



РЕСПУБЛИКА
БАШКОРТОСТАН

ЕВРАЗИЙСКИЙ
НОЦ
БАШКОРТОСТАН

ISBN 978-5-6047532-1-7



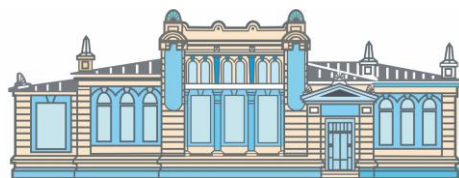
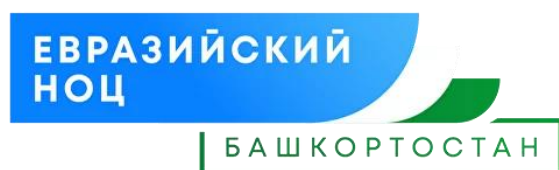
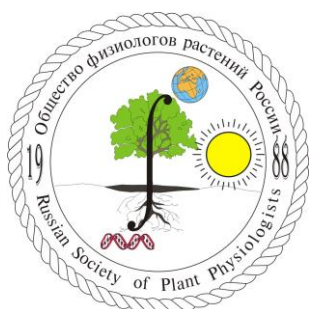
УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**СЪЕЗД ОБЩЕСТВА
ФИЗИОЛОГОВ РАСТЕНИЙ
РОССИИ**

УФА 2023

Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук
Правительство Республики Башкортостан
Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН
Уфимский институт биологии УФИЦ РАН
Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН
Уфимский университет науки и технологий
Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН
Башкирский НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН
АНО «Центр поддержки академических инициатив»



УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

«БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА»

Х Съезд общества
физиологов растений России
Всероссийская научная конференция
с международным участием

Уфа, 18-23 сентября 2023 г.

ISBN 978-5-6047532-1-7



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Уфа 2023

ББК 28.573 я431
УДК 581.1(061)
Д37

X Съезд общества физиологов растений России «Биология растений в эпоху глобальных изменений климата» (Уфа, 18-23 сентября 2023 г.): тезисы докладов. – Электрон. текст. данные (1 файл: 4,33 Мб). – Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2023. – 422 с. – Систем. требования: Adobe Reader. – Режим доступа: <https://ufa2023.ofr.su/AbstractCongressUfa2023.pdf>. – Загл. с титул. экрана. DOI: 10.31163/978-5-6047532-1-7, EDN: DKVVYF

ISBN 978-5-6047532-1-7

Сборник содержит тезисы докладов, представленных в рамках X Съезда общества физиологов растений России. Научная программа съезда отражает современный уровень состояния экспериментальной биологии растений, ориентирует ученых на будущие тенденции развития фундаментальной науки и на решение стоящих перед человечеством глобальных проблем, связанных с изменением климата. В рамках съезда представлены 18 пленарных докладов, 116 секционных докладов, 64 флэш-презентации, 148 стендовых сообщений и проведена школа молодых ученых «Генетическое редактирование растений CRISPR/Cas». Материалы съезда посвящены рассмотрению целого ряда актуальных научных направлений экспериментальной биологии растений: рост и развитие растений; сигнальные системы: от клетки к целому растению; устойчивость растений к абиотическим факторам среды; водный обмен и минеральное питание; патогенез и иммунитет растений; фотосинтез, дыхание и продукционный процесс; взаимодействие между организмами в агро- и биоценозах; биоразнообразие; физиология трансгенных растений и растений с отредактированным геномом; молекулярные основы физиологии и селекции растений; биотехнология растений; физиологические основы интенсификации растениеводства и охраны окружающей среды и феномика растений.

Вся ответственность за достоверность предоставленных в сборнике материалов несут авторы соответствующих тезисов. Тезисы публикуются без корректуры с сохранением авторской орфографии и пунктуации.

© Оформление: УИБ УФИЦ РАН, 2023

Выражаем глубокую благодарность за поддержку:



AWTech
Advanced Worldwide Technologies



**ЛАБ
Инструменты**



**АЗИМУТ
ФОТОНИКС**



УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

helicon



ФЕНОМИКА



Уралсиб



НАУЧНО-ВНЕДРЕНЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

БАШИНКОМ



**MILLAB
GROUP**

Органы управления съездом

Со-председатели съезда

Багиров Вугар Алиевич, чл.-корр. РАН – Директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования РФ.

Лось Дмитрий Анатольевич, чл.-корр. РАН (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва) – Президент Общества физиологов растений России

Фазрахманов Ильшат Ильдусович, заместитель Премьер-министра Правительства Республики Башкортостан – министр сельского хозяйства (Уфа)

Мартыненко Василий Борисович, д.б.н. (Уфа) – Руководитель Уфимского федерального исследовательского центра РАН

Веселов Дмитрий Станиславович, д.б.н. (Уфа) – Директор Уфимского Института биологии УФИЦ РАН

Программный комитет

Председатель программного комитета

Лось Дмитрий Анатольевич, чл.-корр. РАН (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)

Заместители председателя

Кузнецов Владимир Васильевич, чл.-корр. РАН (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)

Голденкова-Павлова Ирина Васильевна (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)

Кудоярова Гюзель Радомесовна (Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)

Члены программного комитета

Рамазанов Камиль Нуруллаевич - президент Академии наук Республики Башкортостан

Буренина Ирина Валерьевна - директор АНО «Управляющая компания научно-образовательного центра Республики Башкортостан»

Сафин Халил Масгутович - академик-секретарь Академии наук Республики Башкортостан

Аллахвердиев Сулейман Ифхан-оглы, чл.-корр. РАН (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)

Афонников Дмитрий Аркадьевич (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)

Баймиев Алексей Ханифович (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа)

Белимов Андрей Алексеевич (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Пушкин)

Булгаков Виктор Павлович, чл.-корр. РАН (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток)

Ваганов Евгений Александрович, академик РАН (Сибирский федеральный университет, Красноярск)

- Вахитова Юлия Венеровна чл.-корр. РАН (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа)
- Власов Валентин Викторович, академик РАН (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск)
- Воденеев Владимир Анатольевич (Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород)
- Войников Виктор Кириллович (Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск)
- Войцеховская Ольга Владимировна (Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, С.-Петербург)
- Воронин Павел Юрьевич (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Гавриленко Татьяна Андреевна (ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, С.-Петербург)
- Галимзянова Наиля Фауатовна (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)
- Гоголев Юрий Викторович (Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)
- Головацкая Ирина Феокистовна (Томский государственный университет, Томск)
- Горшкова Татьяна Анатольевна (Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)
- Головко Тамара Константиновна (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)
- Гречкин Александр Николаевич, академик РАН (Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)
- Дейнеко Елена Викторовна (Томский государственный университет, Томск; Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)
- Демченко Кирилл Николаевич (Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, С.-Петербург)
- Ефимова Марина Васильевна (Томский государственный университет, Томск)
- Журавлев Юрий Николаевич, академик РАН (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток)
- Казнина Наталья Мстиславовна (Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск)
- Колчанов Николай Александрович, академик РАН (Новосибирский государственный университет, Новосибирск)
- Константинов Юрий Михайлович (Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск)
- Коршунова Татьяна Юрьевна (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)
- Кочетов Алексей Владимирович, академик РАН (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)
- Креславский Владимир Данилович (Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино)
- Кузнецов Виктор Васильевич (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Кулуев Булат Разяпович (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа)
- Ласточкина Оксана Владимировна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа)

- Максимов Игорь Владимирович (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа)
- Максимов Трофим Христофорович (Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск)
- Медведев Сергей Семёнович (Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург)
- Мелентьев Александр Иванович (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)
- Минибаева Фарида Вилевна (Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)
- Мошков Игорь Евгеньевич (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Носов Александр Михайлович (Московский государственный университет, Москва)
- Рахманкулова Зульфира Фаузиевна (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Романов Георгий Александрович (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Рубин Андрей Борисович, чл.-корр. РАН (Московский государственный университет, Москва)
- Савченко Татьяна Викторовна (Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пушкино)
- Салина Елена Артемовна, (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)
- Смирнов Василий Филиппович (Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород)
- Серёгин Илья Владимирович (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Тараканов Иван Германович (Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва)
- Тарчевский Игорь Анатольевич, академик РАН (Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)
- Тимофеева Ольга Арнольдовна (Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань)
- Титов Александр Федорович, чл.-корр. РАН (Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск)
- Тихонович Игорь Анатольевич, академик РАН (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербургский Федеральный университет, С.-Петербург)
- Трофимова Марина Сергеевна (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва)
- Турковская Ольга Викторовна (Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов)
- Фархутдинов Рашит Габдулхаевич (Уфимский университет науки и технологий, Уфа)
- Хлёткина Елена Константиновна (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)
- Хуснутдинова Эльза Камилевна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа)
- Цыганов Виктор Евгеньевич (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, С.-Петербург)
- Четвериков Сергей Павлович (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)
- Шакирзянов Анвар Хафизович (Башкирский НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН, Уфа)

Шигапов Зинур Хайдарович (Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, Уфа)

Шишова Мария Федоровна (Санкт-Петербургский государственный университет,
С.-Петербург)

Шумный Владимир Константинович, академик РАН (Институт цитологии и генетики СО РАН,
Новосибирск)

Исполнительный комитет

Председатель

Вершинина Зиля Рифовна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа) - секретарь
Уфимского отделения ОФР

Члены

Антипина Ольга Валерьевна (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,
Москва) – ученый секретарь ОФР;

Цветков Вячеслав Олегович (Уфимский университет науки и технологий, Уфа)

Михайлова Елена Владимировна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Хакимова Лилия Ралисовна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Чубукова Ольга Вячеславовна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Масленникова Дилара Ринатовна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Акимова Екатерина Сергеевна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Панфилова Мария Александровна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Волкова Анастасия Леонидовна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа);

Лавина Анна Михайловна (Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа).

Уразгильдин Руслан Вилисович (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)

Коробова Алла Владимировна (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Выражаем глубокую благодарность за поддержку:	4
Органы управления съездом.....	5
Программный комитет.....	5
Исполнительный комитет.....	8
ОГЛАВЛЕНИЕ	9
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ	
Абдуллаев Ф.Ф., Немцова Ю.А., Ветрова Я.А., Воденеев В.А., Шерстнева О.Н.	39
ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ <i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> К УФ-В ИЗЛУЧЕНИЮ	
Абрамова А.А., Верещагин М.В., Креславский В.Д., Пашковский П.П.	40
ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ	
Авальбаев А.М., Юлдашев Р.А., Плотников А.А., Сафина И.И., Аллагулова Ч.Р.....	41
БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МОРФОГЕНЕЗ <i>IN VITRO</i> <i>HEDYSARUM DAGESTANICUM</i> BOISS. EX RUPR.	
Алиева З.М., Мартемьянова В.К., Пиняскина Е.В.	42
ВЛИЯНИЕ ГИПОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ НА ВСХОЖЕСТЬ И ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН <i>AMARANTHUS CAUDATUS</i>	
Алистратова Ф.И., Исаченко М.С., Колесников Л.Е., Домнин А.А.	43
ОЦЕНКА ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ NO-ОБРАБОТКИ НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ	
Аллагулова Ч.Р., Плотников А.А., Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М., Лубянова А.Р.....	44
ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА НАКОПЛЕНИЕ ВИТАМИНОВ У <i>HUMULUS</i> <i>LUPULUS</i> L. В ОНТОГЕНЕЗЕ	
Аль Хуссейн Д., Алмуграби Е., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.....	45
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТАБОЛИЗМА ФОСФАТИДИЛХОЛИНА У БАЗИДИАЛЬНЫХ ДРОЖЖЕЙ	
Амигуд Е.Я., Сенник С.В., Серебряков Е.Б., Котлова Е.Р.	46
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ УКОРЕНЕНИЯ МИКРОПОБЕГОВ ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО (<i>FRAXINUS EXCELSIOR</i> L.) <i>IN VITRO</i>	
Аминева Е.Ю.....	47
ИНДУКЦИЯ «БОРОДАТЫХ» КОРНЕЙ <i>GLYCYRRHIZA URALENSIS</i> И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РОСТА, ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ	
Андрейчук Д.Д., Асбаганов С.В., Амброс Е.В., Новикова Т.И.....	48

