 1. Abortiporus-Lindtneria*. *Synopsis Fung.* 5. – Oslo: Fungiflora, 1993. – 386 p.
8. Mazzonetto F., Vendramim J.D. Efeito de pós de origem vegetal sobre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) em feijão armazenado. *Neotropical Entomology*. – 2003. – Iss. 43. – P. 145-149.
9. Rotundo G., Paventi G., Barberio A., et al. Biological activity of *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter extracts against adult *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) and identification of active compounds. *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9, Iss. 1. – Art. № 6429.
10. Obeng-Ofori D.E., Reichmuth C.H. Bioactivity of eugenol, a major component of essential oil of *Ocimum suave* (Wild.) against four species of stored-product Coleoptera. *International Journal of Pest Management*. – 1997. – Iss. 43. – P. 89-94.
11. Chu S.S., Hu J.F., Liu Z.L. Composition of essential oil of Chinese *Chenopodium ambrosioides* and insecticidal activity against maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Pest Management Science*. – 2011. – Iss. 67. – P. 714-718.

ИЗУЧЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ПЛОДОВЫХ ТЕЛ
И ПОГРУЖЕННЫХ КУЛЬТУР БАЗИДИОМИЦЕТОВ

Шуктуева М.И., Зиангирова М.Ю., Лысакова В.С., Комиссаров Н.С.,
Дьяков М.Ю., Синева О.Н., Краснопольская Л.М.
НИИ по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе, Москва

Метаболиты базидиомицетов, обладающие анти-бактериальными и/или антифунгальными свойствами, можно обнаружить в плодовых телах, мицелии и/или культуральных жидкостях. В природе базидиомицеты произрастают в почве, на древесине и других различных многокомпонентных субстратах, а также могут парази-тировать на растениях и животных. В ходе длительной коэволюции базидиомицеты выработали собственные защитные механизмы, в том числе специализирован-ную химическую защиту. Вторичные метаболиты, обла-дающие антибиотической активностью, могут действо-вать как оружие против конкурирующих организмов, занимающих и потребляющих один и тот же субстрат. Несмотря на то что базидиомицеты способны синтези-ровать активные метаболиты как на вегетативной, так и на генеративной стадиях своего развития, вопрос о со-отношении антимикробной активности базидиомице-тов на разных стадиях онтогенеза до сих пор не решен [1]. Для проведения такого исследования необходимо провести сравнительное изучение антимикробной ак-тивности плодового тела, желательно собранного в природе, вегетативного мицелия и культуральной жид-кости одного и того же штамма гриба. Исследование по-следних двух грибных материалов позволит выяснить, аккумулируются ли активные метаболиты в мицелии или экспортируются в среду.

Целью данного исследования явилась сравнительная оценка антимикробной активности экстрактов плодовых тел, погруженных культур и культуральных жидкостей семи штаммов базидиомицетов, выделенных в Московском регионе.

Сбор плодовых тел макромицетов проводили маршрутным методом [2] на территории Москвы и Московской области в 2024-2025 гг. Изоляцию осуществляли, помещая стерильно фрагменты трамы на модифицированную питательную среду сусло-агар с добавлением антибиотика цефтриаксона из расчета 0,75 мг/мл для подавления бактериального роста.

Видовую принадлежность определяли по морфологии и микроскопии плодовых тел с использованием общепринятых определителей [3-5]. Видовые названия присваивали в соответствии с базой данных CABI Bioscience Databases Index Fungorum. В результате было изолировано 7 штаммов ксилосапротрофных макромицетов: *Auricularia auricu-la-judae* 1, *Flammulina rossica* MR80, *Fomitopsis betulina* 5, *Fomitopsis pinicola* 4, *Ganoderma applanatum* 1, *Pleurotus ostreatus* 1, *Trametes hirsuta* 12.

Штаммы грибов выращивали на плотной питательной среде КГА, затем методом погруженного культивирования в жидкой питательной среде [6]. Длительность культивирования, обеспечивающая максимальный выход биомассы базидиомицетов, составляла от 5 до 7 суток (Табл. 1). Полученную биомассу отделяли от культуральной жидкости с помощью фильтрования через лавсан. Собранные плодовые тела, предварительно разрезанные на тонкие слайсы, и полученную биомассу замораживали, а затем лиофилизировали. Лиофилизированный материал измельчали с помощью ступки и пестика.

Экстракцию полученной сухой биомассы и плодовых тел проводили 96 % водным раствором этанола в соотношении 1:10 и 1:15 соответственно. Экстракцию культуральной жидкости осуществляли этилацетатом в соотношении 1:1.

Таблица 1. Характеристики процессов погруженно-го культивирования штаммов базидиомицетов

Вид, штамм	Срок накопления максимальной биомассы, сутки	pH культуральной жидкости	Выход сухой биомассы, г/л
<i>Auricularia auriculajudae</i> 1	7	4,76±0,01	8,09±0,26
<i>Flammulina rossica</i> MR80	6	6,96±0,01	13,46±0,06
<i>Fomitopsis betulina</i> 5	7	1,16±0,01	4,26±0,06
<i>Fomitopsis pinicola</i> 4	5	1,89±0,01	4,49±0,01
<i>Ganoderma applanatum</i> 1	6	3,61±0,04	5,72±0,03
<i>Pleurotus ostreatus</i> 1	6	7,22±0,02	4,32±0,15
<i>Trametes hirsuta</i> 12	6	4,22±0,13	5,51±0,24

Экстракты после упаривания на роторном испарителе растворяли в 25 % водном растворе этилового спирта до получения рабочей концентрации 10 мг/мл. Антимикробную активность полученных экстрактов оценивали методом диффузии из лунок в агар (Табл. 2). Панель тест-объектов включала грамположительные бактерии *Staphylococcus aureus* и *Bacillus subtilis* и грамотрицательную бактерию *Pseudomonas aeruginosa*, а также дрожжеподобный гриб *Candida albicans* и мицелиальный гриб *Aspergillus niger*.

Выявленное антимикробное действие представляло собой бактерицидную или фунгицидную активность, бактериостатических и фунгистатических эффектов выявлено не было. Экстракты культуральных жидкостей всех исследуемых штаммов показали активность в отношении грамположительных бактерий. В отношении грамотрицательной бактерии *P. aeruginosa* были активны только экстракты культуральных жидкостей представителей рода *Fomitopsis*. Антифунгальная активность была выявлена только у экстракта культуральной жидкости штамма *A. auricula-judae* 1. Примечательно, что наиболее высокая активность была отмечена в отношении *C. albicans*.

Экстракты погруженной биомассы всех исследованных штаммов не показали в условиях опыта ни антибактериальной, ни антифунгальной активности.

Среди изученных экстрактов плодовых тел антимикробную активность показали соответствующие препараты из базидиом двух представителей рода *Fomitopsis*. Спектр их антимикробной активности был узок и ограничивался антибактериальной активностью в отношении только *B. subtilis*. Антифунгальная активность у экстрактов плодовых тел отсутствовала.

Полученные результаты позволили выявить наиболее перспективные для дальнейшей работы культуры. В их число вошли штамм *A. auricula-judae* 1, экстракт культуральной жидкости которого продемонстрировал высокую активность в отношении грамположительных бактерий и грибов, штаммы *F. betulina* 5 и *F. pinicola* 4, у экстрактов культуральных

жидкостей которых была выявлена антибактериальная активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий. Данные литературы об антимикробной активности метаболитов этих видов немногочисленны. Есть сведения, что экстракт *A. auricula-judae* проявляет бактериостатический эффект в отношении *S. aureus* и *B. subtilis*, а также умеренную активность против грибковых патогенов [7]. Известно, что вторичные метаболиты *F. betulina* и *F. pinicola* способны проявлять антибактериальную активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий [6,8,9].

Таблица 2. Антимикробная активность экстрактов плодовых тел, культуральной жидкости и погруженно-го мицелия базидиомецетов

Вид, штамм	Экстрагируемый материал	Зоны ингибирования роста, мм				
		<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>C. albicans</i>	<i>A. niger</i>
<i>Auricularia auricula-judae</i> 1	культуральная жидкость	35	35	н/а	26	20
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
<i>Flammulina rossica</i> MR80	культуральная жидкость	13	13	н/а	н/а	н/а
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
<i>Fomitopsis betulina</i> 5	культуральная жидкость	30	25	16	н/а	н/а
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	18	н/а	н/а	н/а
<i>Fomitopsis pinicola</i> 4	культуральная жидкость	26	25	17	н/а	н/а
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	15	н/а	н/а	н/а
<i>Ganoderma applanatum</i> 1	культуральная жидкость	15	13	н/а	н/а	н/а
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
<i>Pleurotus ostreatus</i>	культуральная жидкость	14	15	н/а	н/а	н/а
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
<i>Trametes hirsuta</i> 12	культуральная жидкость	н/а	10	н/а	н/а	н/а
	мицелий	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
	плодовое тело	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а

Примечание. н/а — нет активности.

Проведенное сравнительное исследование антимикробной активности экстрактов плодовых тел, культуральных жидкостей и погруженного мицелия базидиомицетов позволило выявить значительные различия в изучаемой биологической активности от видовой принадлежности, фазы онтогенеза, используемого грибного материала. В целом было показано, что наиболее активная продукция антимикробных метаболитов осуществлялась на вегетативной стадии. При этом соединения с целевой активностью были аккумулированы в культуральной жидкости. Это соответствует представлениям о функциях антимикробных метаболитов как инструментов борьбы с конкурентами за субстрат или как сигнальных молекул.

Список литературы

1. Lysakova V., Krasnopolskaya L., Yarina M., Ziangiroya M. Antibacterial and Antifungal Activity of Metabolites from Basidiomycetes: A Review. *Antibiotics*. 2024. 13(11):1026.
2. Бондарцев А. С., Зингер Р. А. Руководство по сбору вы-
ших базидиальных грибов для научного их изучения. Труды Бо-
танического института им. В. Л. Комарова АН СССР. Т. 11, № 6.
Ленинград: Изд-во Академии наук СССР, 1950. 45 с.
3. Hansen L., Knudsen H. (eds.) *Nordic Macromycetes*.
Vol. 2: Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales. Copenhagen:
Nordsvamp, 1992. 474 pp.
4. Hansen L., Knudsen H. (eds.) *Nordic Macromycetes*. Vol. 3:
Heterobasidioid, Aphyllophoroid and Gastromycetoid Basidiomycetes.
Copenhagen: Nordsvamp, 1997. 444 pp.
5. Ryvarden L., Melo I. *Poroid fungi of Europe (Synopsis*
Fungorum 31). Oslo: Fungiflora, 2014. 455 pp.
6. Лысакова В.С., Синева О.Н., Бычкова О.П., Красно-
польская Л.М. Скрининг антибактериальной и антифунгальной
активностей экстрактов базидиомицетов. *Антибиотики и Хими-
отерапия*. 2024. Т. 69, № 5-6. С. 11–18.
7. Oli A.N., Edeh P.A., Al-Mosawi R.M. et al. Evaluation of
the phytoconstituents of *Auricularia auricula-judae* mushroom and
antimicrobial activity of its protein extract. *European Journal of*
Integrative Medicine. 2020. Sep(38):101176.
8. Li J., Li Z., Duan Y., Liu C., Yan M. Secondary Metabolites
of *Fomitopsis betulina*: Chemical Structures, Biological Activity and
Application Prospects. *Journal of Fungi*. 2024. 10(9):616.
9. Badalyan S. M., Shnyreva A. V., Barkhudaryan A.
Antimicrobial Activity of Different Collections of Medicinal Polypore
Fungus *Fomitopsis pinicola* (Agaricomycetes). *International Journal*
of Medicinal Mushrooms. 2024. Vol. 26, № 12. P. 33–48.

ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ МИЦЕЛИЯ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ ДЛЯ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Смирнов А.В.¹, Краснополянская Л.М.², Кузнецова И.Е.¹

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва

²НИИ по изысканию новых антибиотиков им. Г.Ф. Гаузе, Москва

Высокая скорость развития промышленности влечет за собой существенное усложнение технологических процессов на производстве и как следствие необходимость тщательного контроля всех технологических параметров и мониторинга экологической обстановки. Ввиду этого, разработка новых типов сенсорных покрытий актуальна и практически значима задача современной науки [1,2]. Такие покрытия должны быть дешевыми, селективными и технологичными при изготовлении сенсорных элементов. Другим важным аспектом в последние годы является необходимость более широкого использования экологически чистых материалов [3]. Эти материалы должны быть легко перерабатываемыми и не оставлять углеродного следа. К таким материалам относятся различные покрытия, полученные с помощью биотехнологий [4-6]. Недавно было показано, что пленки из мицелия высшего гриба *Lentinula Edodes* штамм F-249 могут быть использованы в качестве селективных сенсорных пленок для акустоэлектронных устройств – резонаторов на основе объемных акустических волн [7]. В зависимости от способа их получения они селективно реагировали на пары аммиака, формальдегида и этилацетата. Последующие исследования показали, что пленки из мицелия высших грибов могут быть использованы для создания многоразовых датчиков влажности [8].

Однако проведенных ранее исследований недостаточно для однозначного вывода о возможности разработки газовых сенсоров на основе акустических устройств и сенсорных пленок на основе мицелия высших грибов. Необходимо провести исследование другого типа акустоэлектронных устройств, таких как акустические линии задержки на поверхностных акустических волнах и на волнах в пластинах, в сочетании с сенсорными покрытиями на основе мицелия высших грибов.

Ввиду этого целями работы были: (i) разработка технологии и создание пленок на основе мицелия высших грибов, вносящих минимальные потери при распространении поверхностной акустической волны (ПАВ) или акустической волны в пластине АВП на разных частотах, (ii) выяснение степени влияния различных паров на акустические отклики соответствующих линий задержки ПАВ и АПВ и (iii) анализ временной стабильности полученных пленок.