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, СНИЖАЮЩИХ ГЕРБИЦИДНУЮ НАГРУЗКУ И СТИМУЛИРУЮЩИХ РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ	
Анисимова Л.Г.	49
ОСОБЕННОСТИ ВВЕДЕНИЯ В КУЛЬТУРУ <i>IN VITRO ARTEMISIA MARTJANOVII</i> <i>KRASCH. EX POLJAKOV</i>	
Антонова Е.Е., Кучарова Е.В.	50
ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ В УСЛОВИЯХ СОЛЕЩЕЛОЧНОГО СТРЕССА	
Арисова А.К.	51
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ БЕЛКОВ ВИРУСА ЗЕЛеноЙ ПЯТНИСТОСТИ ГИБИСКУСА	
Атабекова А.К., Лезжов А.А., Морозов С.Ю., Соловьев А.Г.	52
СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КРИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ПОЧЕК ВОЗОБНОВЛЕНИЯ <i>HYLOTELEPHIUM TREPILUM</i>	
Атоян М.С., Малышев Р.В., Табаленкова Г.Н.	53
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФЛОЭМЫ И КСИЛЕМЫ <i>PINUS SYLVESTRIS L.</i>	
Афошин Н.В., Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Семенова Л.И., Иванова Д.С.	54
ИММУНОЛОКАЛИЗАЦИЯ ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТЫ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ ГОРОХА И РОСТ КОРНЕЙ НА ФОНЕ ЗАСОЛЕНИЯ	
Ахиярова Г.Р., Вафина Г.Х., Гиниятуллин А.Р., Гаффарова Э.Р.	55
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕФИЦИТНОГО ПО АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЕ МУТАНТА ЯЧМЕНЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ	
Ахтямова З.А., Архипова Т.Н., Шарипова Г.В., Иванов Р.С., Веселов Д.С.	56
ГЕНЕРАЦИЯ АФК И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ В ПРОРАСТАНИИ ПЫЛЬЦЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ	
Бабушкина К.О., Лунева О.Г., Брейгина М.А.	57
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЕДИНЕНИЙ КОБАЛЬТА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ ДЫХАНИЯ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ	
Байгильдина Г.И., Федяев В.В., Фархутдинов Р.Г., Гарипова М.И.	58
РАСТЕНИЕ РЕГУЛИРУЕТ СИНТЕЗ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РИЗОБИЯМИ	
Баймиев Ал.Х., Владимирова А.А., Матниязов Р.Т., Лавина А.М., Филяева К.Ю.	59
РОЛЬ БОБОВОГО РАСТЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МНОГООБРАЗИЯ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ В СВОИХ КЛУБЕНЬКАХ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ВЕГЕТАЦИИ	
Баймиев Ан.Х., Коряков И.С., Акимова Е.С., Владимирова А.А., Баймиев Ал.Х.	60
СОЗДАНИЕ ГЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, НЕСУЩИХ ГЕНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В РЕГУЛЯЦИИ МЕТАБОЛИЗМА ИНУЛИНА В <i>SICHHORIUM INTYBUS L.</i>	
Баймухаметова Э.А., Мусин Х.Г., Швец Д.Ю., Кулуев Б.Р.	61

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТА ВОСТОК - ЭМ 1 НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ Барановская Е.А.....	62
АНТИМИКРОБНЫЕ БЕЛКИ РЕПРОДУКТИВНЫХ ОРГАНОВ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО (<i>HERACLEUM SOSNOWSKYI</i>) В ОНТОГЕНЕЗЕ Барашкова А.С., Рогожин Е.А.	63
УСКОРЕННОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ <i>IN VITRO</i> ЦЕННЫХ ГЕНОТИПОВ ВИНОГРАДА Батукаев А.А., Палаева Д.О., Адымханов Л.К.....	64
<i>VESICULARIA DUBYANA</i> BROTH., КАК ПРОДУЦЕНТ МОЛЕКУЛ С БИОМЕДИЦИНСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ Бельшенко А.Ю., Моргунова М.М., Малыгина Е.В., Дмитриева М.Е., Имидоева Н.А., Шелковникова В.Н., Аксёнов-Грибанов Д.В.	65
РОЛЬ ГЕНОВ <i>EXPS</i> И <i>XTHS</i> В РЕГУЛЯЦИИ РОСТА КОРНЕЙ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ Бережнева З.А., Мусин Х.Г., Кулуев Б.Р.	66
ПОЛУЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК ИЗ ЯГОД <i>VACCINIUM CORYMBOSUM</i> L. И ЕЕ РАЗВИТИЕ НА ПРОТЯЖЕНИИ ПАССАЖА Березина Е.В., Ларина М.В., Волынец Г.А., Брилкина А.А.	67
ВЛИЯНИЕ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО Беренцева С.В.....	68
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА КОЛЕОПТИЛЕЙ СОРТОВ РИСА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РИСА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ Богданова Е.М., Бертова А.Д., Бикташева М.О., Кирпичникова А.А., Кондратьева А.В., Шапиро А.С., Пузанский Р.К., Мухина Ж.М., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.....	69
КРИТЕРИИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ СРЕДНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА Богданова Е.С., Нестеров В.Н., Бакунов А.Л., Рубцов С.Л., Ломакина Е.Е., Саблина Н.А., Розенцвет О.А.....	70
ЗАВИСИМОСТЬ ПРОТЕКТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛАТОНИНА НА РОСТ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДЫ Бойко Е.В., Головацкая И.Ф., Кадырбаев М.К.....	71
БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БИОЧАРА И ТОЛЕРАНТНЫХ К МЕДИ PGPR <i>BACILLUS AEROPHILUS</i> TR15c СПОСОБСТВУЕТ БИОФОРТИФИКАЦИИ РАПСА Борисова Г.Г., Малева М.Г., Кумар А., Ахамуэфуле К.Ч., Трипти.....	72
КАЛЛУСООБРАЗОВАНИЕ КАК ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК НЕДОСТАТКА ЭКЗОГЕННОГО АУКСИНА В СТИМУЛЯТОРЕ КОРНЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ УКОРЕНЕНИИ ЧЕРЕНКОВ ХВОЙНЫХ КУЛЬТУР <i>IN VIVO</i> . Боровков В.В., Демченко Г.А.....	73
НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ ТРИТИКАЛЕ ПРИ КИСЛОТНОМ И ЩЕЛОЧНОМ СТРЕССЕ Боталова К.И., Пестренин В.В.....	74

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ МИТОХОНДРИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ К ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ Бражникова А.В., Балашов Н.В., Найдов И.А., Борисова-Мубаракшина М.М.	75
ЭВОЛЮЦИЯ РЕДОКС-СИГНАЛИНГА ПРИ ОПЫЛЕНИИ: АФК В РЕЦЕПТИВНЫХ ЖИДКОСТЯХ У ГОЛОСЕМЕННЫХ И ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ Брейгина М.А., Лунева О.Г., Клименко Е.С., Бабушкина К.О.	76
ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ВЕРЕСКОВЫЕ Брилкина А.А., Рыбин Д.А., Исмаилова А.А., Сёмин А.А., Березина Е.В.	77
РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ МИКРОРНК ПШЕНИЦЫ БАКТЕРИЯМИ РОДА <i>BACILLUS</i> ПРИ ИНДУКЦИИ УСТОЙЧИВОСТИ К ПАТОГЕННОМУ ГРИБУ <i>STAGONOSPORA NODORUM</i> Бурханова Г.Ф., Веселова С.В., Сорокань А.В., Шеин М.Ю., Феденева А., Максимов И.В.	78
ВЛИЯНИЕ ЛИПОПОЛИСАХАРИДОВ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА РОСТ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ <i>IN VITRO</i> Бурьгин Г.Л., Иванова М.Ф., Костина Е.Е., Астанкова А.С., Криворучко А.Е., Федоненко Ю.П., Ткаченко О.В.	79
МЕЛАТОНИН УЧАСТВУЕТ В РЕГУЛЯЦИИ ЭКСПРЕССИИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОВ И АКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ ПРИ ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ Буцанец П.А., Бычков И.А., Кудрякова Н.В., Шугаев А.Г.	80
МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ МЕЛАТОНИНОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У РАСТЕНИЙ Бычков И.А.	81
ТРАНСКРИПЦИОННЫЙ ФАКТОР AVI4 РЕГУЛИРУЕТ ЭКСПРЕССИЮ ГЕНА <i>ASMT</i> , КОДИРУЮЩЕГО ФЕРМЕНТ СИНТЕЗА МЕЛАТОНИНА N-АЦЕТИЛСЕРОТОНИН О-МЕТИЛТРАНСФЕРАЗУ ПРИ ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ. Бычков И.А., Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В.	82
ВЛИЯНИЕ ГАЛЛООБРАЗОВАНИЯ ВЫЗВАННОГО КЛЕЩАМИ НА ФОТОСИНТЕЗ ЛИСТЬЕВ ЧЕРЕМУХИ ОБЫКНОВЕННОЙ Валиева А.К., Кузьмин И.В., Иванов Л.А., Иванова Л.А.	83
СТЕРИНОВЫЙ СОСТАВ ПЕЛЬТИГЕРОВЫХ ЛИШАЙНИКА <i>PELTIGERA CANINA</i> ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ТЕМПЕРАТУР Валитова Ю.Н., Хабибрахманова В.Р., Уваева В.Л., Бабаев В.М., Судакова С.Н., Рахматуллина Д.Ф., Галеева Е.И., Минибаева Ф.В.	84
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИПИД-ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ БЕЛКОВ ВО ФЛОЭМЕ РАСТЕНИЙ ГОРОХА Вафина Г.Х., Финкина Е.И., Зиганшин Р.Х., Овчинникова Т.В., Ахиярова Г.Р., Веселов Д.С., Кудоярова Г.Р.	85
НАНОМАТЕРИАЛЫ И РАСТЕНИЯ: ОСНОВНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ Венжик Ю.В.	86
ИСКУССТВЕННЫЕ ФИТОХЕЛАТИНЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ К СО Вершинина З.Р., Мозговой О.С.	87

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОЛИ ФИТОГОРМОНОВ В РЕГУЛЯЦИИ ИММУНИТЕТА РАСТЕНИЙ Веселова С.В., Максимов И.В.	88
ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ МЕЖДУ ПОБЕГОМ И КОРНЕМ И ПУТИ ЕГО РЕГУЛЯЦИИ Веселов Д.С., Шарипова Г.В., Ахиярова Г.Р., Ахтямова З.А., Кудоярова Г.Р.	89
ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ И АКТИВНОСТЬ АЦИЛ-ЛИПИДНЫХ ДЕСАТУРАЗ МЕМБРАННЫХ ЛИПИДОВ В ТКАНЯХ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ <i>IN VITRO</i> Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.	90
ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИТОХРОМНОГО b6F-КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНИТРОФЕНИЛОВОГО ЭФИРА ЙОДОНИТРОТИМОЛА (DNP-INT) Вильянен Д.В., Найдов И.А., Иванов Б.Н., Борисова-Мубаракшина М.М., Козулева М.А.	91
БИОСИНТЕЗ АРГИНИНА У ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ: РЕГУЛЯЦИЯ БЕЛКОМ РР1 И НЕ ТОЛЬКО Власова В.А., Лапина Т.В., Стаинов В.Р., Залуцкая Ж.М., Ермилова Е.В.	92
ПОДХОДЫ ВЫСОКОИНФОРМАТИВНОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЯХ Воденеев В.А.	93
СЕЗОННОЕ ДВИЖЕНИЕ ХЛОРОПЛАСТОВ МЕЗОФИЛЛА ХВОИ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> : 3D РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ОСНОВЕ SBF-SEM Вознесенская Е.В., Иванова А.Н., Котеева Н.К., Тарасова М.С., Борисенко Т.А.	94
ВЛИЯНИЕ АРИДНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДНОГО РЕЖИМА, РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ГРИНДЕЛИИ РАСТОПЫРЕННОЙ Волошина Т.В., Мачкаева Е.М.	95
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ, СПОСОБНЫХ КАТАБОЛИЗИРОВАТЬ АБСЦИЗОВУЮ КИСЛОТУ, НА РОСТ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗНОЙ ПЛОТНОСТИ ИХ ПОСАДКИ Высоцкая Л.Б., Мартыненко Е.В., Рябова А.С., Гаффарова Э.Р., Кузьмина Л.Ю., Четвериков С.П., Кудоярова Г.Р.	96
АКТИВНОСТЬ ГЕНА ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА <i>AV13</i> У СОРТООБРАЗЦОВ ГОРОХА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ СЕМЯН Гайнуллина К.П., Заикина Е.А., Кулуев Б.Р.	97
КСИЛОГЕНЕЗ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ: БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЯДРОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Никерова К.М., Корженевский М.А., Серкова А.А., Афошин Н.В., Семенова Л.И., Иванова Д.С., Софронова И.Н.	98
МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ АМИНОПОЛИКАРБОКСИЛАТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА Галиева Г.Ш., Курынцева П.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю.	99

ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ШТАММА <i>JANTHINOBACTERIUM LIVIDUM</i> IB-ST-GO НА РАЗВИТИЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ Галимзянова Н.Ф., Гильванова Е.А., Мильман П.Ю., Кузьмина Л.Ю.....	100
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕТАЛЬНОЙ ДОЗЫ ГЕРБИЦИДА VASTA ДЛЯ <i>IN VITRO</i> КУЛЬТУР МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ Галимова А.А., Ибрагимова З.А., Рахматулина И.Ф., Кулуев Б.Р.	101
РИЗОСФЕРНЫЕ БАКТЕРИИ АРИДНОЙ ЗОНЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ АГРОЦЕНОЗОВ Гальперина А.Р., Сопрунова О.Б.	102
АФФИННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ РЕЦЕПТОРОВ К АНАЛОГУ ТИРОКСИНА ИЗ ТКАНЕЙ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ Гарипова М.И., Федяев В.В., Дацко О.И.....	103
ПОИСК БИОМАРКЕРОВ ЭФФЕКТИВНОГО СИМБИОЗА НЕРИЗОБИАЛЬНЫХ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ С БОБОВЫМИ РАСТЕНИЯМИ Гарипова С.Р.	104
БИОЭНЕРГЕТИКА ДЫХАНИЯ И МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ В РАСТЕНИЯХ Гармаш Е.В.....	105
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭНЕРГОДИССИПИРУЮЩИХ СИСТЕМ МИТОХОНДРИЙ И ХЛОРОПЛАСТОВ В РАСТЕНИЯХ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ Гармаш Е.В., Шелякин М.А., Малышев Р.В., Силина Е.В., Дымова О.В.	106
ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ Гераськин С.А., Битаршвили С.В., Васильев Д.В.	107
НАКОПЛЕНИЕ БЕЛКОВ ТЕПЛОВОГО ШОКА В ХВОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЯ РОДА PINUS В ПОСТПИРОГЕННЫЙ ПЕРИОД Гетте И.Г., Пахарькова Н.В., Коротаяева Н.Е., Боровский Г.Б., Косов И.В.....	108
БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФИТОПАТОГЕННОЙ БАКТЕРИИ <i>VACILLUS PUMILUS</i> , ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ ГУСЕНИЦ ОХРИДСКОГО МИНЕРА Глинская Е.В., Тарасова А.В.	109
КРУГОВОРОТ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ НОВЫЙ ПУТЬ МЕТАБОЛИЗМА АБК У РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ Гоголев Ю.В., Юзихин О.С., Шапошников А.С., Коннова Т.А., Хамо Х., Ермеккалиев Т.С., Гоголева Н.Е., Камнев А.А., Белимов А.А.....	110
СПЕЦИФИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ <i>LYSCHNIS CHALCEDONICA</i> , ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЭКСПЛАНТОВ РАЗНЫХ ОРГАНОВ Головацкая И.Ф., Медведева Ю.В., Кадырбаев М.К.....	111
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОВАЛЕНТНЫХ ПЕПТИДНЫХ АДДУКТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОДЕЛЬНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДЕКАПЕПТИДОВ С ВТОРИЧНЫМИ МЕТАБОЛИТАМИ РАСТЕНИЙ Голушко Н.И., Билова Т.Е., Ерофеева Н.О., Алхаже К., Соболева А.В., Фролов А.А.	112
ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ПЛОДОНОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ Гончарова Э.А.	113

НАКОПЛЕНИЕ ФЕНИЛПРОПАНОИДОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ Гончарук Е.А., Казанцева В.В., Катанская В.М., Тайрекбяров Т.Х., Назаренко Л.В.	114
ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ СПРУТ ЭКСТРА И ФОРВАРД НА РАЗВИТИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ ГОРОХА (<i>PISUM SATIVUM</i> L.) Горшков А.П., Кусакин П.Г., Цыганова А.В., Цыганов В.Е.....	115
РАСТИТЕЛЬНЫЕ ЛЕКТИНЫ: РАЗНООБРАЗИЕ, ОСОБЕННОСТИ, ФУНКЦИИ Горшкова Т.А.	116
МИТОХОНДРИИ РАСТЕНИЙ ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ Грabelных О.И., Яковенко К.В., Скрыбыкина С.Р., Полякова Е.А., Корсукова А.В., Степанов А.В., Федотова О.А., Забанова Н.С., Любушкина И.В., Побежимова Т.П., Боровский Г.Б., Войников В.К.....	117
ВРЕМЯРАЗРЕШЕННОЕ КАРТИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭМИССИИ В ФИТОЦЕНОЗАХ: ОТ ФЕНОСПЕКТРАЛЬНОЙ ГХ-МС-АУКСАНОМЕТРИИ ДО СЕТИ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ Градов О.В.	118
РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ РАСТЕНИЕМ-ФИТОРЕМЕДИАНТОМ И МИКРООРГАНИЗМАМИ БИОПРЕПАРАТА В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Григориади А.С., Зобкова Н.В., Сотникова Ю.М.	119
ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФОТОСИНТЕЗА БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ (<i>BETULA PLATYPHYLLA</i>) В ЯКУТИИ Григорьев М.Р., Максимов Т.Х., Максимов А.П.	120
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАМ-ФЛУОРИМЕТРИИ И NS-ИМИДЖИНГА В ДОСИМПТОМНОЙ ДЕТЕКЦИИ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ В РАСТЕНИЯХ <i>NICOTIANA BENTHAMIANA</i> Гришина А.И., Жаворонкова А.С., Агеева М.Н., Брилкина А.А., Воденеев В.А.	121
ПРОТЕОМНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ РОЛИ РОСТ-СТИМУЛИРУЮЩИХ РИЗОБАКТЕРИЙ В УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ТОМАТА (<i>SOLANUM LYCOPERSICON</i>) К ЗАСУХЕ Гурина А.К., Фролова Н.В., Горбач Д.П., Лукашева Е.М., Кузнецова А.В., Шумилина Ю.С., Алхаже К., Билова Т.Е., Орлова А.А., Силинская С.А., Черевацкая М.А., Шапошников А.И., Сырова Д.С., Фролов А.А., Белимов А.А.....	122
АРХИТЕКТУРА МЕЛАНИНОВОГО СЛОЯ ТАЛЛОМОВ ЛИШАЙНИКОВ ПРИ УФ-ИЗЛУЧЕНИИ Даминова А.Г., Рассабина А.Е., Хабибрахманова В.Р., Беккет Р.П., Минибаева Ф.В.	123
ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ Данилова Е.Д., Ефимова М.В.	124
ЖАСМОНАТЫ ПОДАВЛЯЮТ УСТОЙЧИВОСТЬ ПШЕНИЦЫ К <i>VOTRYTIS CINEREA</i> Дегтярёв Е.А., Пиголев А.В., Мирошниченко Д.Н., Савченко Т.В., Фролов А.А.....	125
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ Дейнеко Е.В.	126
ИНДУЦИРОВАННЫЙ МОРФОГЕНЕЗ КЛЕЩЕВИНЫ В УСЛОВИЯХ <i>IN VITRO</i> Демиденко Д.В., Варламова Н.В.	127

АФК/Са-СИГНАЛЬНЫЙ ХАБ КЛЕТОК ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ: МЕХАНИЗМ РАБОТЫ И ФУНКЦИИ Демидчик В.В.	128
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ БЫСТРОГО ВЕТВЛЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ Демченко К.Н., Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л.	129
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ СТРЕССА ЗАСУХИ <i>IN VITRO</i> ДЛЯ АССОЦИИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ И РИЗОБАКТЕРИЙ Денисова А.Ю., Ткаченко О.В., Евсева Н.В., Бурьгин Г.Л., Каргаполова К.Ю., Широков А.А., Позднякова Н.Н.	130
ПЕПТИДНЫЕ ГОРМОНЫ РАСТЕНИЙ Додуева И.Е.	131
ВЫЯВЛЕНИЕ СПЕКТРА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОТИВОВ СВЯЗЫВАНИЯ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ В CHIP-SEQ ДАННЫХ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> L. Долгих В.А., Землянская Е.В., Левицкий В.Г.	132
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НУТА И ЧИНЫ Донская М.В., Донской М.М.	133
ВОЗРАСТНЫЕ И АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИСТЬЕВ ЗИМНЕ-ЗЕЛЕННОГО ТРАВЯНИСТОГО РАСТЕНИЯ <i>AJUGA REPTANS</i> L. В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ Дымова О.В., Захожий И.Г., Головкин Т.К.	134
ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТЕЧНЫХ БЕЛКОВ SVX44 И SVX45 <i>DICKEYA SOLANI</i> НА ИММУННЫЕ ОТВЕТЫ РАСТЕНИЙ Дьяконова А.А., Тендюк Н.В., Петрова О.Е., Горшков В.Ю.	135
РОЛЬ ФИТОЦИАНИНА В РАЗВИТИИ ТАЛЛОМА <i>MARCHANTIA POLYMORPHA</i> : КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЕКТОРА ДЛЯ НОКАУТИРОВАНИЯ ГЕНА MPPC С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ CRISPR/CAS9 Дядькина И.В., Валеева Л.Р.	136
РИЗОБАКТЕРИИ И ИХ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДЫ В РЕГУЛИРОВАНИИ ПРО/АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В РАСТЕНИЯХ <i>IN VITRO</i> И <i>IN VIVO</i> Евсева Н.В., Егоренкова И.В., Ткаченко О.В., Денисова А.Ю., Трегубова К.В., Позднякова Н.Н., Бурьгин Г.Л.	137
ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ <i>LILIUM PILOSIUSCULUM</i> (FREYN) MISCZ. Егоров Ю.А., Охлопкова Ж.М.	138
САЛИЦИЛАТ-ИНДУЦИРУЕМЫЕ ХИТИНАЗА-ПОДОБНЫЕ БЕЛКИ КОРНЕЙ ГОРОХА Егорова А.М.	139
ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕФИЦИТУ КИСЛОРОДА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕАЭРАЦИИ Емельянов В.В.	140

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАННОЙ СРЕДЫ НА ПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ СУСПЕНЗИОННЫХ КУЛЬТУР КЛЕТОК РАСТЕНИЙ	
Еремеева Е.А., Носов А.В., Титова М.В., Фоменков А.А., Клычников О.И.	141
КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У ТАБАКА ПРИ ЗАСОЛЕНИИ И В ПОСТСТРЕССОВЫЙ ПЕРИОД	
Ермошин А.А., Тугбаева А.С., Галишев Б.А., Киселёва И.С.	142
ФИТОГОРМОН КИНЕТИН И СВОБОДНЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА	
Ершова А.Н., Стерлигова И.А.	143
СМЕЩЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ПУТИ ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА В РАДИАЛЬНОМ РЯДУ ЗАБОЛОННАЯ - ЯДРОВАЯ ДРЕВЕСИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПРИМЕРЕ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.	
Ершова М.А., Галибина Н.А., Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Тарелкина Т.В., Афошин Н.В.	144
АНТИОКСИДАНТЫ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ	
Жигачева И.В., Генерозова И.П.	145
НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА КАК АДАПТОГЕНЫ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ ПШЕНИЦЫ	
Жукова К.В., Дерябин А.Н., Соколов А.О., Венжик Ю.В.	146
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РОСТИНГИБИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЦИНКА У ГИПЕРАККУМУЛЯТОРА <i>NOCCAEA CAERULESCENS</i> И ИСКЛЮЧАТЕЛЯ <i>MICROTHLASPI PERFOLIATUM</i>	
Жуковская Н.В., Иванов В.Б., Кожевникова А.Д., Лунькова Н.Ф., Лыкова Т.Ю., Серегин И.В.	147
ПРОЯВЛЕНИЕ НУКЛЕОТИПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ РОСТЕ И РАЗВИТИИ РАСТЕНИЙ	
Жуковская Н.В., Лунькова Н.Ф., Иванов В.Б.	148
РОЛЬ ГЕНОВ <i>TADREB</i> И <i>TAWRKY</i> В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ	
Заикина Е.А., Кулуев Б.Р.	149
СОМАКЛОНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОРФОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ ЛИСТОВЫХ ЭКСПЛАНТОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>RHODODENDRON</i> ПРИ НЕПРЯМОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ.	
Зайцева Ю.Г., Асбаганов С.В.	150
БИОТЕХНОЛОГИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ <i>HYDRANGEA PANICULATA</i> SIEBOLD.	
Зарипова А.А.	151
ЦИТОКИНИНЫ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР ГАМЕТОФИТНОЙ САМОНЕСОВМЕСТИМОСТИ У <i>SOLANACEAE</i>	
Захарова Е.В., Ханина Т.П.	152
КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ КАСКАДОВ, ИНДУЦИРУЕМЫХ ФИТОГОРМОНАМИ	
Землянская Е.В., Омельянчук Н.А., Лавреха В.В.	153