В работе проведен сравнительный анализ откликов двух типов акустических волн с близкими частотами (ПАВ и АВП) и одного типа волн (ПАВ) с разными частотами по отношению к различным парам жидкостей (вода, ацетон, этанол). В качестве чувствительных покрытий использовались два типа пленок на основе мицелия высшего гриба *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst (*G. lucidum*), приготовленных различными способами. Эти пленки были на основе этанольного (48 об. %) гомогенизата (MEGI) и экстракта (EGI) мицелия *G. lucidum*. Разработана процедура осаждения пленок, совместимая с технологией акустических устройств. Для создания соответствующих акустических линий задержки использовались различные пьезоэлектрические

подложки (YX-LiNbO₃, 128 YX-LiNbO₃). Было обнаружено, что дополнительное затухание ПАВ и АВП, связанное с появлением пленок мицелия на поверхности акустического волновода, в два раза больше для MEGI, чем для пленок EGL в диапазоне частот 20–80 МГц. Изменения амплитуды и фазы акустической волны при воздействии паров тестируемых веществ были измерены с учетом различий в геометрии образцов и нормированы на длину пробега акустической волны. Было обнаружено, что фазовый отклик линий задержки на ПАВ с пленками EGL в три раза выше, чем с пленками MEGI для паров воды и этанола. Используемые пленки демонстрируют хорошую воспроизводимость и долговременную стабильность в течение не менее 2 месяцев. На основании полученных результатов был сделан вывод, что пленка MEGI не подходит для использования в высокочастотных линиях задержки ПАВ в качестве чувствительного покрытия. Однако оба типа пленок (MEGI и EGL) могут быть использованы в качестве чувствительных покрытий для низкочастотных датчиков ПАВ и АПВ на основе соответствующих линий задержки. Кроме того, было обнаружено, что используемые пленки не чувствительны к парам ацетона. В результате проведенных работ разработана методика создания чувствительных пленок на основе мицелия высших грибов, совместимая с планарной технологией акустоэлектронных линий задержки. Показана возможность использования таких пленок для разработки газовых ПАВ- и АПВ-сенсоров.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (госзадание FFWZ-2025-0001).

Список литературы

- Constantinoiu I., Viespe C. Synthesis methods of obtaining materials for hydrogen sensors. *Sensors* 2021, 21, 5758, DOI: 10.3390/s21175758.
- Afzal A., Iqbal N., Mujahid A., Schirhagl R. Advanced vapor recognition materials for selective and fast responsive surface acoustic wave sensors: A review. *Analytica Chimica Acta* 2013, 787, 36-49, DOI: 10.1016/j.aca.2013.05.005
- Gautam Y.K., Sharma K., Tyagi S., Kumar A., Singh B.P. Applications of green nanomaterials in coatings. In *Green Nanomaterials for Industrial Applications*, 2021, 107-152, DOI: 10.1016/B978-0-12-823296-5.00014-9
- Vidhya S., Murari B.M. Sol-gel thin film based sensors and biosensors. *Int. J. of Pharma and Bio Sci.* 2016, 7, 297-3 DOI: 10.
- Zagnoni M. Miniaturised technologies for the development of artificial lipid bilayer systems. *Lab on Chip*. 2012, 12, 1026-1039, DOI: 10.1039/c2lc20991h.
- Tehrani Z., Whelan S.P., Mostert A.B. et al. Printable and flexible graphene pH sensors utilising thin film melanin for physiological applications. *2D materials*, 2020, 7, 024008, DOI: 10.1088/2053-1583/ab72d5.
- Kuznetsova I.E., Zaitsev B.D., Shikhabudinov et al. Acoustoelectronic Gas Sensor Based on Mushroom Mycelial Extracts. *Sens. and Act. B.* 2017, 243, 525-531, DOI: 10.1016/j.snb.2016.12.011
- Kuznetsova, I.E., Zaitsev, B.D., Krasnopolskaya, L.M., Teplykh, A.A., Semyonov, A.P., Avtonomova, A., Ziangirova, M.Yu., Smirnov, A.V., Kolesov, V.V. Influence of humidity on the acoustic properties of mushroom mycelium films used as sensitive layers for acoustic humidity sensors. *Sensors*, 2020, 20, 2711, DOI: 10.3390/s20092711

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ *HERICIUM ERINACEUS* (BULL.: FR.) PERS. В ТЕХНОЛОГИИ КРИОКОНСЕРВИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ КЛЕТОК ЖИВОТНЫХ

Соломина О.Н.¹, Худяков А.Н.¹, Полежаева Т.В.¹, Зайцева О.О.¹,

Сергушкина М.И.¹, Широких А.А.², Широких И.Г.²

¹ Институт физиологии Коми ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

² ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров

В настоящее время многие исследователи проявляют интерес к лекарственным препаратам, производимым из природных соединений. Перспективным источником природных полисахаридов являются базидиальные грибы, активно используемые в традиционной медицине юго-восточных стран. Известны противоопухолевые, иммуномодулирующие [1], гепатопротекторные, противовирусные [2], противовоспалительные свойства грибов, выявлено, что они снижают содержание сахара и холестерина в крови, помогают восстановлению гормонального баланса и улучшению состояния нервной системы [3]. Известны данные по регулированию репродуктивной функции животных при использовании экстрактов базидиальных грибов [4]. Препараты, созданные на основе полисахаридов базидиальных грибов, характеризуются высоким терапевтическим эффектом и низкой токсичностью. Помимо вышеперечисленных эффектов ранее нами было выявлено протекторное действие полисахаридов базидиальных грибов в составе криозащитных сред для клеток крови [5,6] и репродуктивных клеток [7,8] в условиях гипотермии. Целью настоящего исследования явилось изучение возможности применения полисахаридов *Hericium erinaceus* (Bull.: Fr) в технологии криоконсервирования репродуктивных клеток животных в условиях низких температур.

Объекты и методы. В работе использованы полисахариды из плодовых тел гриба *Hericium erinaceus* (Russulales: *Hericiaceae*) BP16 (регистрационный номер EU784264.1 в NSBI), выращенного на суслогаре (пивное сусло, разведенное водой до 4° по шкале Баллинга). Для получения плодовых тел гриба использовали субстрат из соломы, зерна и дубовых опилок, взятых в объемном соотношении 6:3:1. В подготовленный автоклавируемый (1 атм, 30 мин) субстрат асептически вносили посевной зерновой мицелий в количестве 5% от массы субстрата. Емкости с засеянным субстратом инкубировали при комнатной температуре (20±1°C) до появления плодовых тел. После сбора плодовые тела высушивали при 60°C для сохранения ценных свойств. Для получения полисахаридной фракции сухую биомассу гриба измельчали, заливали горячей дистиллированной водой (70°C) и через 8 часов осаждали полисахариды добавлением 96% этанола (1:4, V/V). Полученный осадок отделяли центрифугированием (13 000 об./мин, в течение 40 мин), растворяли в дистиллированной воде (1:1, V/V), высушивали на воздухе.

Быки-производители голштинской породы (n=20; возраст – 2-3 года) – постоянные доноры спермы, содержались на предприятии АО «КировПлем» (Россия). Условия содержания оптимальны для каждого быка. Свежеполученную сперму разбавляли в соотношении 1:5 с разбавителем (вес/объем): 2.75 г ТРИС (AppliChem, Германия), 0.8 г глюкоза (NeoFroxx, Германия), 0.3 г мальтоза (NeoFroxx, Германия), 1.4 лимонная кислота (CDH, Индия), 6 мл глицерин (АО Химреактив, Russia), 20 мл желток куриный, бидистиллированная вода до 100 мл. В опытах с полисахаридными фрак-

циями в данный состав раствора добавляли по 0.25 г полисахаридов *H. erinaceus* BP16 и также смешивали со спермой в соотношении 1:5, следовательно, конечная концентрация полисахаридов в сперме составила 0.21%. Смесь разливали по полимерным соломинкам по 0.5 мл и помещали в воздушную среду холодильника ТВЛ-К 050Б (ЗАО «ИнСовт», Россия) +5°C на 2 часа, после чего переносили в электрический морозильник Vestfrost (Vestfrost, Дания) на -80° С для хранения. Отогрев осуществляли в водяной ванне при +37°C через 7 и 28 суток хранения (срок наблюдения).

До охлаждения и после отогрева проводили анализ биологических параметров спермы с помощью системы Аргус-CASA, которая включала фазово-контрастный микроскоп (CX43RF Olympus, Япония), программное обеспечение, цифровую камеру, ПК укомплектованный принадлежностями. Для этого каплю сперматозоидов быков вносили в счетную камеру Маклера (Counting chamber Makler®, Sefi Medical, Israel) и накрывали покровным стеклом.

Подвижность сперматозоидов и показатели кинематики определяли с помощью компьютерного анализа движения сперматозоидов (частота кадров: 60 Гц/сек, количество кадров: 30, минимальный контраст клеток; 15, минимальный размер клетки (пиксель) 8, интенсивность клеток, пороговая прямолинейность 80, средний VAP 25 µm/s, низкий уровень VAP 5.0, VSL 0.05 µm/s). Вся совокупность зафиксированных клеток делилась по характеру движения на три популяции – прогрессивные, непрогрессивные и неподвижные. В работе рассматриваются показатели кинематики только у прогрессивно подвижных сперматозоидов, как объекта, имеющего практическую ценность. Оценивали следующие показатели: криволинейную скорость VCL (микрон/сек), прямолинейную скорость VSL (микрон/сек), среднюю скорость пути VAP (микрон/сек), среднее угловое смещение MAD (град), линейность LIN (%), перекрестную частоту биений BCF (Гц). При этом использовали не менее 200 сперматозоидов по каждому параметру подвижности из предусмотренных протоколом исследования программы АргусCASA.

Жизнеспособность сперматозоидов определяли при окраске пропидий йодидом. К 1 мл клеточной суспензии в PBS (200 мкл спермы, 800 мкл PBS) добавляли 20 мкл раствора пропидия йодида (100 мкг/мл, Servicebio, Китай) и инкубировали 30 минут при +37°C. Суспензия клеток спермы наносили мазком на стеклянную пластинку и высушена на воздухе, исследовали с помощью люминесцентного микроскопа Микромед 3 ЛЮМ (Россия). В каждом мазке было оценено 100 сперматозоидов, окрашенные пропидий йодидом считали нежизнеспособными [9,10].

Данные были проанализированы на предмет нормальности с использованием теста Шапиро-Уилка. Результаты исследования представлены в виде медианы, 25-го и 75-го центилей (Me, Q1-Q3). Для оценки различий использовали непараметрические критерии Манна-Уитни, считая различия значимыми при p<0.05.

Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения «StatTech ver. 3.1.1».

Результаты

Установлено, что при смешивании спермы перед охлаждением с разбавителем (ТРИС, глюкоза, мальтоза, лимонная кислота, глицерин, желток куриный, бидистиллированная вода) количество (%, Me, Q1-Q3) прогрессивно подвижных сперматозоидов статистически значимо не изменялось. При этом, дополнительное введение в разбавитель полисахаридов *Hericium erinaceus* BP16 в концентрации 0.25% также не имело эффекта (табл. 1). Таким образом, присутствие полисахаридов в среде не влияет на показатель подвижности.

После отогрева биоматериала через 7 и 28 суток хранения количество прогрессивно подвижных сперматозоидов, замороженных в среде с добавлением полисахаридов, было достоверно выше (табл. 1), что указывает на эффективность применения данной группы веществ в составе разбавителя для замораживания спермы.

Количество сперматозоидов (%) с разным характером движения после смешивания спермы с разбавителем и разбавителем с полисахаридами *H. erinaceus* до замораживания, а также через 7 и 28 суток хранения при -80°C, (Me, Q1-Q3)

Серия	Характер движения		
	Прогрессивные подвижные	Непрогрессивные подвижные	Неподвижные
Сперма	53 (50 – 62)	25 (24 – 40)	16 (14 – 23)
Сперма с разбавителем	52 (50 – 55)	24 (23 – 42)	26 (19 – 27)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>H. erinaceus</i>	53 (49 – 70)	29 (18 – 31)	18 (15 – 34)
Через 7 суток хранения			
Сперма с разбавителем	11 (9 – 19)	14 (11 – 17)	75 (73 – 83)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>H. erinaceus</i>	25 (21 – 29)*	9 (9 – 12)	66 (64 – 74)
Через 28 суток хранения			
Сперма с разбавителем	9 (6 – 13)	9 (8 – 12)	82 (79 – 87)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>H. erinaceus</i>	23 (17 – 28)*	10 (6 – 21)	66 (55 – 79)*

Примечание. * – отличие от показателя сперма с разбавителем в данной серии статистически значимо $p<0.05$.

При оценке показателей кинематики у прогрессивно-подвижных сперматозоидов в присутствии полисахаридов *H. erinaceus* в составе криоконсервирующих сред после их хранения в течение 7 и 28 суток при -80°C выявлено статистически значимое ($p<0.05$) повышение скорости движения сперматозоидов по прямолинейному пути (VSL), скорости движения вдоль криволинейного пути (VCL), показатель же среднего углового смещения (MAD) снижается. Показатели скорости движения сперматозоидов по

среднему пути (VAP) и частота его пересечения (BCF) не изменяются.

При оценке жизнеспособности сперматозоидов после 7 суток хранения при - 80°C с помощью окраски пропидий йодидом достоверных различий между контрольной и опытными группами с полисахаридами не выявлено, однако при хранении в течение 28 суток количество жизнеспособных сперматозоидов в среде с разбавителем в присутствии полисахаридов *H. erinaceus* было достоверно ($p<0.05$) выше.

В результате наших исследований выявлено перспективное применение полисахаридов *H. erinaceus* (Bull.: Fr) в составе криоконсервирующих сред для репродуктивных клеток животных в разных температурных диапазонах: в условиях гипотермии в составе глюкозо-желточно цитратной среды в течение 7 суток [7]; при -5°C в среде с AndroMed® в течение 7 суток [8] и в условиях низких температур, при -80°C, в среде на основе ТРИС в течение 7 и 28 суток хранения.

Список литературы

1. Moradali M. et al.Immunomodulating and anticancer agent in the realm of macromycetes fungi (macrofungi). // International Immunopharmacology. 2007. V. 7. P. 701-724. DOI: 10.1016/j.intimp.2007.01.008

2. Теплякова Т.В., и соавт. Противовирусная активность базидиальных грибов. Проблемы медицинской микологии. 2014. Т.16. №2. С. 15-25

3. Deshmukh S.K., et al. Hericium erinaceus – A Rich Source of Diverse Bioactive Metabolites. Fungal Biotech. 2021. 1(2). P.10–38 Doi 10.5943/FunBiotech/1/2/2

4. Григораш А.И., Лоенко Н.Н., Зайкина М.Ю., Буякова И.В. «Фловарит Э» – перспективы использования как регулятора репродуктивной функции человека/ // Успехи медицинской микологии. 2007; 9. С.154-158

5. Широких И. Г. и соавт.Криозащитные свойства полисахаридсодержащей фракции Hericium erinaceus БП 16. Известия РАН. Серия биологическая. 2020. № 1. С. 5-11

6. Полежаева Т. В. И соавт. Влияние полисахаридов Hericium erinaceus БП 16 на фагоцитарную активность нейтрофилов крови человека. Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2 С.166-171 doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-166-171

7. Соломина О. Н. и соавт. Hericium erinaceus BP16 как источник полисахаридов, стабилизирующих функции сперматозоидов быков при гипотермическом хранении. Теоретическая и прикладная экология. 2021. №3. С.212-218 doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-212-218

8. Polezhaeva T., Khudyakov A., Solomina O. et al. Preservation of bull semen using polysaccharides of Basidiomycetes Hericium erinaceus BP 16Explor Anim Med Res. 2024; 14(1), DOI: 10.52635/eamr/14.1.144-148

9. Ponomarenko E.A., Makarova O.V., Kosyreva A.M. et al. Comparative characteristics of methods for isolating spermatogenic epithelial cells. Clinical and experimental morphology. 2019. No. 3. P. 55-63 (in Russian).

10. Ploskonos M.V. Use of eosin and propidium iodide to assess the viability of human spermatozoa. Clinical laboratory diagnostics. 2014. No. 11. P. 22 – 25 (in Russian).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МАЗИ НА ОСНОВЕ МЕЛАНИНА ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ ЧАГИ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ОЖГОВОЙ РАНЫ

Ставский Е.А.¹, Теплякова Т.В.², Петровская И.Ф.², Стацевич Л.Н.³, Зарубина Ю.Д.¹, Яшина Т.А.¹, Литвинова А.А.¹, Шишкина А.К.¹

¹Новосибирский государственный медицинский университет

²ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор», Новосибирск

³Новосибирский государственный аграрный университет

Актуальность. Ежегодно в России регистрируется около 500 тысяч случаев ожоговой травмы. Из числа пострадавших, госпитализируемых во все лечебные учреждения России, ежегодно погибают 8–10 тысяч человек [1]. В настоящее время для лечения ожогов консервативным способом существует достаточно широкий набор лекарственных средств, в частности, Офломелид, Стелланин, Стелланин-ПЭГ, Декспантенол, Аргосульфам, Димексид концентрат, Димексид гель, Банеоцин мазь, Левосин, Мирамистин мазь, Левомиколь, Пантенолспрей, мазовые повязки Бранолинд Н и др. [2]. При этом из них для лечения глубоких ожогов в основном рекомендованы Офломелид, Стелланин-ПЭГ, Аргосульфам, Мирамистин мазь, мазовые повязки Бранолинд Н [2]. Учитывая инфицирование ожоговых и других ран наряду с обычными бактериями, микрофлорой устойчивой к антибиотикам, большим количеством нежелательных побочных последствий антибиотиков для организма человека и животных, измененной реактивности организма, прежде всего человека [3-5] возникла необходимость поиска перспективных источников получения новых лекарственных препаратов с абиотическими и нетоксичными или малотоксичными свойствами. Работами ряда исследователей показано, что в качестве подобных источников могут выступать высшие грибы базидиомицеты, способные синтезировать широкий комплекс биологически активных веществ, обладающих антибактериальными, антивирусными, противоопухолевыми, противопаразитарными, иммуномодулирующими [6-9], а также регенеративными свойствами [10-11]. К настоящему времени, в частности, разработаны и показана высокая эффективность экспериментальных меланин- и полисахаридсодержащих мазей для местного лечения инфицированных ран [10-11]. В связи с этим можно ожидать, что мази на основе меланина, полученного из природного грибного сырья, могут быть также как перспективными, так и эффективными средствами лечения ожоговых ран.

Цель работы. Целью исследования являлось получение экспериментальной мази на основе меланина из природного сырья гриба чаги *Inonotus obliquus* и проведение оценки на модели ожоговой раны крыс ее ранозаживляющей активности.

Методика исследования. В качестве источника меланина использовали гриб чаги как одного из представителей высших базидиальных грибов. При этом меланин получали из природного сырья чаги *Inonotus obliquus* согласно разработанному методу [12]. Меланиновую мазь получали следующего состава (из расчета на 1,0 г мази): 9,3 мг меланина; 10,0 мг офлоксацина; 30,0 мг лидокаина гидрохлорида (в форме моногидрата); 40 мг метилурацила; вспомогательные вещества - макрогол 1500 и макрогол 400. В качестве контрольной мази сравнения использовали мазь Офломелид, предназначенную для лечения ожогов II-IV степени тяжести [2].

Животным (крысы-самцы популяции Wistar массой 180-220 г.) после удаления волосяного покрова в паравертебральной области спины на уровне ее середины под общим наркозом комплексным анестетиком диссоциативного действия наносили контактный термический ожог медной пластинкой прямоугольной формы (L=4, W=3, S=12 см²) с силой в 1,6 кг, нагретой до 200°C. Время экспозиции пластины составляло 12 секунд. Термический ожог кожи III-A – III-B степени моделировали на 20 крысах-самцах популяции Wistar из расчета по 10 животных в контрольной (группа 1) и опытной (группа 2) группах. На следующий день в условиях асептики хирургическим методом удаляли струп, обрабатывали рану 3% раствором перекиси водорода. Полученная модель была готова к использованию экспериментальной мази для лечения ожоговых ран открытым способом. Экспериментальную (для животных группы 2) и контрольную (для животных группы 1) мази наносили ежедневно на раны металлическим шпателем по 3,0 см³. При этом слой мази должен был превосходить по окружности размеры раны не менее чем на 5,0 мм.

Лечение крыс продолжали до момента заживления у них ожоговых ран. Содержание животных соответствовало «Правилам лабораторной практики» (GLP) и Приказу МЗ РФ № 708Н от 23.08.2010 г. «Об утверждении правил лабораторной практики». Экспериментальную работу осуществляли в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу МЗ СССР № 755 от 12.08.1977 г.), «Правилами, принятыми в Европейской конвенции по защите позвоночных животных», (Страсбург, 1986). Все животные содержались при естественном освещении на стандартном рационе при свободном доступе к корму, воде. Ежедневно у всех животных оценивали площади раневого дефекта по методу Л. Н. Поповой для последующих расчетов процентов уменьшения площади раны (ПУП) [1, 4]. Для оценки токсичности определяли двигательную активность животных, аппетит, изменение массы тела на 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 45 сутки. Все данные обрабатывали статистически с помощью программ Microsoft Excel и Statistica. Достоверность различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента при $p < 0,05$.

Полученные результаты и обсуждение. Из данных, представленных в табл. 1, следует, что динамика показателей прироста массы тела у крыс, как в экспериментальной группе, так и в контрольной группе животных была положительной. При этом значения этих показателей были очень близкими и не различались с достоверностью 95% между группами. Таким образом, экспериментальная мазь на основе меланина из гриба чаги по сравнению с контрольной мазью сравнения Офломелидом оказалась нетоксичной для подопытных животных в процессе всего цикла лечения у них ожоговых ран. Динамика заживления ран в опытной группе животных (табл. 2) по сравнению с контрольной

группой различалась. Визуально у крыс опытной группы № 2, леченных меланинсодержащей мазью, дефекты кожи уже практически исчезли на 36 сутки, раны зарубцевались, на ранах на фоне розовых рубцов регенерировавшей кожи покрытых по ее периферии отрастающей шерстью остались небольшие тонкие сухие корочки или только следы от них. Визуальную картину подтвердили показатели процента уменьшения площади ран (ПУП) для обеих групп. В опытной группе

животных ПУП к 36 суткам составил 96,3%, к 45 суткам- 99%. Укрыс группы № 1 значения ПУП составил 94,1% и только 95% к концу срока наблюдения. Таким образом, экспериментальная мазь продемонстрировала более высокую скорость и эффективность заживления ожоговых ран у подопытных крыс по сравнению с контрольной мазью сравнения.

Таблица 1. Динамика изменения показателей прироста массы тела у крыс в контрольной и опытной группах в процессе лечения.

№ группы	Сроки наблюдения, сутки							Общий прирост массы тела крыс от исходной
	6	12	18	24	30	36	42	
Группа 1 (контрольная)	64,9 ± 52,2	68,1 ± 53,5	46,5 ± 35,5	63,2 ± 42,4	65,2 ± 52,2	68,1 ± 53,5	46,5 ± 35,5	212,3 ± 157,9
	64,9 ± 32,4	68,1 ± 33,2	46,5 ± 22,0	63,2 ± 26,3	65,2 ± 32,4	68,1 ± 33,2	46,5 ± 22,0	212,3 ± 98,0
Группа 2 (опытная)	60,7 ± 38,0	72,6 ± 53,8	29,2 ± 21,9	43,0 ± 38,2	78,0 ± 24,0	42,4 ± 27,3	88,8 ± 14,4	235,9 ± 102,4
	60,7 ± 23,5	72,6 ± 33,3	29,2 ± 13,6	43,0 ± 23,7	78,0 ± 14,8	42,4 ± 16,9	88,8 ± 17,8	235,9 ± 63,3

Примечание: в табл.1 представлены средние показатели прироста массы тела у мышей с их стандартными отклонениями (±); доверительными интервалами для вероятности 95% (±P_{0,05}; знаменатель). – среднее арифметическое; – стандартное отклонение; P_{0,05} – доверительный интервал для вероятности 95%.

Таблица 2. Динамика изменения площади ран у крыс в контрольной и опытной группах в процессе лечения (см²).

№ группы	Сроки наблюдения, сутки							
	6	12	18	24	30	36	42	45
Группа 1	16,1 ± 4,4	8,6 ± 1,7	4,7 ± 1,4	2,6 ± 0,9	1,8 ± 1,2	0,8 ± 0,6	0,8 ± 0,8	0,7 ± 0,5
	16,1 ± 2,7	8,6 ± 1,1	4,7 ± 0,8	2,6 ± 0,6	1,8 ± 0,7	0,8 ± 0,4	0,8 ± 0,6	0,7 ± 0,3
Группа 2	14,8 ± 2,2	8,3 ± 1,7	5,7 ± 1,2	2,5 ± 0,8	1,3 ± 0,6	0,5 ± 0,08	0,3 ± 0,03	0,2 ± 0,02
	14,8 ± 1,3	8,3 ± 1,1	5,7 ± 0,8	2,5 ± 0,5	1,3 ± 0,4	0,5 ± 0,05	0,3 ± 0,02	0,2 ± 0,01

Примечание: в табл. 2 представлены средние показатели динамики площади ран у мышей с их стандартными отклонениями (±); доверительными интервалами для вероятности 95% (±P_{0,05}; знаменатель). – среднее арифметическое; – стандартное отклонение; P_{0,05} – доверительный интервал для вероятности 95%.

Выводы:

1. Установлено, что экспериментальная мазь, содержащая меланин из гриба чаги, не обладает токсичностью для экспериментальных животных.

2. Мазь, содержащая меланин из гриба чаги, обладает лечебными свойствами существенно превосходящими, как по эффективности, так и по скорости заживления ожоговых ран у крыс препарат сравнения Офломелид. При этом меланинсодержащая мазь обеспечивала на 6-9 суток более раннее заживление ран у экспериментальных животных по сравнению с крысами, леченных контрольным препаратом сравнения Офломелид.

Список литературы

1. Терентьева Н. А., Осипова А.С. Ожоги. Ожоговая болезнь . Молодой ученый. — 2024. — № 4 (503). — С. 451-454.

2. Справочник Видаль. Лекарственные препараты в России: Справочник. М.: Видаль Рус, 2019, 1200 с.

3. Григорьян А.Ю., Бежин А.И., Панкрушева Т.А.,и соавт.. Новые способы местного медикаментозного лечения гнойных ран. Исследования и практика в медицине. 2020; 7(2): 56-63.

4. Зотов Д.С., Панкрушева Т.А., Жилиева Л.В. и соавт.. Сравнительная оценка применения иммобилизованной формы гексэтидина, фотодитазина и их комбинации в лечении гнойных ран. Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2021. № 4(80). С. 149–154.

5. Краснолуцкая В.Н., Сесорова Д.В. Современные подходы к лечению гнойных ран. Медицина. 2017. № 5 (2). С. 10–12.

6. Сакович В.В., Жерносеков Д.Д. Базидиомицеты как источники биологически активных веществ. Вестник Полесского государственного университета. -2018.-№1.-с.3-13.

7. Теплякова Т.В., Косогова Т.А. Высшие грибы Западной Сибири – перспективные объекты для биотехнологии лекарственных препаратов. Новосибирск, 2014. – 298 с.

8. Brugnari T. Effects of cooking and In Vitro digestion on antioxidant properties and cytotoxicity of the culinary-medicinal mushroom *Pleurotusostreatus* (agaricomycetes)/T. Brugnari [et al.]. International Journal of Medicinal Mushrooms. – 2018. – Vol. 20, № 3. – С. 259-270.