ВКЛАД ФЛОЭМНЫХ ВОЛОКОН В РЕАЛИЗАЦИЮ ГРАВИТРОПИЧЕСКОГО ОТВЕТА Ибрагимова Н.Н., Сибгатуллин Т.А., Сауткина О.В.	154
НАКОПЛЕНИЕ ПРОЛИНА В ЛИСТЬЯХ ПШЕНИЦЫ КАК СЛЕДСТВИЕ НАРУШЕНИЯ С/N-БАЛАНСА ПОСЛЕ ИНКУБАЦИИ РАСТЕНИЙ В ТЕМНОТЕ Иванов А.А.	155
НЕБЛАГОПРИЯТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ КОРНЕЙ И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ СМЯГЧАЕТСЯ ПРИ ИХ ЛОКАЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ Иванов И.И., Коробова А.В., Ахиярова Г.Р., Кудоярова Г.Р.	156
РОЛЬ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В РЕГУЛЯЦИИ АКТИВНОСТИ АКВАПОРИНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АБК Иванов Р.С., Шарипова Г.В., Ахиярова Г.Р., Шишова М.Ф., Нужная Т.В., Веселов Д.С.	157
МЕЗОФИЛЛ ЛИСТА КАК СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЙ ФОТОСИНТЕЗА В ЛИСТЬЯХ ИНВАЗИОННЫХ C ₃ -РАСТЕНИЙ Иванова Л.А., Иванов Л.А., Валиева П.К., Юдина П. К., Мигалина С.В., Журавлев А.С., Халугин А.А., Кузьмин И.В., Ронжина Д.А.	158
ВЛИЯНИЕ НАНОКРЕМНИЯ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗ И КАТАЛАЗ ПРОРОСТКОВ СОИ Иваченко Л.Е., Цыцеева М.О., Терехова О.А., Кузнецова В.А.	159
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЛАКОВ К ДЕФИЦИТУ ЦИНКА Игнатенко А.А., Батова Ю.В., Холопцева Е.С., Таскина К.Б., Казнина Н.М.	160
ОСОБЕННОСТИ СОМАТИЧЕСКОГО ЭМБРИОГЕНЕЗА <i>PINUS SYLVESTRIS</i> И <i>PICEA ABIES</i> Игнатенко Р.В., Галибина Н.А., Ершова М.А., Чирва О.В., Тихомирова С.И., Померанец А.К.	161
БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА BORAGINACEAE Икконен Е.Н., Пустовойтов К.Е., Гольева А.А., Мергелов Н.С., Николаева Н.Н., Чаженгина С.Ю., Сибелев О.С.	162
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТРАДИЦИОННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ Исламова З.М., Сергеев В.С.	163
ПОИСК ГЕНОВ АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ <i>FILIPENDULA ULMARIA</i> МЕТОДОМ ТРАНСКРИПТОМНОГО АНАЛИЗА Истомина Е.А., Одинцова Т.И.	164
РОЛЬ МЕЛАТОНИНА И ИУК В ФОРМИРОВАНИИ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ РЕГЕНЕРАНТОВ КАРТОФЕЛЯ Кадырбаев М.К., Бойко Е.В., Лаптев Н.И., Головацкая И.Ф.	165
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСТАКТОВ РАСТЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ НИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ Казантаева М., Мешалкина Д.А., Силинская С.А., Орлова А.А., Сухих С.А., Бабич О.О., Фролов А.А.	166

ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ НА РОСТ И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ <i>TRITICUM AESTIVUM</i> (L.) Каменева И.А., Якубовская А.И., Смирнова И.И., Гритчин М.В.	167
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРАЙМИНГА ЛАКТОН- И КЕТОНСОДЕРЖАЩИМИ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ НА ОБРАЗОВАНИЕ КЛУБНЕЙ И СТОЛОНОВ КАРТОФЕЛЯ СОРТА ЛУГОВСКОЙ Каретников А.И., Дорофеев В.Ю., Медведева Ю.В., Ефимова М.В.	168
ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА Катаева М.Н., Беляева А.И.	169
СИНХРОННЫЕ БИОРИТМЫ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИСТОВОЙ КРОНЫ РАСТЕНИЙ Кашулин П.А., Калачева Н.В.	170
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ И КОЭВОЛЮЦИЯ БОБОВЫХ РАСТЕНИЙ ГАЛЕГОИДНОГО КОМПЛЕКСА И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С НИМИ ВИДОВ РИЗОБИЙ Кимеклис А.К., Андронов Е.Е., Хосид С.Л., Иголкина А.А., Карасев Е.С., Онищук О.П., Курчак О.Н., Проворов Н.А.	171
СИМБИОТЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС В КЛУБЕНЬКАХ ГОРОХА (<i>PISUM SATIVUM</i> L.), СФОРМИРОВАННЫХ “НОВЫМ” СИМБИОНТОМ <i>RHIZOBIUM LAGUERREAE</i> Киричек Е.А., Цыганова А.В., Цыганов В.Е.	172
РОЛЬ Н-АТФАЗЫ ПЛАЗМАЛЕММЫ В ПРОЦЕССЕ РОСТА КЛЕТОК КОЛЕОПТИЛЕЙ ПРОРОСТКОВ РИСА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА Кирпичникова А.А., Бикташева М.О., Богданова Е.М., Бертова А.Д., Кондратьева А.В., Смирнов П.Д., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.	173
МУЛЬТИГЕННОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ CRISPR/CAS9 В ИЗУЧЕНИИ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ АРХИТЕКТУРЫ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л., Кийкова Т.Ю., Демченко К.Н.	174
ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОМОТОРНОЙ ОБЛАСТИ ГЕНОВ <i>PPD-1</i> НА ВРЕМЯ КОЛОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ <i>T. AESTIVUM</i> , ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ Киселёва А.А., Тимонова Е. М., Бережная А.А., Салина Е.А.	175
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС РАЗНОВОЗРАСТНЫХ КЛЕТОК ПЕРВОГО ЛИСТА ЯЧМЕНЯ Киселева И.С., Синенко О.С., Тугбаева А.С., Ермошин А.А.	176
ВЛИЯНИЕ МЕМБРАН ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКОГО РЕТИКУЛУМА И ВАКУОЛЕЙ НА ИМПОРТ ДНК В МИТОХОНДРИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ (<i>SOLANUM TUBEROSUM</i>) Клименко Е.С., Тарасенко Т.А., Тарасенко В.И., Шмаков В.Н., Нестеркина И.С., Озолина Н.В., Кулинченко М.В., Константинов Ю.М.	177
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИЙ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (<i>Picea abies</i> (L.) Н. Karst.) К ПОСЛЕДСТВИЯМ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ Климова А.В., Галибина Н.А., Никерова К.М., Софронова И.Н., Новичонок Е.В., Пеккоев А.Н.	178

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПОСЕВОВ СОРТОВ РИСА Ковалев В.С., Скаженник М.А., Григорьев А.О., Пшеницына Т.С.....	179
РОЛЬ ГИСТИДИНА В ПОГЛОЩЕНИИ И ТРАНСПОРТЕ НИКЕЛЯ И ЦИНКА У ГИПЕРАККУМУЛЯТОРА <i>NOCCAEA CAERULESCENS</i> ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И КОМБИНИРОВАННОМ ДЕЙСТВИИ МЕТАЛЛОВ Кожевникова А.Д., Серегин И.В., Схат Х.....	180
ЭКСПРЕССИЯ РЕГУЛЯТОРНЫХ ГЕНОВ В ПРОЦЕССЕ ИНИЦИАЦИИ И РАЗВИТИЯ КЛУБНЕЙ Колачевская О.О., Ломин С.Н., Дейграф С.В., Романов Г.А.	181
ЦИТОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ <i>BETA VULGARIS L.</i> В СЕЛЕКЦИОННО-БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ Колесникова Е.О., Пономарева С.В., Бердников Р.В.	182
ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ЗАСОЛЕНИЮ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ Коломейчук Л.В., Воскобоев П.Д., Ефимова М.В.....	183
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА РАСТЕНИЙ Кондратьева А.В., Кирпичникова А.А., Шаварда А.Л., Шапиро А.С., Дубровский М.Д., Шишова М.Ф., Пузанский Р.К.....	184
РАЗРАБОТКА НАБОРОВ ПРАЙМЕРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГРИБОВ-ВОЗБУДИТЕЛЕЙ МУЧНИСТОЙ РОСЫ ИВЫ Кондратьева А.М., Ржевский С.Г., Федулова Т.П.....	185
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ И УГЛЕВОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЕМЕНАХ ДВУХ ВИДОВ КЛЕНА: АБОРИГЕННОГО <i>ACER TATARICUM L.</i> И ИНВАЗИОННОГО <i>ACER NEGUNDO L.</i> Кондратьева В.В., Семенова М.В., Куклина А.Г., Олехнович Л.С., Воронкова Т.В.	186
ПРЕДОСВЕЩЕНИЕ СЕМЯН <i>ARABIDOPSIS</i> СТИМУЛИРУЕТ НАКОПЛЕНИЕ ПРОТОХЛОРОФИЛЛИДА В ПРОРОСТКАХ ПРИ УЧАСТИИ ФИТОХРОМА А Коппель Л.А., Kim J-I., Volle C., Беляева О.Б., Синещёков В.А.	187
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЭКСПРЕССИЯ СЕМЕЙСТВ ГЕНОВ <i>SUT</i> , <i>SWEET</i> , <i>MST</i> В ТКАНЯХ СТВОЛА ДВУХ ФОРМ <i>BETULA PENDULA</i> Корженевский М.А., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Галибина Н.А., Горшков О.В...188	188
РОЛЬ ПЕРЕНОСЧИКОВ ЦИТОКИНИНОВ В КООРДИНАЦИИ РОСТА ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ Коробова А.В.	189
ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ТРАНСПОРТ АУКСИНОВ ИЗ ПОБЕГА В КОРНИ И ВЕТВЛЕНИЕ КОРНЕЙ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ Коробова А.В., Иванов Р.С., Высоцкая Л.Б., Тимергалина Л.Н., Нужная Т.В., Ахиярова Г.Р., Кузнецов В.В., Веселов Д.С. , Кудоярова Г.Р.	190
ПАРАМЕТРЫ ОТБОРА ГЕНОТИПОВ <i>LINUM USITATISSIMUM L.</i> К ЗАСУХЕ Королев К.П., Боме Н.А.	191
МИКРОБНО-РАСТИТЕЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ Коршунова Т.Ю., Кузина Е.В., Шарипова Ю.Ю., Мухаматдьярова С.Р., Рамеев Т.В., Искужина М.Г.	192

СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СВЕТА И АКТИВНОСТЬ RUBISCO
ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Косогова Т.М. 193

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ И АНАТОМИЧЕСКИХ ПОДТИПОВ C₄
ФОТОСИНТЕЗА В ТРИБЕ ZOYSEAE (ROACEAE)

Котева Н.К., Борисенко Т.А., Журбенко П.М., Морозов Г.А., Вознесенская Е.В. 194

ПОГЛОЩЕНИЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ ЭКЗОГЕННЫХ
ФОСФОЛИПИДОВ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ: АКТИВНОСТЬ, СТРУКТУРНЫЕ
ПРЕДПОЧТЕНИЯ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

Котлова Е.Р., Сенник С.В., Пожванов Г.А., Манжиева Б.С., Хакулова А.А., Серебряков Е.Б. 195

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА ФОТОСИНТЕЗ, РОСТ
И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ. РОЛЬ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ

Креславский В.Д., Худякова А.Ю., Пашковский П.П., Кособрюхов А.А. 196

МОРФОГЕНЕЗ *IN VITRO* В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ
LAVANDULA ANGUSTIFOLIA MILL.: ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Круглова Н.Н., Зинатуллина А.Е., Егорова Н.А. 197

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ И ПАРАМЕТРОВ
КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЭНТОМОПАТОГЕННОГО БИОИНСЕКТИЦИДА
НА ОСНОВЕ ШТАММА *BACILLUS THURINGIENSIS* 0371
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ R
И СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

Крыжко А.В. 198

АНАЛИЗ ПАТТЕРНА МЕТИЛИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ГЕНОВ,
КОНТРОЛИРУЮЩИХ ПЕРЕХОД *PISUM SATIVUM* L. ОТ СЕМЕНИ К ПРОРОСТКУ

Крылова Е.А., Вилис П.С., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К., Смоликова Г.Н., Медведев С.С. 199

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ АКВАПОРИНОВ В СИМБИОСИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ – ГРИБ
АРБУСКУЛЯРНОЙ МИКОРИЗЫ

Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Горбунова А.О., Ковальчук А.И., Юрков А.П. 200

ВЛИЯНИЕ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ *SINAPIS ALBA* L.