9. Teplyakova T.V., Ilyicheva T.N., Kosogova T.A. Higher Fungi Against Influenza Viruses. InternationalJournalofMedicinal Mushrooms-2021.-23 (2). -P.1-11

10. Ставский Е.А. и соавт. Оценка лечебных свойств мазей на основе полисахаридов из гриба вешенки/Биофармацевтический журнал- 2023.-Т.15, № 6, С.34-39

11. Ставский Е.А., Теплякова Т.В., Надеев А.П., Ермаченко и соавт. Получение и сравнительная оценка лечебных свойств мазей на основе меланинов из гриба *Inonotusobliquus* / Биофармацевтический журнал. – 2024. Т. 16. № 3. С. 31 – 38.

12. Пат. 2480227 Российская Федерация, МПК А61К 36/06, А61К 31/785, А61Р 31/22, А61Р 31/12, А61Р 31/16, А61Р 31/18. Противовирусное средство на основе меланина / Т.В. Теплякова [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор». – № 2011127305/15; заявл. 01.07.2011; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12. – 11 с.

13. Гончар А.М., Коган А.С., Салганик Р.И. Раневой процесс и иммобилизованные протеолитические ферменты. – Новосибирск, 1986. 115 с.

14. Григорьян А.Ю., Бежин А.И., Панкрушева Т.А., и соавт. Исследования и практика в медицине. 2020. №7(2). С. 56-63.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ШТАММОВ *ALTERNARIA PAPAVERICOLA* С МИКОГЕРБИЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРИ МУЛЬТИБИОКОНВЕРСИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ

Титова Ю.А., Краснобаева И.Л.
ВНИИ защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР), Санкт-Петербург

Разработка микогербицидов и систем контроля растительности, содержащей наркотические вещества – одна из задач первостепенной важности. Потенциальные продуценты микогербицидов – фитопатогенные микромицеты, вызывающие вредоносные заболевания у целевых растений [1–3]. Наиболее значимое растение, из частей которого путем переработки получают наркотики растительного происхождения – *Papaver somniferum* L. [4–6]. На растениях мака снотворного зарегистрировано около 50-и видов микромицетов, из которых возбудитель черной пятнистости *Alternaria papavericola* Woudenb. et Crous (= *Dendryphion penicillatum* (Corda) Fr.) – наиболее вредоносен [7–8]. На основе высокоактивных штаммов *A. papavericola* с начала века разрабатывают микогербициды для контроля *P. somniferum* [9–14]. Активный штамм *Dendryphion penicillatum* (Corda) Fr. 1.39 (= *Alternaria papavericola* Woudenb. et Crous) был запатентован, как обладающий микогербицидной активностью против мака снотворного [12]. Цель настоящей работы – охарактеризовать особенности роста штаммов *Alternaria papavericola* с микогербицидными свойствами при мультибиоконверсии отходов производства съедобных грибов. Для достижения поставленной цели охарактеризовали скорости роста и споропродуктивность штаммов *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 при мультибиоконверсии отходов производства *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler 4080 и *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. НК-35.

В работе использовали депонированные в Государственной коллекции микроорганизмов ФГБНУ ВИЗР (№ 760 WFCC WDCM, China) высокоактивные штаммы *A. papavericola*, предложенные в качестве продуцентов микогербицидов против мака снотворного – запатентованный штамм 1.39 [12], а также полученный путем направленной и последующей поддерживающей селек-

ции на целевую активность и эффективность штамм 1.39-8 [14]. Работу проводили на базе лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР. Материалами исследований были отработанные после снятия плодовых тел шиитаке и вешенки конверсионные промышленные субстраты на основе отходов техногенной сферы и сельского хозяйства (SMSLe, SMSPO, SMSLePo), а также в качестве контролей синтетическая агаризованная среда Чапека (ЧА), и термически обработанное, стерильное зерно пшеницы (WG), используемое для массового разведения [12]. Приготовление субстратов и мелкообъемное лабораторное культивирование в чашках Петри для получения лабораторных образцов биопрепаратов на основе штаммов *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 осуществляли по Titova, 2021 [15]. Стерилизацию субстратных смесей проводили при 133° С в течение 1 ч с охлаждением до 25–28° С для инокуляции чистой культурой штаммов, инкубирование осуществляли при 24–26° С до полного обрастания субстрата [15]. В статистической обработке результатов применили дисперсионный анализ, расчеты интегралов и t-критерия Стьюдента для попарного сравнения вариантов (Microsoft Excel 2010, Statistica 10).

Эффективность мультибиоконверсии перспективными для получения микогербицидов против мака снотворного штаммами *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 отходов монокультур (SMSLe, SMSPO) и последовательной бикультуры шиитаке и вешенки (SMSLePo) в сравнении с контролями представлена на рисунке 1. Анализ данных показал практически константную скорость роста обоих штаммов в контроле после начала конидиогенеза к 3-м сут культивирования на ЧА (Рисунок 1 а, б). А на конвертированных отходах четко прослеживали явление диауксии [16–18]. Скорости роста штаммов

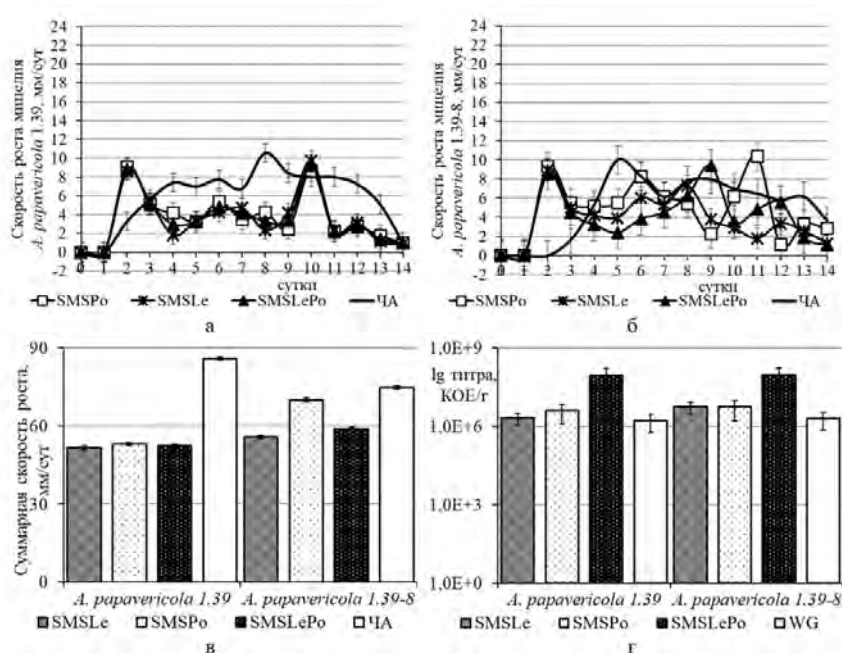


Рисунок 1. Эффективность мультибиоконверсии перспективными для получения микогербицидов против мака снотворного штаммами *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 отходов монокультур (SMSLe, SMSPO) и последовательной бикультуры шиитаке и вешенки (SMSLePo) в сравнении с контролями – агаром Чапека (ЧА) и зерном пшеницы (WG): а – динамика скорости роста штамма 1.39; б – динамика средней скорости роста штамма 1.39-8; в – суммарная (интегральная) скорость роста; г – споропродуктивность штаммов *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8.

A. papavericola 1.39 и *A. papavericola* 1.39-8 в идиофазе на конверсионных субстратах были достоверно ($p < 0.01$)

Сравнение суммарных (интегральных) скоростей роста штаммов 1.39 и 1.39-8 выявило их максимальные значения – 52 и 71 мм/сут соответственно, которые фиксировали при развитии на отходах монокультуры вешенки (SMSPo) и последовательного грибоводства ксилотрофов (SMSLePo). Споропродуктивность исследованных штаммов на конверсионных субстратах была достоверно ($p \leq 0.01$) в 2–200 раз выше, чем в контроле на зерне пшеницы (WG) (Рисунок 1 г). При вторичной биоконверсии отходов монокультур шиитак и вешенки достоверно ($p \leq 0.01$) до 1.5 раз более высокие показатели споропродукции для исследованных штаммов фиксировали при их развитии на SMSPo по сравнению с развитием на SMSLe (Рисунок 1 г). Сравнение технологических показателей развития (скоростей роста и споропродуктивности) штаммов *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 на конверсионных субстратах SMSPo, SMSLe и SMSLePo выявило достоверное ($p \leq 0.10$) в 1.2–1.3 раза и в 1.5–100 раз превышение скоростей роста и споропродуктивности соответственно на SMSLePo по сравнению с SMSPo и SMSLe (Рисунок 1 в, г).

Таким образом, выявлена возможность эффективного использования конвертированных съедобными базидиомицетами промышленных субстратов для культивирования штаммов микромицетов, перспективных для разработки на их основе микогербицидов против мака снотворного – *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8. Высокая эффективность достигалась быстрой и активной колонизацией отходов съедобного грибоводства ксилотрофных базидиомицетов исследованными перспективными штаммами *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 и высокой споропродукцией. Титры запатентованного штамма-продуцента *A. papavericola* 1.39 на 2 порядка (в 200 раз) превышали заявленные в патенте [12] – $\times 108$ КОЕ/г. Фиксировали максимальные титры $\times 108$ КОЕ/г для обоих перспективных штаммов *A. papavericola* 1.39 и 1.39-8 на отходах последовательной бикультуры ксилотрофов (SMSLePo).

Список литературы

1. Feasibility of Using Mycoherbicides for Controlling Illicit Drug Crops. National Research Council (2011) Washington, DC: The National Academies Press. 186 p. DOI: 10.17226/13278
2. Saremi H, Rostami A, Saremi H (2018) *Fusarium oxysporum* a possible agent for biological control of *Papaver somniferum* in the Middle East. *Crop Prot.* 114:187–194. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.08.031
3. Bahlolzada H, Saremi H, Fallahi M, Javan-Nikkhah M (2021) Identification of main pathogenic *Fusarium* species for biological control of poppy plants in Afghanistan. *Mycol. Iran.* 7(1):125–134. DOI: 10.22092/mi.2021.123687

4. Jan Y, Peer LA (2021) *Papaver somniferum*: Phytochemistry, biological activity and toxicology; a review. *Int. J. Botany Stud.* 6(4):753–757.
5. Rhizlan A, Soumia B, Bnouham M, Bussmann RW, Mostafa E (2024) *Papaver decaisnei* Hochst. & Steud. ex Elkan; *Papaver dubium* L.; *Papaver nudicaule* L.; *Papaver rhoeas* L.; *Papaver somniferum* L.: *Papaveraceae*. In: *Ethnobotany of Northern Africa and Levant*. DOI: 10.1007/978-3-031-43105-0_158
6. Azeroual A, Chaachouay N, Benkhniqne O, Qureshi R, Bencharki B, Temmante K, Baidani A (2025) *Opium Poppy (Papaver somniferum L. Papaveraceae)*. In: *Comprehensive Guide to Hallucinogenic Plants*. DOI: 10.1201/9781003460336-38
7. Alam M, Samad A, Khaliq A, Ajayakumar PV, Dhawan OP, Singh HN (2014) Disease incidence and its management on opium poppy: a global perspective. *Acta Hort.* 1036:123–139. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1036.14
8. Havel J (2018) The specific abiotic and biotic damage of poppy (*Papaver somniferum*) – a review. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rosl.* 284:75–94. DOI: 10.37317/biul-2018-0007
9. Bailey BA, Apel-Birkhold PC, O'Neill NR, Plaskowitz J, Alavi S, Jennings JC, Anderson JD (2000) Evaluation of infection processes and resulting disease caused by *Dendryphion penicillatum* and *Pleospora papaveracea* on *Papaver somniferum*. *Phytopathology* 90(7):699–709. DOI: 10.1094/PHYTO.2000.90.7.699
10. Bailey BA, Hebbbar KP, Lumsden RD, O'Neill NR, Lewis JA (2004) Production of *Pleospora papaveracea* biomass in liquid culture and its infectivity on opium poppy (*Papaver somniferum*). *Weed Sci.* 52(1):91–97. DOI: 10.1614/WS-03-020R
11. Glukhova LA, Abdulkarimov AA (2007) Killer-strain of *Pleospora papaveracea* (De Not.) Sacc. – biological control agent of illegal crops *Papaver somniferum* L. *Proc. 15 Congr. Europ. Mycol.* St.-Petersburg, Russia. September 16–21, 2007, 248.
12. Гасич ЕЛ, Хлопунова ЛБ, Бильдер ИВ (2010) Штамм гриба *Dendryphion penicillatum* (Corda) Fr. 1.39, обладающий микогербицидной активностью против мака снотворного. Патент РФ № 237774, зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 10.01.2010, 10 с.
13. Inderbitzin P, Shoemaker RA, O'Neill NR, Turgeon GB, Berbee ML (2011) Systematics and mating systems of two fungal pathogens of opium poppy: The heterothallic *Crivellia papaveracea* with a *Brachycladium penicillatum* asexual state and a homothallic species with a *Brachycladium papaveris* asexual state. *Canad. J. Bot.* 84(8):1304–1326. DOI: 10.1139/b06-067
14. Краснобаева ИЛ (2014) Биологическое обоснование возможности использования штаммов фитопатогенного гриба *Brachycladium papaveris* для подавления растений мака. Дисс... канд. биол. наук. СПб. 213 с.
15. Titova JA (2021) Spent Mushroom Substrates Valorization via Brand New Multirecycled Polyfunctional Biologics Producing on Them. *Waste Biomass Valor.* 13(6):1089–1100. DOI: 10.1007/s12649-021-01552-5
16. Крыницкая АЮ, Глазырина ЮВ, Гамаюрова ВС (2003) Влияние соотношений углеводных фракций питательной среды на физиологическую активность микроорганизмов рода *Bacillus*. Структура и динамика молекулярных систем 10(2):267–270.
17. Boulineau S, Tostevin F, Kiviet DJ, ten Wolde PR, Nghe P, Tans SJ (2013) Single-Cell Dynamics Reveals Sustained Growth during Diauxic Shifts. *PLoS ONE* 8(4):e61686. DOI: 10.1371/journal.pone.0061686
18. Канина К.А., Жижин Н.А., Горлова А.И. (2022) Влияние углеводного состава на технологию производства низколактозного йогурта. *Молочная промышленность* 12:24–26.

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ МИКОГЕРБИЦИДОВ НА ОСНОВЕ ШТАММОВ *SCLEROTINIA SCLEROTIORUM* ПУТЕМ МУЛЬТИБИОКОНВЕРСИИ ОТХОДОВ ГРИБОВОДСТВА

Титова Ю.А.

ВНИИ защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР), Санкт-Петербург

Фитопатогенные микромицеты, обуславливающие системность поражения, неразвитость и инфицирования корневой системы, вегетативных и репродуктивных органов растения давно и успешно используются в разработке микогербицидов для контроля нежелательных и наркотикосодержащих растений [1–3]. Одно из наиболее значимых наркотических растений – конопля посевная (*Cannabis sativa* L.) [4–5]. На конопле зарегистрировано более 90 возбудителей болезней, наиболее вредоносны среди них виды *Fusarium*, *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Colletotrichum*, *Cladosporium*, вызывающие системное поражение [6–7]. В качестве агента биоконтроля растений конопли оценено влияние *Sclerotinia sclerotiorum* (Lip.) De Bary – широко специализированного фитопатогена, вызывающего стеблевые гнили, и имеющего весьма широкое географическое распростра-

стрировано более 90 возбудителей болезней, наиболее вредоносны среди них виды *Fusarium*, *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Colletotrichum*, *Cladosporium*, вызывающие системное поражение [6–7]. В качестве агента биоконтроля растений конопли оценено влияние *Sclerotinia sclerotiorum* (Lip.) De Bary – широко специализированного фитопатогена, вызывающего стеблевые гнили, и имеющего весьма широкое географическое распростра-

нение [8–10]. Активные штаммы *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 вызвали увядание верхушки растения конопли и загнивание нижней части стебля [8]. Цель настоящей работы – охарактеризовать особенности развития перспективных для получения микогербицидов штаммов *Sclerotinia sclerotiorum* при мультибиоконверсии отходов съедобного грибоводства ксилотрофов. Для достижения поставленной цели охарактеризовали скорости роста и продуктивность штаммов *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 при мультибиоконверсии отходов производства *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler 4080 (шиитаке) и *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. HK-35 (вешенки).

В работе использовали депонированные в Государственной коллекции микроорганизмов ФГБНУ ВИЗР (№ 760 WFCM WDCM, China) штаммы *S. sclerotiorum* с микогербицидной активностью против *Cannabis sativa* L. (конопли посевной) [8]. Работу проводили на базе лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР. В качестве материалов исследований использовали отработанные в съедобном грибоводстве шиитаке и вешенки конверсионные промышленные субстраты на основе отходов техногенной сферы и сельского хозяйства (SMSLe, SMSPo, SMSLePo), контролем служило термически обработанное, стерильное зерно пшеницы (WG), используемое для получения лабораторных образцов микогербицидов. Подготовку субстратов для мелкообъемного твердофазного культивирования с получением экспериментальных образцов биопрепаратов на основе штаммов *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 осуществляли по разработанным методикам [11]. Стерилизовали субстратные смеси при 133° С в течение 1 ч с охлаждением до 25–28° С для инокуляции чистой культурой исследуемых штаммов, инкубировали при 24–26° С до полного обрастания субстрата [11]. В статистической обработке результатов применили дисперсионный анализ и t-критерий Стьюдента для попарного сравнения вариантов (Microsoft Excel 2010, Statistica 10).

Оценивали эффективность мультибиоконверсии перспективными для получения микогербицидов против конопли посевной штаммами *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 отходов монокультур (SMSLe, SMSPo) и последо-

вательной бикультуры шиитаке и вешенки (SMSLePo) в сравнении с контролем по технологическим показателям развития – средним скоростям роста (мм/сут) и продуктивности (КОЕ/г) (Рисунок 1). Анализ данных показал отсутствие достоверных различий между двумя исследованными штаммами при их развитии в опытных и контрольных вариантах (Рисунок 1 а–г). Медленнее всего оба штамма развивались на отходах монокультуры шиитаке (SMSLe) (Рисунок 1 а). Наиболее предпочтительными были для развития *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 отработанные после снятия базидиом вешенки субстраты (SMSPo) (Рисунок 1 б). Максимальные скорости роста обоих штаммов фиксировали на отходах последовательной бикультуры шиитаке и вешенки (SMSLePo) (Рисунок 1 в). При этом продуктивность штаммов *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 была минимальной, близкой к полученной при развитии на SMSLe (Рисунок 1 а, в). Микромицеты колонизировали SMSLe и SMSLePo тонким паутинистым мицелием, в течение 3-х сут переходя к волнообразному формированию мелких склероциев на поверхности и в толще субстрата.

Таким образом, выявлена возможность эффективной мультибиоконверсии отработанных в съедобном грибоводстве ксилотрофов промышленных субстратов для культивирования штаммов *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6, перспективных для разработки на их основе микогербицидов против конопли посевной. Высокая эффективность достигалась быстрой и активной колонизацией отходов съедобного грибоводства ксилотрофных базидиомицетов исследованными перспективными штаммами *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 и высокой продуктивностью. Максимальные титры – $\times 10^7$ КОЕ/г – фиксировали при развитии обоих штаммов на SMSPo, а максимальные скорости роста 5.9 и 6.1 мм/сут для *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 соответственно, достоверно ($p < 0.05$) в 1.5 раза превышающие таковые на промышленных отходах (SMSLe, SMSPo) и в контроле, отмечали при мультибиоконверсии отходов последовательной бикультуры ксилотрофов – шиитаке и вешенки (SMSLePo).

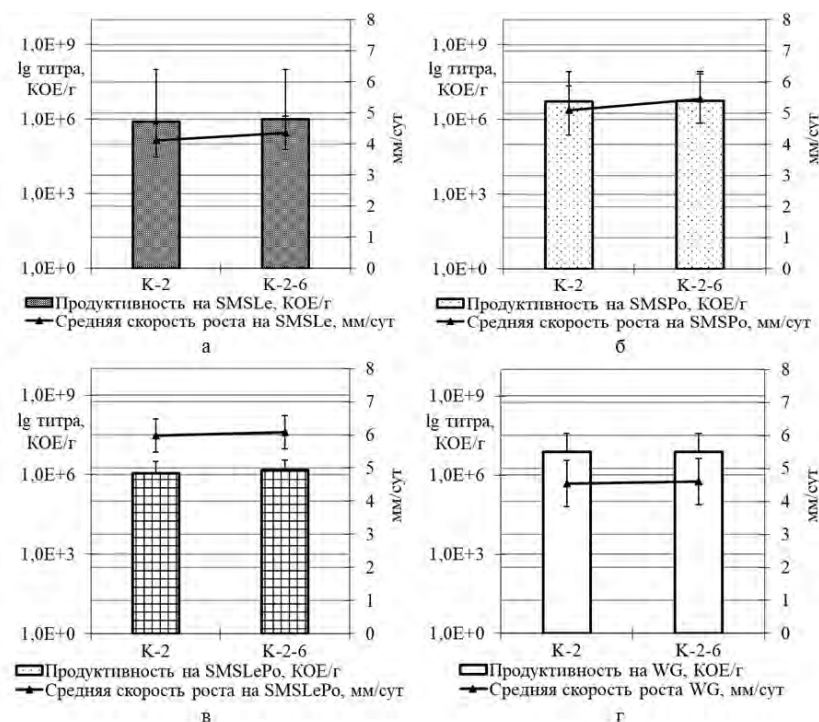


Рисунок 1. Технологические показатели (средняя скорость роста и продуктивность) мультибиоконверсии при полупромышленном культивировании перспективных для получения микогербицидов против конопли посевной штаммов *S. sclerotiorum* K-2 и K-2-6 в сравнении с контролем – зерном пшеницы (WG): а – на SMSLe; б – на SMSPo; в – на SMSLePo; г – на WG.

Список литературы

1. Hasan M, Ahmad-Hamdani MS, Rosli AM, Hamdan H. (2021) Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. *Plants* 10(6):1212. DOI: 10.3390/plants10061212
2. Helmenstine AM (2024) List of Medicines Made from Plants. ThoughtCo. [thoughtco.com/drugs-and-medicine-made-from-plants-608413](https://www.thoughtco.com/drugs-and-medicine-made-from-plants-608413).
3. Islam AKMM, Karim SMR, Kheya SA, Yeasmin S (2024) Unlocking the potential of bioherbicides for sustainable and environment friendly weed management. *Heliyon* 10:e36088. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e36088
4. Handbook of Cannabis and Related Pathologies: Biology, Pharmacology, Diagnosis, and Treatment (2017) Preedy VR (ed), 1143 p. DOI: 10.1016/C2013-0-18721-1
5. Lustenberger S, Boczkaj G, Castro-Muñoz R (2022) Cannabinoids: Challenges, opportunities and current techniques towards its extraction and purification for edibles. *Food Biosci.* 49:101835. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101835
6. Punja ZK (2021) Emerging diseases of Cannabis sativa and sustainable management. *Pest Manag. Sci.* 77(9):3857–3870. DOI: 10.1002/ps.6307

7. Buirs L, Punja ZK (2024) Integrated Management of Pathogens and Microbes in Cannabis sativa L. (Cannabis) under Greenhouse Conditions. *Plants* 13(6):786. DOI: 10.3390/plants13060786
8. Шипилова НП, Дмитриев АП (2011) Биологические особенности гриба *Sclerotinia sclerotiorum*, выделенного из конопли. *Вестник защиты растений* 1:20–26.
9. Punja ZK, Ni L (2021) The bud rot pathogens infecting cannabis (*Cannabis sativa* L., marijuana) inflorescences: symptomatology, species identification, pathogenicity and biological control. *Can. J. Plant Pathol.* 43(6):827–854. DOI: 10.1080/07060661.2021.1936650
10. Yang X, Justice A, Colburn C (2023) First report of *Sclerotinia sclerotiorum* causing stem canker on industrial hemp in South Carolina, USA. *Plant Dis.* 4. DOI: 10.1094/PDIS-04-23-0700-PDN
11. Titova JA (2021) Spent Mushroom Substrates Valorization via Brand New Multirecycled Polyfunctional Biologics Producing on Them. *Waste Biomass Valor.* 13(6):1089–1100. DOI: 10.1007/s12649-021-01552-5

ДУБ ЧЕРЕШЧАТЫЙ И АССОЦИИРОВАННЫЕ С НИМ ГРИБЫ КАК ЗНАЧИМЫЙ РЕСУРС ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ

Змитрович И.В.¹, Белова Н.В.¹, Шишлянникова А.Б.²

¹Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) – широко распространенная в умеренной зоне европейской России древесная порода. Древостои дуба черешчатого характеризуются высоким запасом [1]. Эта порода представляет определенный ресурсный потенциал, при этом может рассматриваться как значимый ресурс лекарственного сырья. В российской фармакопее издавна используется кора дуба черешчатого (препарат имеет название *Quercus cortex*), обладающая вяжущим и ранозаживляющим действием. В коре дуба содержатся дубильные вещества, свободная галловая и эллаговая кислоты, катехины, флавоноиды, тритерпеноиды, ситостерин, пантотеновая и аскорбиновая кислоты. В желудях в заметном количестве содержится флавоноид кверцетин [2]. Менее изучены в качестве перспективного лекарственного сырья грибы, приспособившиеся к развитию на коре и древесине дуба черешчатого. В подавляющем большинстве это ксилосапротрофы, иногда с остаточной некротрофной активностью, обладающие ферментативным аппаратом, настроенным на окисление лигно-целлюлозных комплексов. В качестве перспективного грибного лекарственного сырья рассматриваются вторичные метаболиты, образующиеся по шикиматному (терфенилхиноны, бензохиноны), поликетидному (терпеноиды, включая каротиноиды) или комбинированному (стирилпироны) пути [3]. Эти метаболиты, будучи комплементарными по своей структуре связывающим центрам ядерных и мембранных рецепторов и молекул интермедиатов сигнальных путей обладают выраженной антиоксидантной, радикал-поглощающей, проапоптотической, иммуномодулирующей, противовирусной и антибактериальной активностью [4].

Специфически «дубовые» вторичные метаболиты грибы-ксилосапротрофы не образуют, более того, кверцетин обладает выраженной антифунгальной активностью; они представляют ценность в качестве агентов переработки дубовой древесины и коры. Виды грибов-ксилотрофов, приуроченные в умеренной зоне к *Q. robur*, обнаруживаются также на ксерофильных средиземноморских дубах, что свидетельствует о том, что эти грибы связаны с родом *Quercus* с третичного времени,

когда он был более диверсифицирован и широко распространен в Голарктике [5, 6].

Далее перечисляются виды ассоциированных с *Q. robur* грибов, изученные в фармакологическом отношении.

Colpoma quercinum (Pers.) Wallr (*Ascomycota*). – Сапротрофный с остаточной некротрофной активностью вид поражает отмирающие терминальные побеги дуба, развивая на отмерших ветвях многочисленные продолговатые апотеции, отслаивающие кору; вызывает коррозионную гниль. Погруженные культуры этого гриба продуцируют кольпосетины А–С, кольпоменовые кислоты А и В, пенициллид и монодиктифенон. Колпосетин В проявляет выраженную антимикробную (*Bacillus subtilis*) и антифунгальную (*Mucor hiemalis*) активность [7].

Fomitiporia robusta (P. Karst.) Fiasson et Niemelä (этот и последующие виды – *Basidiomycota*). – Широко распространенный в дубравах естественного происхождения сапротроф белой гнили колонизирует преимущественно заболонь и крупные скелетные ветви дубов, приводя растения к гибели. В культуральной жидкости и экстрактах плодовых тел и мицелия этого гриба обнаружены гиспидин, гифоломин В, 3,14'-бихиспидинил, меланины, триптамин, L-триптофан и фенольные кислоты [8]. Показано, что этанольные экстракты этого гриба обладают антибактериальными, антиоксидантными, цитотоксическими, генопротективными, иммуностимулирующим и противовоспалительным действием [9–12].