Крючкова Е. В. 201

МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ СКОРОСТИ ПОТОКОВ ВОДЫ ПО РАСТЕНИЮ
И ИХ СВЯЗЬ С ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Кудрярова Г.Р. 202

МЕХАНИЗМЫ ГИБЕЛИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ И ЕЛИ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО
ДЕФИЦИТА И ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ГОРМОНОВ

Кузнецов Вл.В., Злобин И.Е., Иванов Ю.В., Карташов А.В., Пашковский П.П., Ванкова Р.,
Добрев П., Иванова А.И., Сарвин Б.А., Ставрианиди А.Н. 203

ИЗМЕНЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ
АРАБИДОПСИСА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОГО СТИМУЛА

Кузнецова Д.В., Ладейнова М.М., Воденев В.А. 204

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И СВЯЗЬ С ЭКСПРЕССИЕЙ RUBISCO
У *GLEDTISIA TRIACANTHOS* L. В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Кузьмин П.А., Крылов П.А. 205

РОЛЬ ПРЕНИЛТРАНСФЕРАЗ В ФОРМИРОВАНИИ ТАЛЛОМА <i>MARCHANTIA POLYMORPHA</i> Кулаженко М.С., Валева Л.Р.	206
ВЛИЯНИЕ НИТРОЗО-N-МЕТИЛМОЧЕВИНЫ, ДИМЕТИЛМОЧЕВИНЫ И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДИПЛОИДНОЙ ПШЕНИЦЫ <i>TRITICUM SINSKAJAE</i> FILAT. ET KURK. Кулуев А.Р., Кулуев Б.Р., Чемерис А.В.	207
ТРАНСГЕННЫЕ КОРНИ – МОДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ РОСТА И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ Кулуев Б.Р., Мусин Х.Г., Бережнева З.А., Гумерова Г.Р., Баймухаметова Э.А., Михайлова Е.В., Галимова А.А., Федяев В.В., Ибрагимова З.А.	208
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ЛИСТОВОГО САЛАТА (<i>LACTUCA SATIVA</i> L.) НА ВНЕСЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ ЦБК В ПОЧВУ, ЗАГРЯЗНЕННУЮ СВИНЦОМ Курбатов А.А., Икконен Е.Н., Юркевич М.Г.	209
МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ <i>DRACOCERPHALUM JACUTENSE</i> PESCHKOVA Кучарова Е.В., Охлопкова Ж.М.	210
ВЛИЯНИЕ МИКОРИЗЫ НА СОСТАВ, СВОЙСТВА И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР Кызин А.А., Минеев Я.П.	211
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОРМ ДИКОЙ СОИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСАТЕЛЛИТНОГО АНАЛИЗА Лаврентьева С.И.	212
ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ В ПОЛУЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ НЕЙРОСЕТЬЮ Ладан С.С., Воробьев В.И., Буданов А.В., Бурынин Д.А.	213
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ГОРМОНАЛЬНОЙ СИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ИНДУКЦИИ СИСТЕМНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ Ладейнова М.М.	214
ДЕЙСТВИЕ ИНГИБИТОРОВ ПРОЦЕССА N-ГЛИКОЗИЛИРОВАНИЯ БЕЛКОВ НА РОСТ ПРОРОСТКОВ <i>LINUM USITATISSIMUM</i> L. Ларская И.А., Абдрахимов Ф.А., Федина Е.О.	215
УСТОЙЧИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ Ласточкина О.В.	216
ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОПУЛЯЦИЙ ДУБА И БЕРЕЗЫ НА УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ С ПОМОЩЬЮ SSR Лебедев В.Г., Евлаков П.М., Гродецкая Т.А., Исаков И.Ю., Попова А.А., Ромашкина И.В., Шестибратов К.А.	217
ВЛИЯНИЕ ДЛИННЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ И КРУГЛОСУТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ <i>NICOTIANA TABACUM</i> В РАССАДНЫЙ ПЕРИОД Левкин И.А., Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г.	218

ТРАНСКРИПТОМНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ МИКОБИОНТА И ФОТОБИОНТА ЛИШАЙНИКА <i>LOBARIA PULMONARIA</i> ПРИ УФ-ИНДУЦИРОВАННОЙ МЕЛАНИЗАЦИИ	
Лексин И.Ю., Шелякин М.А., Минибаева Ф.В.....	219
СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ МЕХАНИЗМОВ ЦИТОКИНИНОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ У РАСТЕНИЙ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТИХ ЗНАНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АГРОКУЛЬТУР	
Ломин С.Н.....	220
РОСТОВЫЕ, БИОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СУСПЕНЗИОННЫХ КУЛЬТУР КЛЕТОК <i>PANAX VIETNAMENSIS</i> НА ЕТ GRUSHV.	
Лунькова М.К., Титова М.В., Попова Е.В., Прудникова О.Н., Тюрина Т.М., Клычников О.И., Метальников П.С., Цветкова Е.В., Орлова А.А., Носов А.М.....	221
ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА <i>RVCL</i> И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА <i>RVCL</i> У ВИДОВ С РАЗНЫМ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА ПРИ ДЕЙСТВИИ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	
Лунькова Н.Ф., Прокофьева М.Ю., Халилова Л.А., Шуйская Е.В.	222
ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ВИНОГРАДА НА СУБОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКТОРОВ УСТОЙЧИВОСТИ	
Луцкий Е.О., Сундырева М.А.....	223
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ У РАСТЕНИЙ <i>MICROTHLASPI PERFOLIATUM</i> И <i>NOSSAEA</i> <i>CAERULESCENS</i>	
Лыкова Т.Ю., Кожевникова А.Д., Злобин И.Е., Карташов А.В., Серегин И.В.....	224
ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА КАК ФАКТОР СТРЕССА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ШОКА. ВЛИЯНИЕ НА ФОТОСИСТЕМЫ 1 И 2.	
Лысенко Е.А., Козулева М.А., Клаус А.А., Пшибытко Н.Л., Кузнецов В.В.	225
РЕГУЛЯЦИЯ БАЛАНСА ФОТОСИНТЕЗ/ДЫХАНИЕ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ АКТИВАЦИИ ФИТОХРОМНОЙ СИСТЕМЫ И ДИНАМИКА РОСТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ КС-ОБЛУЧЕНИИ ЦЕЛОГО РАСТЕНИЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ	
Любимов В.Ю., Кособрюхов А.А.	226
МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ГРАДИЕНТЫ В СОЦВЕТИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ФАЗУ ПРЕДКОЛОШЕНИЯ	
Любушкина И.В., Полякова М.С., Поморцев А.В., Кириченко К.А., Забанова Н.С., Корсукова А.В., Грабельных О.И., Побежимова Т.П., Дударева Л.В., Войников В.К.....	227
СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННАЯ АУТОФАГИЯ В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ: РОЛЬ S-НИТРОЗИЛИРОВАНИЯ БЕЛКОВ	
Мазина А.Б., Газизова Н.И., Даминова А.Г., Соловьева М.А., Шумилина Ю.С., Горбач Д.П., Лукашева Е.М., Фролов А.А., Минибаева Ф.В.....	228
РЕАКЦИЯ ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА <i>SOLANUM TUBEROSUM</i> НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА	
Макеева И.Ю., Пузина Т.И.....	229
ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ С КОМПЛЕКСНОЙ ФИТОАДАПТИВНОЙ АКТИВНОСТЬЮ	
Максимов И.В.....	230

ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНОГО ГАЗООБМЕНА ЭКОСИСТЕМ КРИОЛИТОЗОНЫ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА Максимов Т.Х.....	231
ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕМЛИКА ТЁМНО- КРАСНОГО (<i>ORCHIDACEAE</i>) НА СЕРПЕНТИНОВЫХ ОТВАЛАХ ПОСЛЕ ДОБЫЧИ АСБЕСТА Малева М.Г., Чукина Н.В., Елькина А.В., Синенко О.С., Борисова Г.Г.....	232
ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ АЭРЕНХИМЫ В КОРНЯХ ЯЧМЕНЯ (<i>HORDEUM VULGARE</i> L.) В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ГИПОКСИИ Малыгин М.В., Васенькова Л.В., Киселёва И.С.	233
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦЕЛЕВОГО LC-MS/MS АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПОЛЯРНЫХ ГЛИЦЕРОЛИПИДОВ Манжиева Б.С., Сенник С.В., Серебряков Е.Б., Хакулова А.А., Котлова Е.Р.....	234
РАЗРАБОТКА ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ФИТОЭФФЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ЯЧМЕНЯ (<i>HORDEUM VULGARE</i>) Маргарит А.А., Орлова А.А., Силинская С.А., Горбач Д.П., Баснет А., Черепанов И.А., Калагнова Н.В., Черевацкая М.А., Билова Т.Е., Камионская А.М., Вессйоханн Л.А., Соболева А.В., Фролов А.А.....	235
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНОМОВ ГРИБОВ-ВОЗБУДИТЕЛЕЙ РОЗОВОЙ СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ Маренина Е.А., Мещеров А.Р., Гоголева О.А., Гоголева Н.Е., Гоголев Ю.В., Горшков В.Ю.	236
ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ РАЗНЫХ СОРТОВ ФАСОЛИ В НОРМЕ И В УСЛОВИЯХ СТРЕССА Маркова О.В.	237
ВЛИЯНИЕ РОСТСТИМУЛИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ АПОПЛАСТНЫХ БАРЬЕРОВ И ИОННЫЙ ГОМЕОСТАЗ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ Мартыненко Е.В., Архипова Т.Н., Ахтямова З.А.	238
АНТИОКСИДАНТНАЯ СИСТЕМА В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОКСИДА АЗОТА НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ ПРИ ЗАСОЛЕНИИ Масленникова Д.Р.....	239
ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГРИБА <i>RHIZOCTONIA SOLANI</i> И БАКТЕРИЙ <i>BACILLUS THURINGIENSIS</i> Масленникова В.С., Бедарева Е.В., Цветкова В.П., Калмыкова Г.В., Дубовский И.М. ..	240
ИЗУЧЕНИЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ: ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОХВАТ, ПЕРСПЕКТИВЫ Масягина О.В., Евграфова С.Ю., Сиделева Е.В., Ситникова М.В., Ковалева Н.М., Меняйло О.В., Матвиенко А.И.	241
ПОТОКИ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ: ИНКУБАЦИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ Матвиенко А.И., Евграфова С.Ю., Сиделева Е.В., Ситникова М.В., Ковалева Н.М., Меняйло О.В., Масягина О.В.....	242

АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ РАСТЕНИЙ ФАСОЛИ СОРТА УФИМСКАЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН ГРАДИЕНТОМ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГЕТЕРОАУКСИНА	Матюнина В.Д., Чистоедова А.В., Маркова О.В., Лубянова А.Р., Гарипова С.Р.....	243
ВЛИЯНИЕ МИКРОГРАВИТАЦИИ, МОДЕЛИРОВАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВА СЛУЧАЙНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, НА РОСТ ПРОРОСТКОВ АРАБИДОПСИСА: ОМИКСНЫЙ ПОДХОД	Медведев С.С., Смоликова Г.Н., Пожванов Г.А., Уткин А.Д., Попова В.В., Васильев А.С., Билова Т.Е., Фролова Н.А., Крылова Е.А., Фролов А.А.	244
ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ В ОТВЕТ НА ДЕЙСТВИЕ НЕКОТОРЫХ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	Мейчик Н.Р., Николаева Ю.И., Кушунина М.А., Никушин О.В.....	245
ЭВОЛЮЦИЯ И РАЗНООБРАЗИЕ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК: ОТ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДО ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ	Микшина П.В., Чернова Т.Е., Горшкова Т.А.	246
ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: НОВЫЕ РОЛИ В СТРЕССОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ	Минибаева Ф.В.....	247
ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, АКТИВИРОВАННОЙ ПЛАЗМОЙ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА, НА ПРОДУКТИВНОСТЬ <i>BETA VULGARIS</i> L.	Минич А.С., Минич И.Б., Чурсина Н.Л., Васильев С.Е., Финичёва А.А.....	248
БИОАЗФК – АЛЬТЕРНАТИВА МИНЕРАЛЬНЫМ УДОБРЕНИЯМ	Миннебаев Л.Ф., Сергеев В.С.....	249
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ <i>WITHANIA SOMNIFERA</i> И <i>WITHANIA COAGULANS</i>	Михайлова Е.В.....	250
ОПЫТ РЕДАКТИРОВАНИЯ ГЕНОМОВ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМОТОРОВ	Михайлова Е.В., Панфилова М.А., Хуснутдинов Э.А.	251
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЯХ <i>IN VIVO</i> И <i>IN VITRO</i>	Михайлова И.Д., Лукаткин А.С.	252
АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В.	253
НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У РАСТЕНИЙ <i>OXYCOCUS MACROCARPUS</i> (AIT.) PERS. ПРИ ИХ СОКУЛЬТИВИРОВАНИИ С МИКРОМИЦЕТОМ <i>OIDIODENDRON MAIUS</i> BARRON В УСЛОВИЯХ <i>IN VITRO</i>	Михеев В.С., Березина Е.В., Лебедева А.А., Агеева М.Н., Брилкина А.А., Стручкова И.В.	254
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИСТЬЕВ ПОЗДНЕЛЕТНИХ СОРТОВ ГРУШИ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	Мишко А.Е., Можар Н.В., Вялков В.В., Ключкина А.В.	255
БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ	Моисеенко Е.Е., Цветкова Е.В., Дунаева А.Е., Романовская Е.В., Силинская С.А., Мешалкина А.А., Орлова А.А., Синетова М.А., Фролов А.А., Лось Д.А.	256