Hymenochaete rubiginosa (Dicks.) Lév. – Этот сапротроф белой гнили развивается преимущественно на пнях и дубовом валеже. В культуральной жидкости и экстрактах этого гриба были обнаружены гиспидин, протокатеховая кислота, фумаровая кислота, галловая кислота, кофейная кислота, ванилин, п-кумаровая кислота, розмариновая кислота [8]. Показано, что экстракты *H. rubiginosa* обладают антиоксидантной, антихолинэстеразной, антибактериальной, антифунгальной активностью [9, 13, 14].

Inocutis dryophila (Berk.) Fiasson et Niemelä. – В этанольных экстрактах базидиом этого вида, приурочен-

ного к стволам живых деревьев (белая гниль), обнаружены гиспидин, гифоломин В [9]. В культуральной жидкости обнаружены эндомеланины, при этом меланин IDM-2 проявляет высокую радикал-поглощающую активность [15].

Daedalea quercina (L.) Pers. – Этот сапротроф бурой гнили часто колонизирует живые деревья дуба, хотя способен развиваться на пнях и валеже. Этилацетатный экстракт *D. quercina* содержал эргостерол, 5-дигидроэргостерол (эргоста-7,22-диен-38-ол) и пероксид эргостерола (5,8-эпидиоксиэргоста-6, 22-диен-38-ол) [16]. В питании человека эргостерол представляет собой провитаминную форму витамина D2. В результате фракционирования экстракта мицелиальной культуры *D. quercina* было выделено новое вещество, названное кверцинол – (2S)-2-гидроксиметил-2-метил-6-гидроксихромен. Гидрохинон проявляет противовоспалительную и антиоксидантную активность (ингибитор циклооксигеназы 2, ксантинооксидазы и пероксидазы хрена) [17].

Grifola frondosa (Dicks.) Gray – Этот сапротроф белой гнили, колонизирующий пространство близ комля и корневых лап дуба (нередко вблизи мест разгрузки ядровой бурой гнили, вызванной *Laetiporus sulphureus*), известный как Меитаке, издавна используется в качестве лекарственного сырья. Базидиомы *Grifola frondosa* богаты 1-6-β- и 1-3-β-D-глюканами, гликопротеинами, белками и низкомолекулярными соединениями (эргостерол, тритерпеноиды, свободные аминокислоты), обладающими противоопухолевым, иммуностимулирующим, антиангиогенным, антидиабетическим, антиоксидантным, антибактериальными и противовирусным действием, влияющими на липидный обмен [18].

Laetiporus sulphureus (Bull.) Murrill. – Этот сапротроф бурой гнили, колонизирующий ядровую древесину дуба, образует массивные сростки съедобных плодовых тел. Хорошо изучены этанольные экстракты *L. sulphureus*, богатые 1-6-β- и 1-3-β-D-глюканами, ламинараном, фукоманногалактаном, тритерпеноидами, органическими кислотами, бензофуранами, флавоноидами, кумаринами и азотсодержащими соединениями. Из метанольного экстракта плодовых тел были выделены довольно редкие соединения, такие как 6-((2E, 6E)-3, 7-диметилдека-2, 6-диенил)-7-гидрокси-5-метокси-4-метилфтанлан-1-он, N-фенетилгексадеканамид [19]. Многочисленные исследования показали, что этанольные экстракты, полученные из этого гриба, обладают антиоксидантными, антибактериальными и противоопухолевыми свойствами, регулируют обмен веществ и процессы пищеварения человека. Водные экстракты также обладают способностью консервировать пищу, проявляя антибактериальную активность широкого спектра [20].

Pseudoinonotus dryadeus (Pers.) T. Wagner et M. Fisch. – Из плодовых тел этого сапротрофа, колонизирующего ядровую древесину живых деревьев дуба и вызывающего белую гниль, была экстрагирована сложная смесь свободных жирных кислот, церевистерол, сфингозин и сложная смесь диацилглицерофосфолипидов. Показана высокая антиоксидантная и радикал-поглощающая активность этанольного экстракта этого гриба [21]. Известны также его антибактериальные и кожезащитные свойства [22, 23].

Stereum gausapatum (Fr.) Fr. – Из грибов рода *Stereum* наиболее изучен *S. hirsutum* (Willd.) Gray, поражающий заболонь многих лиственных пород, в том числе и дуба, и вызывающий белую гниль. Особый интерес представляют выделенные из этого гриба гирсутано-

вые сесквитерпеноиды: гирсутенолы А–Е, гирсутовые кислоты С–Е, N, стергирсутины А–L. Гирсутенолы А–С показали умеренную активность против *Escherichia coli*. Гирсутенолы D–F имеют выраженную активность в поглощении супероксид-анионов. Гирсутиновые кислоты С и D проявили цитотоксичность в отношении раковых клеток линий K562 и НСТ116. Стергирсутины А–L проявляли слабую цитотоксичность в отношении этих же клеточных линий. Стергирсутины J и K демонстрируют выраженную индуцирующую аутофагию активность [24]. Специализированный к *Quercus* вид *S. gausapatum* пока что почти не изучен. Из него было выделено три новых соединения – стробилол N, стробилол O, стробилол P, а также стробилол E и стереумин D. Стробилол N проявил выраженную активность против нематоды *Caenorhabditis elegans* [25].

Xylobolus frustulatus (Pers.) P. Karst. – Из культур этого гриба, вызывающего активную ямчатую коррозионную гниль дубового валежа, были выделены гидрохиноны фрустулозин и фрустулозинол, обладающие антимикробной активностью и выраженной фитотоксичностью [26–29].

С дубом черешчатым в северо-западной части российского участка его ареала связано не менее 178 видов ксилосапротрофных грибов (с учетом южного и восточного участков ареала этой породы число ассоциированных с дубом черешчатым ксилосапротрофов может превышать, по нашим оценкам, две сотни видов), из них не менее 10% проявляют выраженную специализацию к деревьям рода *Quercus* [30], при этом изучено в биохимическом и биомедицинском отношении менее 50% специализированных на дубах видов ксилосапротрофных грибов. Из плохо изученных в биохимическом и биомедицинском отношении специализированных «дубовых» видов особенный интерес представляют базидиомицеты *Hapalopilus croceus* (Pers.) Donk, *Peniophora quercina* (Pers.) Cooke и аскомицет *Diatrypella quercina* (Pers.) Cooke, характеризующиеся выраженной физиологической активностью и активной наработкой биомассы в условиях культивирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану БИН РАН 2024–2028 гг. “Таксономическое, экологическое и структурно-функциональное разнообразие грибов и грибообразных противистов” (№ 124013100829-3).

Список литературы

1. Шишлянникова А.Б. Ксилосапротрофный микомплекс дуба черешчатого в зоне ценооптимума и на северной границе ареала. Дисс. ... канд. биол. наук. СПб: СПбГУ, 2024. 344 с.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. Дуба Кора *Quercus cortex*. Приказ Минздрава России от 20.07.2023 № 377.
3. Velíšek J., Cejpek K. Pigments of higher fungi – a review. Czech. J. Food Sci. 2011. V. 29. P. 87–102.
4. Zmitrovich I.V., Bondartseva M.A., Arefyev S.P. et al. Professor Solomon P. Wasser and Medicinal Mushroom Science with a special attention to the problems of mycotherapy in oncology. Int. J. Med. Mushrooms. 2022. V. 24(1). P. 13–26. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2021041831>
5. Змитрович И. В. Предисловие редактора к кн.: Малышева В. Ф., Малышева Е. Ф. Высшие базидиомицеты лесных и луговых экосистем Жигулей. М.–СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. С. 1–3.
6. Tura D., Zmitrovich I.V., Wasser S.P. et al. Biodiversity of Heterobasidiomycetes and non-gilled Hymenomycetes (former Aphyllophorales) of Israel. Ruggell: A.R.A. Gantner Verlag K.-G., 2011. 566 p.
7. Primahana G., Narmani A., Surup F. et al. Five tetramic acid derivatives isolated from the Iranian fungus *Colpoma quercinum*

CCTU A372. Biomolecules. 2021. V. 11. P. 783. <https://doi.org/10.3390/biom11060783>

8. Ghobad-Nejhad M., Zhou L.W., Tomšovský M. et al. Unlocking nature's pharmacy: diversity of medicinal properties and mycochemicals in the family Hymenochaetaceae (Agaricomycetes, Basidiomycota). *Mycosphere*. 2024. V. 15(1). 6347–6438. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/15/1/27>

9. Fiasson J.L. Distribution of styrylpyrones in the basidiocarps of various Hymenochaetaceae. *Biochem. Syst. Ecol.* 1982. V. 10(4). P. 289–296.

10. Kovács B., Zomborszki Z.P., Orban-Gyapai O. et al. Investigation of antimicrobial, antioxidant, and xanthine oxidase inhibitory activities of *Phellinus* (Agaricomycetes) mushroom species native to central Europe. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2017. V. 19(5). P. 387–394.

11. Wu F., Zhou L.W., Yang Z.L. et al. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Div.* 2019. V. 98(1). P. 1–76.

12. Badalyan S.M., Gharibyan N.G. Pharmacological properties and resource value of hymenochaetoid Fungi (Agaricomycetes) distributed in Armenia. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2020. V. 22(12). P. 1135–1146.

13. Çayan F., Tel-Çayan G., Devci E. et al. A comprehensive study on phenolic compounds and bioactive properties of five mushroom species via chemometric approach. *J. Food Processing Preserv.* 2021. V. 45(9). e15695.

14. İnci Ş., Sevindik M., Kirbağ S. et al. Antioxidant, antibacterial, and antifungal activity of *Hymenochaete rubiginosa*. *Indian J. Nat. Products Resources*. 2022. V. 13(1). P. 67–71.

15. Горноста́й Т.Г. Физико-химическая характеристика меланинов культуральной среды *Inocutis dryophila* (Berk) Flisson et Niemela. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2024. Т. 14(3). С. 416–420. <https://doi.org/10.21285/achb.930>

16. Tanahashi Y., Takahashi T. Sterol constituents of *Daedalea quercina* L. (Fr.). *Bull. Chem. Soc. Japan*. 1966. V. 39(4). P. 848–849.

17. Gebhardt P., Dornberger K., Gollmick F.A. et al. Quercinol, an anti-inflammatory chromene from the wood-rotting fungus *Daedalea quercina* (Oak Mazegill). *Bioorganic Med. Chemistry Letts*. 2007. V. 17(9). P. 2558–2560. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2007.02.008>

18. Boh B., Berović M. *Grifola frondosa* (Dicks.: Fr.) S.F. Gray (Maitake mushroom): medicinal properties, active compounds, and biotechnological cultivation. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2007. V. 9(2). P. 89–108. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v9.i2.10>

19. Khatua S., Ghosh S., Acharya K. *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr. as food as Medicine. *Pharmacog J.* 2017. V. 9(6). S1–S15.

20. Adamska I. The possibility of using sulphur shelf fungus (*Laetiporus sulphureus*) in the food industry and in medicine – a review. *Foods*. 2023. V. 12(7). e1539. <https://doi.org/10.3390/foods12071539>

21. Cateni F., Zacchigna M., Altieri T. et al. Antioxidant properties of oak bracket mushroom, *Pseudoinonotus dryadeus* (Higher Basidiomycetes): a mycochemical study. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2015. V. 17(7). P. 627–637. <https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.v17.i7.30>

22. Harms M., Lindequist U., Wende K. Biological activity of different *Inonotus* species on human keratinocytes. *Planta Medica*. 2014. V. 80, P1N34.

23. Zeb M., Lee C.H. – Medicinal properties and bioactive compounds from wild mushrooms native to North America. *Molecules*. 2021. V. 26(2). P. 251.

24. Tian M., Zhao P., Li G. et al. In depth natural product discovery from the basidiomycetes *Stereum* species. *Microorganisms*. 2020. V. 8. e1049. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071049>

25. Huang J.R., Yang B.J., Mo M.H. et al. Secondary metabolites from the fungus *Stereum gausapatum* ATCC60954. *Phytochem. Lett.* 2020. V. 35. P. 171–174.

26. Nair M., Anchel M. An antibacterial quinone hydroquinone pair from the ascomycete, *Nectria coryli*. *Tetrahedron Lett.* 1972. V. 9. P. 795–796.

27. Nair M., Anchel M. Frustulosinol, an antibiotic metabolite of *Stereum frustulosum*: revised structure of frustulosin. *Phytochemistry*. 1977. V. 16. P. 390–392.

28. Goddard M.L., Tabacchi R. Total synthesis of bioactive frustulosin and frustulosinol. *Tetrahedron Lett.* 2006. V. 47. V. 909–911.

29. Yurchenko E., Krasowska M., Kowczyk-Sadowy M. et al. Investigation of the possible antibacterial effects of corticioid fungi against different bacterial species. *Int. J. Mol. Sci.* 2025. V. 26. e3292. <https://doi.org/10.3390/ijms26073292>

30. Zmitrovich I.V., Shishlyannikova A.B. Xylosaprotrophic fungi associated with *Quercus robur* within the northeastern part of its range (central and northwestern regions of Russia). *Biol. Bull. Reviews*. 2025. V. 15(4). (in press).

ДРОЖЖИ: ВКЛАД В РЕШЕНИЕ ОБЩИХ ПРОБЛЕМ БИОЭНЕРГЕТИКИ

Звягильская Р.А.

ФИЦ Фундаментальные основы биотехнологии РАН, Москва

Дрожжи, низшие эукариоты, всегда привлекали внимание биоэнергетиков как мельчайшие и простейшие эукариотические организмы, сочетающие высокоэффективный митохондриальный тип запасаания энергии с относительной легкостью изменения генетического и физиологического статуса клеток, а в последнее время – наличием доступных коллекций мутантов и высокопроизводительных технологий скрининга, недоступных пока для высших эукариот [1]. Разработка методов выделения физиологически интактных дрожжевых митохондрий способствовали тому, что по степени изученности дрожжевые митохондрии стали вполне сопоставимы с митохондриями высших организмов [2]. На гигантских клетках дрожжей *Endomyces* (*Dipodascus*) *magnusii* (это отражено в названии), из которых впервые были выделены полноценные митохондрии, были выявлены и особенности энергизации дрожжевых организмов: преимущественная энергизация за счет быстрого прямого окисления экзогенного (цитоплазматического) NADH или других субстратов, образующихся в цитоплазме [2]. Некоторые из закономерностей найденных при анализе и других дрожжей, могут быть общими для грибов, а именно зависимость структуры дыхательной цепи от фазы роста и используемого субстрата, и наоборот – зависимость внутриклеточного распределения метаболических путей от структуры дыхательной цепи [3], экономизация энергетического обмена

клеток при одно- и многофакторном лимитировании роста клеток, сопровождающаяся переходом на образование и преимущественную утилизацию альфа-кетоглутарата с включением не только окислительного, но и субстратного фосфорилирования [4].

Разработанные нами методы анализа энергетического обмена были использованы для выявления особенностей энергетического обмена микроорганизмов, важных с точки зрения биотехнологии: дрожжей *Candida utilis* [4] и *C. krusei* [5] – продуцентов кормового белка; *Lipomyces kononenkoae* [6] – продуцента полисахаридов и амилаз; *Pichia guilliermondii* [7] – продуцента блково-витаминных концентратов; гриба *Fusidium coccineum* [8] – продуцента антибиотика фузидина.

Уникальная способность штамма дрожжей *Yarrowia lipolytica*, выделенного нами из эпифитной микрофлоры листьев пустынных растений, способного расти в широком диапазоне pH, (3,5–9,7) [9], сделала его исключительной моделью для изучения N⁺-биоэнергетики эукариот, в частности регулируемого высокоэффективного Na⁺-зависимого транспорта неорганического фосфата. Появилась возможность исследовать кинетические параметры обеих H⁺- и Na⁺-зависимых систем транспорта, их регуляцию, относительный вклад при росте клеток при различных значениях pH. Изучение этого и других штаммов дрожжей-экстремофилов позволило выявить те пороговые значения температуры,

pH, концентрации соли, при которых еще функционирует система окислительного фосфорилирования эукариот [10, 11].

Y. lipolytica, облигатный аэроб, содержит в составе дыхательной цепи комплекс I

(NADH: убинон-оксидоредуктаза), генерирующий большую часть протон-движущей силы, обеспечивающей синтез АТФ. Он очень сходен с комплексом I животных, но, в отличие от последнего, дрожжевой комплекс, потерявший активность после выделения и очистки, может быть полностью реактивирован добавлением фосфатидилхолина, оставаясь стабильным. Это сыграло исключительную роль в понимании функционирования всего комплекса и индивидуальных субъединиц и в наследуемых митохондриальных болезнях [12].

Митохондрии *Y. lipolytica*, как и большинства грибов, включая дрожжи, наряду с основной дыхательной цепью содержат так называемую альтернативную оксидазу (убинол-оксидаза) (АО) [1], 36 кДа-белок, локализованный во внутренней митохондриальной мембране и переносящий восстановительные эквиваленты от восстановленного убинона (убинола) непосредственно на кислород с образованием воды, при этом транспорт не сопряжен с запасанием энергии. Полагают, что наличие АО увеличивает пластичность клеток, которая особенно полезна при действии биотических и абиотических факторов, ограничивающих активность основной цитохромной цепи переноса электронов. Активность АО увеличивается при переходе культуры в стационарную фазу роста и зависит от используемого субстрата. До наших исследований структура АО была известна только для растений. Используя биоинформативные подходы, нам удалось впервые получить 3D-модель структуры АО *Y. lipolytica* [13]), которая скорее всего будет справедлива для всех грибов.

Гигантские клетки дрожжей *D. magnusii* оказались идеальной моделью для визуализации митохондрий в индивидуальной клетке и прослеживания изменений митохондриального ретикула (митохондриальной сети) под действием окислительного стресса и других факторов. Было протестировано несколько вновь синтезированных в лаборатории биоэнергетики НИИ им. А.Н. Белозерского митохондриально-направленных антиоксидантов и показано, что наиболее эффективные из них были способны не только предотвращать фрагментацию митохондрий, но и обращать ее [14]. Это было важное наблюдение, так как полагают, что именно фрагментация митохондрий является одним из наиболее ранних проявлений многих патологий. Используя эти уникальные дрожжи и комбинацию специфических флуоресцентных красителей, проточной цитометрии и time-lapse флуоресцентной микроскопии, нам удалось впервые проследить развитие во времени окислительного стресса, индуцированного прооксидантом [15]. Показано, что окислительный стресс развивается сначала только в митохондриях, задолго до развития окислительного стресса в масштабе целой клетки (мы назвали его генерализованным окислительным стрессом) и сопровождается фрагментацией митохондрий. Такое развитие событий предполагалось и ранее, но доказано было нами впервые, тем самым давая веское обоснование целесообразности использования митохондриально-направленных антиоксидантов для борьбы с патологиями, вызванных окислительным стрессом.

Наконец, в самое последнее время, используя уникальные синтетические и секреторные свойства дрожжей *Y. lipolytica* [1], на их основе были получены мутанты,

экспрессирующие ген, кодирующий мультифункциональный белок НВх вируса гепатита С, необходимый для возникновения и развития гепатоцеллюлярной карциномы [16], а также мутанты, экспрессирующие ген, кодирующий белок Аβ42, один из основных маркеров болезни Альцгеймера [17].

Список литературы

1. Mamaev D, Zvyagilskaya R. 2021. *Yarrowia lipolytica*: a multitented yeast species of ecological significance. FEMS Yeast Res.;21(2):foab008. doi: 10.1093/femsyr/foab008.
2. Звягильская Р.А. и Котельникова А.В. 1991. Структура и функциональная активность дрожжевых митохондрий (монография). М. ВИНТИ, серия Биологическая Химия, 1991, т. 36, 172 сс.
3. Звягильская Р.А., Перлова Н.Н., Вискребенцева Э.И. 1986. Обнаружение аминотрансферазных активностей в митохондриях дрожжей *Endomycetes magnusii*. Биохимия, 1986, 51(8): 1315-1321.
4. Позмогова И.Н., Звягильская Р.А., Шульговская Е.М., Уральская Л.А., Пчелкина В.В., Сахарова З.В. 1989. Особенности энергетического обмена хемостатной культуры этанолюкисляющих дрожжей *Candida utilis* при трехфакторном лимитировании роста. Микробиология, 58 (1): 20-25.
5. Звягильская Р.А., Исакова Е.П., Пчелкина В.А., Уральская Л.А. 1992. Энергетический обмен дрожжей *Candida krusei*. Прикл. биохим. микробиол., 28 (2): 236-242.
6. Тонг Ким Тхуан, Пчелкина В.В., Уральская Л.А., Звягильская Р.А. 1989. Энергетический обмен липомицетов. Микробиология, 58 (3): 730-735.
7. Звягильская Р.А., Федорович Д.В., Шавловский Г.М., 1978 Дыхательная система дрожжей *Pichia guilliermondii* при разных уровнях флавиногеназа. Микробиология, 47 (6): 975-
8. Телеснина Г.Н., Бартошевич Ю.Э., Крахмалева И.Н., Сазыкин Ю.И., Звягильская Р.А. 1980 Возможна роль дыхательной системы *Fusidium coccineum* в регуляции биосинтеза фузидиевой кислоты Микробиология, 49 (4): 493-500.
9. Zvyagilskaya R., Andreishcheva E., Soares I.M.I., Khozin I., Berhe A., Persson B.L. Isolation and characterization of a novel leaf-inhabiting osmo-, salt, and alkali- tolerant *Yarrowia lipolytica* strain. J. Basic Microbiol. 2001, 41: 283-303.
10. Zvyagilskaya, R.A., Parchomenko, O., Abramova, N., Allard, P., Panaretakis, T., Pattison-Granberg, J., and Persson, B.L. 2001. Proton- and sodium-coupled phosphate transport systems and energy status of *Yarrowia lipolytica* cells grown at acidic and alkaline growth conditions. J. Membr. Biol., 183: 39-50.
11. Zvyagilskaya, R. Persson, B. L. 2003. Dual regulation of proton- and sodium-coupled phosphate transport systems in the yeast *Yarrowia lipolytica* by phosphate and extracellular pH. IUBMB Life. 2003, 55: 151-154.
12. Kercher S, Dose S, Zwicker K et al. 2002. *Yarrowia lipolytica*, a yeast genetic system to study mitochondrial complex I. Biochim Biophys Acta;1555:83-91.
13. Рогов А.Г., Суханова Е.И., Уральская Л.А., Аливердиева Д.А., Звягильская Р.А. 2014. Альтернативная оксидаза: распространение, индукция, свойства, структура, регуляция, функции. Обзор. Успехи биологической химии, т. 54, 413-456.
14. Goleva T.N., Rogov A.G., Korshunova G.A., Trendeleva T.A., Mamaev D.V., Aliverdieva D.A., Zvyagilskaya R.A. 2019. SkQThy, a novel and promising mitochondria-targeted antioxidant. Mitochondrion. 49:206-216.
15. Rogov AG, Goleva TN, Epremyan KK, Kireev II, Zvyagilskaya RA. Propagation of Mitochondria-Derived Reactive Oxygen Species within the *Dipodascus magnusii* Cells. 2021. Antioxidants (Basel). 2021 Jan 15;10(1):120..
16. Epremyan KK, Goleva TN, Rogov AG, Lavrushkina SV, Zinovkin RA, Zvyagilskaya RA. 2022. The First *Yarrowia lipolytica* Yeast Models Expressing Hepatitis B Virus X Protein: Changes in Mitochondrial Morphology and Functions. Microorganisms.;10(9):1817. 17. Epremyan K K., Rogov A.G., Goleva T.N., Lavrushkina S.V., Zinovkin R.A., Zvyagilskaya R.A. 2023. Altered Mitochondrial Morphology and Bioenergetics in a New Yeast Model Expressing Aβ42. Int J Mol Sci.;24(2):900.

Именной указатель

А

Абдуллабекова Д.А. – 274
Абдуллаева А.М. – 73
Абдуллаева С.А. – 70
Абдульмянова Л.И. – 256
Авданина Д.А. – 81, 83, 85, 103
Автономова А.В. – 97, 276
Агеева И.В. – 235
Адилов Б.Ш. – 221
Аксенов-Грибанов Д.В. – 158
Александрова А.В. – 80, 238
Алексанян К.В. – 88
Алексеева А.С. – 60
Алексеева П.А. – 150
Алехова Т.А. – 80
Алешина О.М. – 275
Алибейли Н.С. – 117
Аливердиева Д.А. – 33
Алиев И.А. 176
Альдекеева В.Б. – 265
Ананьева Е.П. – 275, 285
Андреевская В.М. – 177, 238
Аникина Н.А. – 258
Антимонова М.А. – 276
Антипова Т.В. – 179
Антропов Д.О. – 151
Антропова А.Б. – 51, 181
Арзуманян В.Г. – 27
Арстамян С.С. – 277
Асташкин Е.И. – 125
Асылбек А.М. – 109
Атыкян Н.А. – 302
Ахбарова Л.И. – 92
Ахметшин Б.С. – 251

Б

Бабынин Э.В. – 92
Бадалян С.М. – 277
Базарова Е.П. – 127
Баймаханова Б.Б. – 181
Баймаханова Г.Б. – 181
Бакулина А.В. – 183
Балгимбаева А.С. – 181
Барашкова А.С. – 280
Баскунов Б.П. – 179
Бахшалиева К.Ф. – 70
Башаров А.А. – 80
Башкирова К.Я. – 81, 83
Белов Д.А. – 185
Белова Н.В. – 12, 283, 318

Бельшенко А.Ю. – 158
Беляева А.Д. – 281, 282
Беляева И.Д. – 281, 282
Белякова Ю.С. – 73
Бенько Е.Е. – 85
Берестецкий А.О. – 297
Бесараб Н.В. – 241
Бессолицына Е.А. – 183
Биланенко Е.Н. – 30, 51
Благовещенская Е.Ю. – 108
Блинкова Л.П. – 73
Богдаев А.Г. – 286
Бодрова А.С. – 285
Боков Н.А. – 140
Бондаренко С.А. – 51
Борисова Н.А. – 60
Бортников Ф.М. – 26
Бочков Д.А. – 150
Брыков Г.М. – 61
Буданова Е.В. – 255
Булгаков Т.С. – 186
Буракаева А.Д. – 286
Бурова С.А. – 3
Быкова И.Б. – 228

В

Вавилина Т.Н. – 158
Валитова Р.К. – 73
Валяев Д.А. – 76
Варламов В.П. – 85
Варфоломеева Е.А. – 265
Васильев А.Л. – 79
Васильева Б.Ф. – 83, 103
Василяк Л.М. – 87
Великова Т.Д. – 66
Ветчинкина Е.П. – 53
Виноградова Ю.А. – 78, 123, 124
Власов А.Д. – 102
Власов Д.Ю. – 70, 102, 134, 135
Власова Т.А. – 235
Войтка Д.В. – 236
Вокина В.А. – 291
Волкова В.Д. – 74
Волчек И.А. – 253
Волынчикова Е.А. – 160
Воробьева О.Б. – 81
Вышелесский А.Б. – 127
Вятчинов А.А. – 197

Г

Гагкаева Т.Ю. – 181, 246
Галимова А.Р. – 92
Ганнибал Ф.Б. – 22
Гарибян Н.Г. – 277
Гасанова А.Р. – 117
Гасанова В.Я. – 117
Гасич Е.Л. – 297
Георгиева М.Л. – 30, 51
Глушакова А.М. – 155
Гмошинский В.Н. – 26
Гоголашвили Э.Л. – 92
Головин С.Е. – 192
Головченко Л.А. – 191
Гомжина М.М. – 22
Гончаров А.Е. – 135
Горнак А.Ю. – 218
Горшина Е.С. – 298
Горячкин С.В. – 132
Григорян К.М. – 244
Гришечкина Л.Д. – 267
Гроза Н.В. – 51
Грум-Гржимайло О.А. – 51
Гунар О.В. – 60
Гурина С.В. – 275, 285