ЧТО МЫ ЗНАЕМ О БИОСИНТЕЗЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ? Мокшина Н.Е., Микшина П.В., Горшкова Т.А.....	257
ВЛИЯНИЕ ИОНОВ АММОНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ПОГЛОЩЕНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ НИТРАТОВ РАСТЕНИЯМИ КИТАЙСКОЙ КАПУСТЫ (<i>BRASSICA CHINENSIS</i> L.) Морозов Я.В.	258
ОСОБЕННОСТИ ЛИПИДНОГО СОСТАВА РАСПУСКАЮЩИХСЯ ПОЧЕК РАСТЕНИЙ РОДА <i>BETULA</i> L. Морозова И.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В.....	259
ОСОБЕННОСТИ САХАРОЗНОГО СИГНАЛИНГА У КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ Мощенская Ю.Л., Галибина Н.А., Корженевский М.А., Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Никерова К.М., Софронова И.Н., Семенова Л.И.	260
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЗАЦИИ НА РИЗОСФЕРНЫЙ МИКРОБИОМ, ФИЗИОЛОГО- БИОХИМИЧЕСКИЕ И РЕМЕДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА <i>MISCANTHUS</i> × <i>GIGANTEUS</i> , ВЫРАЩЕННОГО В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВЕ Муратова А.Ю., Сунгурцева И.Ю., Турковская О.В., Нуржанова А.А.	261
РЕГУЛЯЦИЯ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ЛАКТОН- И КЕТОНСОДЕРЖАЩИМИ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ Мурган О.К., Ефимова М.В.	262
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТОЙ 14,3 ГЦ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ Мшенская Н.С., Сеницына Ю.В., Кальясова Е.А., Гринберг М.А., Ильнин Н.В.	263
УЧАСТИЕ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ NLP У <i>SOLANUM TUBEROSUM</i> В ОБЕСПЕЧЕНИИ ОТВЕТА НА ПРИСУТСТВИЕ АЗОТА В СРЕДЕ Мыскова А.В., Ганчева М.С., Лутова Л.А.	264
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ ЦИТОКИНИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ STNК2, STNК3 И STNК4 В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ/ТКАНЯХ КАРТОФЕЛЯ. РОЛЬ ЭКЗОГЕННОЙ САХАРОЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ Мякушина Ю.А., Колачевская О.О., Гетман И.А., Синькевич И.А., Архипов Д.В., Дейграф С.В., Романов Г.А.....	265
МОЛЕКУЛЯРНОЕ КЛОНИРОВАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКА SaNRT1.1/NPF6.3 СЕМЕЙСТВА НИТРАТНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ NRT1/NPF ЭУГАЛОФИТА <i>SUAEDA ALTISSIMA</i> (L.) Pall. Неделяева О.И., Храмов Д.Е., Коношенкова А.О., Балнокин Ю.В.	266
ПОЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ ТАБАКА <i>NICOTIANA TABACUM</i> L. С РЕДАКТИРОВАННЫМ ГЕНОМ КРАХМАЛ-ФОСФОРИЛАЗЫ <i>PHO1a</i> Нежданова А.В., Щенникова А.В.....	267
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХНИЗКИХ ЧАСТОТ НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ Немцова Ю.А., Иванова А.В., Пирогова П.А., Ильин Н.В., Мареев Е.А., Воденев В.А., Гринберг М.А.....	268
ФЕНОЛЬНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ <i>VACCINIUM CORYMBOSUM</i> L. В УСЛОВИЯХ <i>IN VIVO</i> И <i>IN VITRO</i> Нечаева Т.Л., Зубова М.Ю., Стахеева Т.С., Васильева О.Г.....	269

РОЛЬ O ₂ /H ₂ O ₂ В РЕГУЛЯЦИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК КАМБИЯ ПРИ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЯХ КСИЛОГЕНЕЗА Никерова К.М., Галибина Н.А., Софронова И.Н., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Климова А.В., Тарелкина Т.В., Серкова А.В.....	270
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ НА РЕАКЦИЮ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИЗБЫТКЕ ЦИНКА Нилова И.А., Игнатенко А.А., Холопцева Е.С., Казнина Н.М.	271
МЕТАБОЛОМНЫЙ ПРОФИЛЬ ОВСА (<i>AVENA SATIVA</i> L.) ПОЗДНЕЛЕТНЕГО ПОСЕВА ПРИ ЗАКАЛИВАНИИ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ КРИОЛИТОЗОНЫ Нохсоров В.В., Слепцов И.В., Петров К.А.	272
РОЛЬ ЭФФЕКТОРА SNTOX1 ПАТОГЕННОГО ГРИБА <i>STAGONOSPORA NODORUM</i> (ВЕРК.) В РАЗВИТИИ ЭФФЕКТОР-ИНДУЦИРОВАННОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ Нужная Т.В., Веселова С.В., Максимов И.В.	273
ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КАДМИЯ НА РОСТ РАСТЕНИЙ <i>LEPIDIUM SATIVUM</i> Овсянникова И.В., Курамшина З.М.	274
ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА КАДМИЯ НА МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗНУЮ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНОЙ И ДИКОРАСТУЩЕЙ СОИ ПРИ ПРОРАСТАНИИ Огурцов И.Б.	275
РОЛЬ МИКРОДОМЕНОВ ПОГРАНИЧНЫХ МЕМБРАН (ПЛАЗМАЛЕММА, ТОНОПЛАСТ) В ЗАЩИТЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ ОТ ОСМОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ Озолина Н.В., Капустина И.С., Гурина В.В., Спиридонова Е.В., Нурминский В.Н.	276
БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. НА ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ МЕСТООБИТАНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ Опекунова М.Г., Гайдыш И.С., Никулина А.Р.	277
КОРНЕВИЩА ВАЛЕРИАНЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ – ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ И ИХ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ Орлова А.А., Уэйли А.К., Уэйли А.О., Мешалкина Д.А., Силинская С.А., Сухих С.А., Бабич О.О., Фролов А.А.	278
ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ СЕМЯН БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРЕПАРАТОМ НА АДАПТАЦИЮ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К АБИОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ Осипова Л.В., Быковская И.А., Хачатрян Д.С.	279
РЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ PH И ФОРМЫ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПОСТУПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАДМИЯ И ЦИНКА В КОРНЯХ И НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ АМАРАНТА Осмоловская Н.Г., Ву В.Д., Билова Т.Е., Кучаева Л.Н.	280
<i>POLYGALA SIBIRICA</i> L. КАК ИСТОЧНИК БАВ Охлопкова Ж.М., Разгонова М.П.	281
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ СУММЫ БИОФЛАВОНОИДОВ ГРЕЧИХИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ Павловская Н.Е., Гнеушева И.А., Горькова И.В., Попова А.Ю., Гагарина И.Н.	282
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СОЗДАНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ГЕНОТИПОВ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР Панфилова О.В., Kahramanoglu I., Okatan V., Ряго Н.В.	283

ВЛИЯНИЕ ИНТЕГРАЛА СУТОЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС РУККОЛЫ (<i>ERUCA SATIVA MILL</i>) Панфилова О.Ф., Коковьякина Л.Д., Тараканов И.Г.....	284
ЗЕЛЕНАЯ МИКРОВОДОРОСЛЬ <i>COELASTRELLA SP.</i> КАК ПРОДУЦЕНТ КАРОТИНОИДОВ Паршуков В.С., Андреева А.В., Дымова О.В.....	285
<i>PARMENA PONTOCIRCASSICA</i> - ВРЕДИТЕЛЬ СТВОЛОВ И ВЕТВЕЙ ОЛЕАНДРА ОБЫКНОВЕННОГО В ПАРКЕ «ДЕНДРАРИЙ» Г. СОЧИ Пастухова И.С.	286
ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ ЗАПАДНОГО САЯНА Пахарькова Н.В., Гетте И.Г., Масенцова И.В.	287
САЙТ-СПЕЦИФИЧЕСКОЕ ВСТРАИВАНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ГЕНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАСТЕНИЙ-ПРОДУЦЕНТОВ РЕКОМБИНАНТНЫХ БЕЛКОВ Пермякова Н.В., Белавин П. А., Маренкова Т.В., Загорская А.А., Сидорчук Ю.В., Уварова Е.А., Кузенцов В.В., Дейнеко Е.В.	288
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ПОЧВОУТОМЛЕНИИ Петренко С.В.....	289
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ОРГАНИЗМАМИ В АГРО- И БИОЦЕНОЗАХ ЯКУТИИ Петров К.А., Нохсоров В.В.	290
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ С ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ГЕНЕТИЧЕСКИ-КОДИРУЕМЫМИ СЕНСОРАМИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДЕЙСТВИЯ СТРЕССОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ Печёрина А.А., Агеева М.Н., Занегина Д.А., Димитриева А.А., Гринберг М.А., Ладейнова М.Н., Брилкина А.А., Воденеев В.А.	291
ФОРМИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ КОРНЯ У ПРОРОСТКОВ САЛАТА ПОСЕВНОГО <i>LACTUCA SATIVA L.</i> ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НЕЙТРОНАМИ В БОЛЬШИХ ДОЗАХ Платова Н.Г., Шуршаков В.А.....	292
СОСТОЯНИЕ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ У РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ Плотников А.А., Сафина И.И., Аллагулова Ч.Р., Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М.....	293
ИНТЕРНАЛИЗАЦИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ФОСФОЛИПИДОВ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ И УЧАСТИЕ АКТИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА Пожванов Г.А., Сенник С.В., Котлова Е.Р.....	294
ПЕРОКСИДАЗЫ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ПОЛЛЮТАНТНОМУ СТРЕССУ Позднякова Н.Н., Дубровская Е.В., Щербакова Е.В., Турковская О.В.....	295
ГОДИЧНАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «УРАЛ-КАРБОН» Полянская А.П., Бурлакова А.С., Синенко О.С., Ермошин А.А., Тугбаева А.А., Малева М.Г., Трубецкой Д.В., Киселева И.С.....	296

ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДИЗАЦИИ ВИДОВ <i>LARIX</i> В КУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i> Помыткин Н.С., Пак М.Э., Третьякова И.Н.	297
ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ДОНБАССЕ Попытченко Л.М., Решетняк Н.В., Полулях Н.Н.	298
ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ <i>CHENOPODIUM</i> <i>QUINOA</i> В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА Прокофьева М.Ю., Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В.	299
ВАРИАТИВНОСТЬ ПЕРВИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ Пузанский Р.К., Кирпичникова А.А., Шаварда А.Л., Шишова М.Ф.	300
МОДИФИКАЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ПРОРОСТКАХ <i>HORDEUM VULGARE</i> РАЗНОГО ВОЗРАСТА ПРИ ТЕПЛОМ СТРЕССЕ Пшибытко Н.Л., Крук Ю., Лысенко Е.А., Стржалка К., Демидчик В.В.	301
РОЛЬ МЕЛАНИНОВ В СТРЕССОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИШАЙНИКОВ Рассабина А.Е., Хабибрахманова В.Р., Даминова А.Г., Минибаева Ф.В.	302
ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ГАЛОФИТА <i>SEDOBASSIA SEDOIDES</i> С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ C ₃ -C ₄ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Прокофьева М.Ю., Саидова Л.Т.	303
ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ <i>IN VITRO</i> И РЕГЕНЕРАЦИЯ ПОБЕГОВ ИЗ ЭКСАЛАНТОВ КОРНЕЙ <i>STEMMACANTHA SERRATULOIDES</i> (GEORGI) M. DITRICH Рахматулина И.Ф., Минеев Я.П., Кулуев Б.Р.	304
ПОЛЯРНЫЕ ЛИПИДЫ МХА <i>HYLOCOMIUM SPLENDENS</i> : ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРОФИЛЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ СТРЕССЕ Ренкова А.Г., Хабибрахманова В.Р., Валитова Ю.Н., Галеева Е.И., Рахматулина Д.Ф., Минибаева Ф.В.	305
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОНТЕЙНЕРНЫХ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД, АКТУАЛЬНЫЕ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ШИРОТ Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Егорова А.В., Зайцева М.И., Нелаева К.Г.	306
ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЗЕЛЕНИ СЕМЕЙСТВА BRASSICACEAE Рубаева А.А., Шерудило Е.Г., Шибеева Т.Г.	307
РОЛЬ ТИЛАКОИДНЫХ КАРБОАНГИДРАЗ α КА4 И α КА5 В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> Руденко Н.Н., Пермьякова Н.В., Козулёва М.А., Горбачёва В.И., Невзорова А.А., Игнатова Л.К., Хорошаева Т.П., Надеева Е.М., Дейнеко Е.В., Иванов Б.Н.	308
БАКТЕРИИ <i>BACILLUS CEREUS</i> F УЛУЧШАЮТ РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ И ПРИДАЮТ ПОВЫШЕННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ К ФИТОПАТОГЕНАМ Рукавцова Е.Б., Захарченко Н.С., Звонарев А.Н., Сиунова Т.В., Кочетков В.В., Храмов Р.Н.	309

РОЛЬ СИГНАЛЬНОГО ПУТИ ЭТИЛЕНА В РАЗВИТИИ УСТОЙЧИВОСТИ К ОБЫКНОВЕННОЙ ЗЛАКОВОЙ ТЛЕ <i>SCHIZAPHIS GRAMINUM</i> (ROND.). Румянцев С.Д., Веселова С.В., Максимов И.В.	310
ПОИСК БАКТЕРИЙ, МЕТАБОЛИЗИРУЮЩИХ АБК, И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА РОСТ РАСТЕНИЙ Рябова А.С., Мартыненко Е.В., Кузьмина Л.Ю., Мильман П.Ю., Высоцкая Л.Б.	311
ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДНОГО N6-БЕНЗИЛАДЕНИНА С АНТИЦИТОКИНИНОВЫМ ДЕЙСТВИЕМ НА КЛУБНЕОБРАЗОВАНИЕ У КАРТОФЕЛЯ Савельева Е.М., Колачевская О.О., Ословский В.Е., Романов Г.А.	312
ЖАСМОНАТЫ В ПШЕНИЧНОМ ЗАЗЕРКАЛЬЕ Савченко Т.В., Пиголев А.В., Мирошниченко Д.Н., Дегтярев Е.А., Фролов А.А.	313
JETGENE – ВЕБ-РЕСУРС ДЛЯ СОЗДАНИЯ И АНАЛИЗА УЗКОСПЕЦИФИЧНЫХ ВЫБОРОК НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РАСТЕНИЙ Садовская Н.С., Мустафаев О.Н., Тюрин А.А., Голденкова-Павлова И.В.	314
АНАЛИЗ РЕГИОНА СИМБИОТИЧЕСКИХ ГЕНОВ НА <i>pSymA</i> <i>SINORHIZOBIUM MELILOTI</i> – СИМБИОНТОВ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР Саксаганская А.С., Мунтян В.С., Румянцева М.Л.	315
ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ, ОТВЕТСТВЕННЫЕ ЗА ВЫХОД КАЛИЯ ИЗ КЛЕТОК ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ: СТРОЕНИЕ, РЕГУЛЯЦИЯ И ФУНКЦИИ Самохина В.В., Мацкевич В.С., Гриусевич П.В., Змитрович И.В., Соколик А.И., Демидчик В.В.	316
ПОЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ – НОКАУТОВ <i>MARCHANTIA POLYMORPHA</i> ПО ГЕНАМ TRV1 И TVP1, И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОЛИ БЕЛКОВ В РЕГУЛЯЦИИ ДЛИНЫ ТЕЛОМЕР Санникова А.В., Шарипова М.Р., Шакиров Е.В., Валеева Л.Р.	317
ИММУНОЛОКАЛИЗАЦИЯ ГОРМОНОВ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЗАРОДЫШАХ ЯЧМЕНЯ <i>IN VIVO</i> Сельдимирова О.А., Галин И.Р.	318
РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ И КОНВЕРСИИ ЭКЗОГЕННЫХ ФОСФОЛИПИДОВ НА МОДЕЛИ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> Сеник С.В., Манжиева Б.С., Пожванов Г.А., Хакулова А.А., Серебряков Е.Б., Котлова Е.Р.	319
ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ РАПСА НА БЕЛОМ СВЕТУ Серафимович М.В., Сергеева М.Н., Ефимова М.В.	320
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОРАСТУЩИХ ФОРМ <i>NETULA</i> Сергеев Р.В., Хусаинова А.Р., Тимаков А.А.	321
ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ЦИНКА И НИКЕЛЯ У ИСКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ГИПЕРАККУМУЛЯТОРОВ ИЗ СЕМЕЙСТВА BRASSICACEAE Серегин И.В., Кожевникова А.Д., Схат Х.	322
ТРАНСПОРТ УГЛЕРОДА ПО ФЛОЭМЕ В КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ – ПУТЬ АДАПТАЦИИ СОСНЫ В РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ Серкова А.А., Тарелкина Т.В., Галибина Н.А., Мошников С.А., Иванова Д.С., Семенова Л.И.	323

РОЛЬ ГЕНА <i>MAKR6</i> В РЕГУЛЯЦИИ РАЗВИТИЯ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> L. Сидоренко А.Д., Новикова Д.Д., Миронова В.В., Землянская Е.В.	324
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ <i>GFP</i> -ГЕНА В ЛИСТЬЯХ ТРАНСПЛАСТОМНЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА (<i>NICOTIANA TABACUM</i> L.) Сидорчук Ю.В., Белавин П.А., Загорская А.А., Самодуров Д.Е., Хайрулина Е.С., Дейнеко Е.В.	325
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ОКСИДАЗА МИТОХОНДРИЙ ВЛИЯЕТ НА МЕТАБОЛИЗМ АСКОРБАТА Силина Е.В., Шелякин М.А., Гармаш Е.В.	326
РАЗРАБОТКА КЛЕТОЧНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТИНЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ И ИХ КОМПОНЕНТОВ Силинская С.А., Мешалкина Д.А., Фролов А.А.	327
ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПРИ ПОЗЕЛЕНЕНИИ ПЕРВОГО ЛИСТА ЯЧМЕНЯ Синенко О.С., Малева М.Г., Киселева И.С.	328
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ЧАСТОТОЙ 14,3 ГЦ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОРОСТКОВ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ Синицына Ю.В., Кальясова Е.А., Мшенская Н.С., Ашутова Е.А., Кощеева В.М., Ракова Ю.В.	329
ВЛИЯНИЕ САХАРОЗЫ И ЭКЗОГЕННОГО ЦИТОКИНИНА НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ СЕНСОРНЫХ ГИСТИДИНКИНАЗ КАРТОФЕЛЯ <i>SOLANUM TUBEROSUM</i> Синькевич И.А., Мякушина Ю.А., Колачевская О.О., Гетман И.А., Архипов Д.В., Дейграф С.В., Романов Г.А.	330
ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ АГРОЦЕНОЗОВ РИСА И МОНИТОРИНГ ИХ СОСТОЯНИЯ Скаженник М.А., Чижиков В.Н., Петрушин А.Ф., Киселев Е.Н., Балясный И.В., Метрофанов Е.П., Пшеницына Т.С.	331
АНТИМИКРОБНЫЕ ПЕПТИДЫ <i>THINOPYRUM ELONGATUM</i> Слезина М.П., Одинцова Т.И.	332
МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛИСТЬЕВ МЕЗОФИТНОГО И ГИДРОФИТНЫХ ВИДОВ КИПРЕЯ Смирнов П.Д., Пузанский Р.К., Ванисов С.А., Дубровский М.Д., Шаварда А.Л., Емельянов В.В.	333
ВЛИЯНИЕ РОСТСТИМУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К ДЕЙСТВИЮ КАДМИЯ Смирнова Ю.В., Лебедева Э.И., Кадырова М.Н.	334
ВЛИЯНИЕ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ ПУТИ БИОСИНТЕЗА ЖАСМОНАТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕМЯН МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ Смоленская А.Е., Силинская С.А., Орлова А.А., Мирошниченко Д.Н., Пиголев А.В., Савченко Т.В., Фролов А.А.	335
ФУНКЦИИ ХЛОРОФИЛЛОВ В СЕМЕНАХ РАСТЕНИЙ Смоликова Г.Н., Степанова Н.В., Медведев С.С.	336

КЛЕТОЧНАЯ СЕЛЕКЦИЯ ГОРОХА НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ Соболева Г.В., Соболев А.Н.....	337
ПЕРВИЧНЫЕ, ВТОРИЧНЫЕ И ТРЕТИЧНЫЕ ЭНДОСИМБИОЗЫ ХЛОРОПЛАСТОВ У РАСТИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ Стадничук И.Н., Кузнецов В.В.....	338
ФОТОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПЛОДОВ ГОРОХА (<i>PISUM SATIVUM</i> L.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА Степанова Н.В., Каминская А.М., Медведев С.С., Смоликова Г.Н.....	339
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА БАЗЕ КОЛЛЕКЦИИ БОРОДАТЫХ КОРНЕЙ ИФР РАН Степанова А.Ю., Соловьева А.И. Малунова М.В., Евсюков С.В.....	340
ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ ГРИБОВ–ЭНДОФИТОВ ВЕРЕСКОВЫХ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАСТЕНИЯ-ХОЗЯИНА Стручкова И.В., Михеев В.С., Марко А.А.	341
АНТАГОНИСТИЧЕСКОЕ И ИММУНОСТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> , ЗАСЕЛЯЮЩИМИ ВЕГЕТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ, В КОНТРОЛЕ МИЛДЬЮ ВИНОГРАДА Сундырева М.А.....	342
МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ САХАРОЗЫ НА ГРАВИТРОПИЗМ ПОБЕГОВ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> Суслов Д.В., Пожванов Г.А., Липчинский А.А.....	343
КООРДИНАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ В ОТВЕТ НА ВОДНЫЙ СТРЕСС Суслов М.А.....	344
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛЯЦИИ ТРАНСЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ (НА МОДЕЛИ ТОМАТА) В УСЛОВИЯХ ХОЛОДОВОГО СТРЕССА Сухорукова А.В., Тюрин А.А., Голденкова-Павлова И.В.....	345
ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ <i>SOLANUM TUBEROSUM</i> L. Сушкова Д.В., Мурган О.К., Ефимова М.В.....	346
ГИДРОФОБИНЫ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ <i>MICRODOCHIUM NIVALE</i> – ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ОРУДИЕ ДЛЯ КОЛОНИЗАЦИИ РАСТЕНИЯ-ХОЗЯИНА Сыромятникова Е.Д., Тендюк Н.В., Горшков В.Ю.	347
ИЗОЛИРОВАННЫЕ ПРОТОПЛАСТЫ РАСТЕНИЙ: МЕТОДИКА, КОТОРАЯ ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЙТИ ЗА РАМКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ Сырчина Н.Г., Мокшина Н.Е.	348
АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПИГМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (<i>BETULA PENDULA</i> ROTH) В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН, УФИМСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР) Тагирова О.В., Гиниятуллин Р.Х., Иванов Р.С., Кулагин А.Ю.....	349
ПЛАТФОРМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ФЕНОТИПИРОВАНИЮ РАСТЕНИЙ В ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ Тараканов И.Г., Слепцов Н.Н., Анташкевич А.А., Котов Г.Е.....	350