Д

Данилова Д.Ю. – 242
Данилова О.А. – 31, 51
Данилова-Данильян Е.М. – 62
Данилогорская А.А. – 19, 21
Дацук Е.Р. – 294
Дворнина Е.Г. – 293
Демидова В.Н. – 197
Демьянкова М.В. – 83, 103
Дешевая Е.А. – 87
Джавахян Б.Р. – 300
Диярова Д.К. – 39
Дмитриева М.Е. – 158
Добрянский А.С. – 132
Долгих А.В. – 132
Дроздова М.С. – 244
Дунайцев И.А. – 261
Дьяков М.Ю. – 308

Е

Евграфова С.Ю. – 93
Егоров М.И. – 127
Ежова А.М. – 85
Еланский А.С. – 187
Еланский С.Н. – 187, 188

Емельянова Е.В. – 295
Ермолюк А.А. – 81, 83, 85, 103
Ерохова М.Д. – 197
Ефимочкина Н.Р. – 228
Ефременкова О.В. – 83, 103
Ефремова Г.И. – 253

Ж

Жгун А.А. – 81, 83, 85, 103
Жгун Е.С. – 83
Желифонова В.П. – 179
Жемчужина Н.С. – 177, 238
Жиглецова С.К. – 261
Жидехина Т.В. – 202
Жуйкова Е.В. – 39
Жуковская Л.А. – 79
Журбенко М.П. – 145

З

Заводовский П.Г. – 144
Загайнова А.В. – 276
Загустина Н.А. – 80
Зайцева Л.В. – 232
Зайцева О.О. – 304, 311
Закалюкина Ю.В. – 150
Зарубина Ю.Д. – 313
Звягильская Р.А. – 320
Звягина Е.А. – 113
Зеленева Ю.В. – 267
Зеленская М.С. – 102
Зиангирова М.Ю. – 308
Змитрович И.В. – 283, 318
Зотова Е.В. – 217
Зубарь В.А. – 79
Зубко Н.Г. – 267

И

Иванов А.И. – 156
Иванова А.А. – 263
Иванова А.Е. – 71, 76, 150
Иванова Е.А. – 62
Иванушкина Н.Е. – 23, 88
Ивойлов А.В. – 118
Игнатов А.Н. – 208, 254
Игнатьева И.М. – 199
Ильюшин В.А. – 70, 134
Имидоева Н.А. – 158
Иминова М.М. – 129
Исламмагомедова Э.А. – 33
Иткина Д.Л. – 244

К

Кабашникова Л.Ф. – 236
Калинина Л.Б. – 145
Калмантаев Т.А. – 261
Камилов Ш.Г. – 193
Капитонов В.И. – 119
Качалкин А.В. – 43, 155, 274
Кинчарова М.Н. – 205
Кирсанов Н.И. – 151
Кирцидели И.Ю. – 70, 134, 135
Кириянов П.С. – 212
Киселева М.И. – 238
Кияшко А.А. – 12
Клапко С.Ф. – 293
Клыкова М.В. – 261
Коблов Ф.С. – 103
Кобякова О.Б. – 34
Ковалева В.А. – 78, 123, 124
Козлов А.В. – 166
Колбецкая Е.А. – 73
Коломиец Т.М. – 195, 232
Комарова В.А. – 212
Комиссаров Н.С. – 308
Константинов А.В. – 212
Корнейкова М.В. – 132
Костин Н.К. – 199, 232
Кочкина Г.А. – 24, 51, 88
Кравченко Е.С. – 97, 276
Краева Л.А. – 135
Краснобаева И.Л. – 315
Краснопольская Л.М. – 276, 300, 308, 310
Ксенофонтова Н.А. – 62
Кузнецова А.А. – 199, 232
Кузнецова И.Е. – 310
Кузнецова М.А. – 197
Кулибеков Ф.М. – 70
Кураков А.В. – 3
Курбатова И.В. – 97, 276
Кутовая О.В. – 62
Куфко И.Э. – 212
Кызметова Л.А. – 109

Л

Лаблюк С.В. – 293
Лавлинский А.В. – 301
Лавринова В.А. – 202, 204
Лаптева Е.М. – 78, 123, 124
Ларина Г.Е. – 200, 206, 223
Лебедин Ю.С. – 181
Левашова Е.А. – 127
Левитин М.М. – 8
Лисовой А.М. – 177

Литвинова А.А. – 313
Литовка Ю.А. – 179
Лиховидов В.Е. – 127
Лопатин С.А. – 85
Лощинина Е.А. – 36
Луговской А.М. – 61
Лукашевич В.А. – 241
Лукин А.С. – 65
Лукьянов Д.А. – 127
Лысакова В.С. – 308

М

Магомедова Е.С. – 274
Мазина С.Е. – 127
Майгурова В.Н. – 181
Майорова И.В. – 12
Максимов А.Ю. – 246
Маланичева И.А. – 9
Малахова С.Д. – 248
Малыгин Д.М. – 151
Малыгина Е.В. – 158
Малышева К.В. – 30
Мамаева Н.Ю. – 66
Мамедова М.Я. – 70
Манукян И.Р. – 195
Маркова Ю.М. – 228
Мартинсон К.Д. – 282
Марченко Н.А. – 249
Маслиенко Л.В. – 249
Массалимов Б.И. – 251
Массалимов И.А. – 251
Матвиенко Е.В. – 205
Матевосян Р.Э. – 64
Мейсунова А.Ф. – 158
Мелузов М.Н. – 38
Мельникова В.А. – 177
Мергелов Н.С. – 132
Минаева Л.П. – 228
Минаков Д.В. – 161
Миндубаев А.З. – 92
Митина Г.В. – 152, 289
Михнюк А.В. – 236
Можаровская Л.В. – 212
Моргунова М.М. – 158
Мордасова Е.С. – 302
Мороз Е.Л. – 128
Мудреченко С.Л. – 200
Мурадов П.З. – 70
Мустафаев И.М. – 129
Мустафакулов Ш.С. – 251
Мухин В.А. – 39
Мишенская Н.С. – 38

Н

Нагиева Р.З. – 70
Нагуманов Ш.З. – 131
Назаров С.И. – 127
Нанагюлян С.Г. – 64
Насибов Э.М. – 41
Наумова Е.С. – 26
Некляев С.Э. – 206
Никитин Д.А. – 62, 132
Никитинская Е.В. – 208
Никитинский Д.А. – 208
Николаев Н.С. – 134
Николайчик Е.А. – 241
Новожилов Ю.К. – 26, 128
Носков А.Е. – 179
Нотов А.А. – 158
Няникова Г.Г. – 281
Няникова Г.Г. – 282

О

Обернихина Н.И. – 253
Овсепян В.В. – 244
Омар П.М. – 70
Ориненко К.Ю. – 209
Осипян М.В. – 214
Очирова Э.М. – 208

П

Павлов И.Н. – 179
Падутов А.В. – 212
Паломожных Е.А. – 145
Панин А.Л. – 135
Панкратова Л.Ф. – 195
Панова М.И. – 74
Панова Т.А. – 71
Пантелеев С.В. – 191, 212
Панчук С.В. – 254
Панькова И.Г. – 70
Пасечник Т.Д. – 214
Пахолкова Е.В. – 211
Перминова Е.М. – 78, 123, 124
Петренко М.В. – 43
Петровская И.Ф. – 313
Печеркин В.Я. – 87
Пикаревская Е.Г. – 161
Пирязева Е.А. – 217
Погосян А.В. – 64
Поздняков А.С. – 263
Поздняков Л.А. – 43
Позднякова Н.Н. – 46, 100
Полежаева Т.В. – 304, 311

Поликсенова В.Д. – 218, 241
Полунина Т.С. – 204
Полуэктова Е.В. – 11
Полянина А.С. – 228
Попыванов Д.В. – 304
Потапов К.О. – 156, 306
Потапова Т.В. – 44
Примкулов Ш.Х. – 221
Приходько Е.С. – 220
Приходько И.С. – 26
Прозорова Г.Ф. – 263
Прокопьев В.В. – 47
Прудникова С.В. – 93, 259
Псурцева Н.В. – 12, 275, 285
Пучкова Т.А. – 290
Пчелкин А.В. – 136, 137

Р

Разин А.А. – 153, 302
Разумова О.А. – 212
Рахимова Е.В. – 109
Ребрикова Н.Л. – 95
Рогожин А.Н. – 197
Рогожин Е.А. – 16, 280
Родионова Е.Н. – 155
Рощина М.В. – 60
Рузметов Д.Р. – 221
Рыбкин И.Д. – 177

С

Савинова О.С. – 65
Савинцева Л.С. – 183
Савицкий С.А. – 160
Саврасов Е.С. – 161
Садыков А.Н. – 76
Садыкова В.С. – 30
Сазанова Н.А. – 139
Сальникова Н.Н. – 211
Саргсян М.П. – 244
Сафонов М.А. – 222
Сахипова А.Р. – 281
Сахно Д.Д. – 282
Сбойчаков В.Б. – 135
Севостьянова Е.П. – 177
Седова И.Б. – 228
Селюк М.П. – 49
Семашко Т.В. – 79
Семенов М.В. – 62
Семенюк И.Н. – 197
Сеник С.В. – 12
Серая Л.Г. – 200, 206, 223

Сергеев А.Ю. – 3
Сергеева М.А. – 27
Сергеева С.Е. – 217
Сергеева Ю.Д. – 31, 74
Сергушкина М.И. – 304, 311
Сидоренко А.В. – 242
Силушкина Э.А. – 127
Синева О.Н. – 276, 308
Синицына Ю.В. – 38
Скачкова А.Д. – 166
Скоков Д.Н. – 187
Сколотнева Е.С. – 232
Скрыпник Л.Н. – 158
Сметанина Т.И. – 197
Смирнов А.В. – 294, 310
Смирнов А.Н. – 16, 177, 209, 220
Смирнов В.Ф. – 258
Смирнова А.В. – 199, 232, 294
Смирнова О.Г. – 16
Смирнова О.Н. – 258
Соколов В.В. – 30
Соколов В.Т. – 135
Сокорнова С.В. – 151
Соломина О.Н. – 304, 311
Ставский Е.А. – 313
Стацевич Л.Н. – 313
Стеценко В.В. – 228
Стогниенко О.И. – 225
Стрельцова Н.В. – 259
Стрембицкая А.Д. – 151
Стручкова И.В. – 34
Судариков В.Г. – 152, 289
Сурина Т.А. – 232
Сыпабеккызы Г. – 109

Т

Тадыков Д.А. – 47
Текутов А.Р. – 261
Теплякова Т.В. – 313
Терехова В.А. – 31, 74
Терешина В.М. – 31, 51
Тертышная Ю.В. – 100
Теряев А.С. – 253
Титова Ю.А. – 315, 316
Ткаченко О.Б. – 142
Торопова Е.Ю. – 49
Треножникова Л.П. – 181
Троян Е.Б. – 81
Тхакахова А.К. – 62

У

Усольцева М.Ю. – 181

Ф

Федоров А.С. – 127
Федорова Т.В. – 65, 97
Федосеева Е.В. – 31, 74
Федюшко И.А. – 218
Филиппова А.В. – 112
Филиппова И.А. – 153, 302
Филиппова Н.В. – 113

Х

Халдеева Е.В. – 89
Халилова Э.А. – 33
Халмурадов Э.А. – 193
Хархасова И.А. – 212
Харькова О.Ю. – 281
Хачева С.И. – 120, 121
Хлопунова Л.Б. – 297
Холмуродов У.Э. – 193
Худяков А.Н. – 304, 311

Ц

Цивилева О.М. – 263
Цинделиани А.А. – 187

Ч

Чалый З.А. – 228
Чебаненко С.И. – 16
Чемерис О.В. – 288
Черепанова М.А. – 152, 289
Чернышова С.К. – 267
Чжэн Л. – 290
Чилочи А.А. – 293
Чоглокова А.А. – 152, 289
Чудинова Е.М. – 187
Чхенкели В.А. – 291
Чхенкели Г.Д. – 291

Ш

Шабаетов А.В. – 97
Шакурова Л.В. – 73
Шамаев Н.Д. – 306
Шамин А.А. – 225
Шамсутдинова Е.С. – 294
Шарифова Ф.А. – 38
Шахова Н.В. – 12
Шевелева С.А. – 228
Шевко В.Н. – 212
Шегурова А.Ф. – 97
Шейна Н.И. – 255
Шеримбетов А.Г. – 221

Шешегова Т.К. – 227
Ширнина Л.В. – 231
Широких А.А. – 140, 311
Широких И.Г. – 140, 311
Широян М.М. – 71
Ширяев А.Г. – 14
Шитов М.В. – 81
Шишкин А.Ю. – 258
Шишкина А.К. – 313
Шишкина К.А. – 258
Шишлянникова А.Б. – 318
Шнитлер М. – 26
Шнырева А.В. – 50
Шодиева Д.Г. – 256
Шуктуева М.И. – 276, 300, 308
Шуралев Э.А. – 306
Шустов М.В. – 141

Щ

Щеклеина Л.М. – 227
Щепин О.Н. – 26
Щербакова Т.И. – 164
Щербань А.Б. – 232

Э

Элоян И.М. – 64
Эспевиг Т.Е. – 181

Ю

Юрков А.П. – 167
Юсифова М.Р. – 70
Юшкевич Т.В. – 153, 302

Я

Якименко О.С. – 74
Якуба Г.В. – 249
Януцевич Е.А. – 31, 51
Ярина М.С. – 300
Яшина Т.А. – 313

Научное издание
Современная микология в России

Том 11

Главный редактор
Кураков А.В.

Заместитель главного редактора
Сергеев А.Ю.

Издание
Национальной Академии Микологии

<http://www.mycology.ru>

ISBN 978-5-901578-45-2

Подписано в печать 28.04.2025
Формат 60х90/8
Гарнитура Minion. Печать офсетная.
Усл печ. л. 54,0 Тираж 500 экз.