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И РАЗВИТИЯ Тарасов С.С., Крутова Е.К.....	351
ВОЗРАСТ ИНИЦИАЦИИ ЯДРОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СТВОЛАХ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ Тарелкина Т.В., Галибина Н.А., Ершова М.А., Мошников С.А., Никерова К.М., Афошин Н.В., Семенова Л.И.....	352
СТРЕССОВЫЕ БЕЛКИ В ФОРМИРОВАНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕЗЫ (<i>BETULA</i> L.) К УСЛОВИЯМ КРИОЛИТОЗОНЫ Татарина Т.Д., Перк А.А., Пономарев А.Г., Васильева И.В.	353
РОЛЬ БЕЛКА SVX ПЕТОБАКТЕРИЙ В РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ Тендюк Н.В., Коннова Т.А., Петрова О.Е., Осипова Е.В., Макшакова О.Н., Дьяконова А.А., Мухаметзянов Т.А., Горшков В.Ю.	354
ВЛИЯНИЕ АУКСИНПРОДУЦИРУЮЩЕГО ШТАММА БАКТЕРИЙ И ГУМАТОВ НА ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ Тимергалин М.Д., Феоктистова А.В., Рамеев Т.В., Кенджиева А.А., Четвериков С.П.....	355
ВКЛАД ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕГУЛЯЦИЮ СИНТЕЗА ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ Тимофеева О.А., Бименьиндавы Э.	356
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕНЕНИЮ СПЕКТРА ОБЛУЧЕНИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПРОЦЕССЕ ОНТОГЕНЕЗА ДЛЯ УСЛОВИЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ. Тихомиров А. А., Величко В.В., Молокеев М.С.	357
ВЛИЯНИЕ ЭНДОГЕННЫХ ЖАСМОНАТОВ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ РЕЗУШКИ ТАЛЯ ПРИ ХОЛОДОВОМ СТРЕССЕ Тихонов К.Г., Лещенко Е.Ф., Савченко Т.В.	358
ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ НА РОСТ И АДАПТАЦИЮ МИКРОКЛОНОВ КАРТОФЕЛЯ И ЗЕМЛЯНИКИ Ткаченко О.В., Евсеева Н.В., Каргаполова К.Ю., Денисова А.Ю., Позднякова Н.Н., Бурьгин Г.Л., Куликов А.А.	359
ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ РЯДА КАРБОКСИАЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА И АМИНОКИСЛОТ В ОТНОШЕНИИ РАСТЕНИЙ Тобышева П.Д., Хамидуллина Л.А., Пузырев И.С., Пестов А.В.	360
ФОТОМОРФОГЕНЕЗ РАСТЕНИЙ ТОМАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ СВЕТОВОГО ДОВОЛЬСТВИЯ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ Товстыко Д.А., Тараканов И.Г.....	361
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЛИТЕЛЬНО ПРОЛИФЕРИРУЮЩИХ ЭМБРИОГЕННЫХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В КУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i> . Третьякова И.Н., Пак М.Э.	362
ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА ЦИНКА НА АКТИВНОСТЬ КИСЛОЙ ФОСФАТАЗЫ ПРОРОСТКОВ СОИ Трофимцова И.А., Козак Д.К.....	363

УСИЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗ III КЛАССА И ЛИГНИФИКАЦИИ КАК НЕСПЕЦИФИЧЕСКАЯ ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ НА АБИОТИЧЕСКИЙ СТРЕСС Тугбаева А.С., Ермошин А.А., Киселева И.С.	364
ОСОБЕННОСТИ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОКСФОС В МИТОХОНДРИЯХ РАСТЕНИЙ Уколова И.В., Кондакова М.А., Кондратов И.Г., Боровский Г.Б.	365
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ МОДУЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДОЙ ПРИ СОЗДАНИИ РАБОЧИХ ЗОН В ОБЛАСТИ АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ Усатов А.В., Волков А.В.	366
РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ РУКОЛЫ НА СООТНОШЕНИЕ КРАСНОГО И ДАЛЬНЕГО КРАСНОГО СВЕТА В СПЕКТРЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ Фадеева Ю.Ю., Тараканов И.Г.	367
ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БИОДЕСТРУКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ Фархутдинов Р.Г., Сотникова Ю.М., Григориади А.С., Федяев В.В., Хисамова Р.Р., Галин И.Р., Шарипова Г.В., Ямалеева А.А., Кудоярова Г.Р.	368
УЧАСТИЕ ГЛИКОПРОТЕИНОВ В ФОРМИРОВАНИИ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ ЛЬНА Федина Е.О., Ларская И.А.	369
ОСОБЕННОСТИ ДЫХАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АНТОЦИАНОВ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ СОСТАРИВАНИИ Федяев В.В., Заикина Е.А., Кулуев Б.Р., Байгильдина Г.И., Гарипова М.И., Фархутдинов Р.Г.	370
ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ ШТАММА БАКТЕРИЙ <i>PSEUDOMONAS</i> <i>PLECOGLOSSICIDA</i> 2.4-D С ГУМИНОВЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА РОСТ И ГОРМОНАЛЬНЫЙ СТАТУС РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ Феоктистова А.В., Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В., Четвериков С.П.	371
ХЕМОТИПИРОВАНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕМЯН КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ Фролов А.А., Леонова Т.С., Ерофеева Н.О., Орлова А.А., Силинская С.А., Попова В.В., Фролова Н.В., Смоликова Г.Н., Куркиев К.У., Билова Т.Е., Хлесткина Е.К.	372
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАБОЛОМНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕЙСТВИЮ СТРЕССОРОВ Фролова Н.В., Гурина А.К., Лукашева Е.М., Кузнецова А.В., Шумилина Ю.С., Алхаже К., Билова Т.Е., Орлова А.А., Силинская С.А., Черевацкая М.А., Шапошников А.И., Сырова Д.С., Фролов А.А., Белимов А.А.	373
УФИМСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ИЗУЧЕНИЯ ЭНДОФИТОВ: НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ Хайруллин Р.М.	374
ПОЛУЧЕНИЕ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПЕТУНИИ С ПРИЖИЗНЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ЦИТОСКЕЛЕТА Халилуев М.Р., Варламова Н.В., Демиденко Д.В., Захарова Е.В.	375

АНАЛИЗ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОРОСТКОВ <i>LUPINUS ALBUS</i> L. ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН Ханова А.С., Крылова П.С., Бондаренко Е.В.	376
ЦИФРОВОЕ ФЕНОТИПИРОВАНИЕ ЛИПОВЫХ ЛЕСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ НЕКТАРОПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА Хисамова Р.Р., Фархутдинов Р.Г., Карюгина В.Г., Рахматуллин З.З.	377
ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ГОРЧИЦЫ САРЕПТСКОЙ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ИЗБЫТКА ЦИНКА И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ Холопцева Е.С., Батова Ю.В., Казнина Н.М.	378
КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТУЛАСИ (<i>OCIMUM TENUIFLORUM</i> L.) В УСЛОВИЯХ <i>IN VITRO</i> И <i>EX VITRO</i> ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ Хоцкова Л.В., Якимов Ю.Е., Коваленко Д.В.	379
ВЫСОКОАФФИННЫЕ НИТРАТНЫЕ ТРАНСПОРТЕРЫ СЕМЕЙСТВА NRT2 ГАЛОФИТА <i>SUAEDA ALTISSIMA</i> : КЛОНИРОВАНИЕ ГЕНОВ И АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ И ДЕФИЦИТА НИТРАТА. Храмов Д.Е., Ростовцева Е.И., Маталин Д.А., Попова Л.Г., Балнокин Ю.В.	380
РОЛЬ АПОПЛАСТА В РАЗВИТИИ БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА Цыганова А.В., Селиверстова Е.В., Цыганов В.Е.	381
РАЗВИТИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ В УСЛОВИЯХ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ Цыганов В.Е.	382
СЕКВЕНИРОВАНИЕ ПОЛНЫХ (ДИПЛОИДНЫХ) ГЕНОМОВ РАСТЕНИЙ Чемерис А.В., Кулуев Б.Р.	383
НОВАЯ МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛЕТОЧНОЙ ДИНАМИКИ В КОРНЕВОМ ЧЕХЛИКЕ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> L. Черенко В.А., Землянская Е.В.	384
БИОПРЕПАРАТЫ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД Чернобровкина Н.П., Егорова А.В., Робонен Е.В., Нелаева К.Г.	385
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ <i>PSEUDOMONAS PROTEGENS</i> DA1.2 НА МАРКЕРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У РАСТЕНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ И РАПСА В ПРИСУТСТВИИ МЕТСУЛЬФУРОН-МЕТИЛА Четверикова Д.В., Кенджиева А.А., Стариков С.Н., Бакаева М.Д.	386
БАКТЕРИИ, СПОСОБНЫЕ К БИОСИНТЕЗУ И (ИЛИ) ДЕСТРУКЦИИ ФИТОГОРМОНОВ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ: ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГОРМОНАЛЬНЫЙ СТАТУС И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПШЕНИЦЫ Четвериков С.П.	387
АКТИВНОСТЬ СИГНАЛЬНОГО ПУТИ <i>Cle41/44/PXY/WOX</i> В ТКАНЯХ СТВОЛА <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. ВО ВРЕМЯ ФЛОЭМО- И КСИЛОГЕНЕЗА Чирва О.В., Афошин Н.В., Серкова А.А., Тарелкина Т.В., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Галибина Н.А.	388
АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ОКСИДОРЕДУКТАЗ РАСТЕНИЙ ФАСОЛИ СОРТА ЭЛЬЗА ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН РАЗЛИЧНЫМИ ШТАММАМИ И ДОЗАМИ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ Чистоедова А.В., Матюнина В.Д., Маркова О.В., Шпирная И.А., Гарипова С.Р.	389

КОРНЕВЫЕ ЭКССУДАТЫ - ФАКТОР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСТЕНИЙ С МИКРООРГАНИЗМАМИ В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ Шапошников А.И., Юзихин О.С., Азарова Т.С., Белимов А.А.	390
ВЛИЯНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА <i>HVIP2;1</i> ЯЧМЕНЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ АПОПЛАСТНЫХ БАРЬЕРОВ У ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА Шарипова Г.В., Архипова Т.Н., Иванов Р.С., Веселов Д.С.	391
ВЛИЯНИЕ МЕТАБОЛИТОВ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ И ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ФИЗИОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ Шатерников А.Н., Евсеева Н.В., Цивилева О.М.	392
ОСОБЕННОСТИ КОРНЕВОЙ ЭКССУДАЦИИ И АКТИВАЦИИ ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЙ У ГЕНОТИПОВ ЯЧМЕНЯ С РАЗЛИЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ФУЗАРИОЗУ Шахназарова В.Ю., Шапошников А.И., Лебединский М.И., Вишневская Н.А., Бородина Е.В., Ковалева О.Н., Струнникова О.К.	393
РОЛЬ ГЕНА <i>TROL1</i> В РЕГУЛЯЦИИ РОСТА И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ <i>NICOTIANA TABACUM L.</i> Швец Д.Ю., Бережнева З.А., Мусин Х.Г., Кулуев Б.Р.	394
ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ Шеромов А.М., Товстик Е.В., Шуплецова О.Н.	395
АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ОТРАЖЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПРЕДИКТОРОВ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ Шерстнева О.Н., Абдуллаев Ф.Ф., Киор Д.С., Громова Е.Н., Воденеев В.А.	396
УЧАСТИЕ ПИГМЕНТОВ В РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ НА АНОМАЛЬНЫЕ СВЕТО- ТЕМНОВЫЕ ЦИКЛЫ Шерудило Е.Г., Рубаева А.А., Шибаета Т.Г.	397
ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ Шибаета Т.Г., Титов А.Ф.	398
ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОТВЕТА КОРНЕЙ И ПОБЕГОВ РИСА НА АНОКСИЮ И ПОСТАНОКСИЧЕСКУЮ РЕАЭРАЦИЮ Шиков А.Е., Шость В.И., Чиркова Т.В., Емельянов В.В.	399
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ ЭНДОФИТОВ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ РОЗОВОЙ СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ <i>MICRODOCHIUM NIVALE</i> Шильдякова А.В., Мурзагулова Г.Ш., Гоголева О.А., Пономарева М.Л., Горшков В.Ю.	400
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛОТОЛЕРАНТНЫХ RGP-РИЗОБАКТЕРИЙ (<i>BACILLUS</i> <i>PUMILUS</i> , <i>BREVUNDIMONAS DIMINUTA</i> И <i>PSEUDOMONAS SP.</i>) НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА РОГОЗА ШИРОКОЛИСТНОГО Ширяев Г.И., Воропаева О.В., Малева М.Г., Борисова Г.Г.	401
РОСТ РАСТЯЖЕНИЕМ ПРИ НЕДОСТАТКЕ КИСЛОРОДА Шишова М.Ф.	402

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ И КЛЕТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ СИНТЕЗА МЕЛАНИНА В КОЛОСЕ ЯЧМЕНЯ (<i>HORDEUM VULGARE</i> L.)	
Шоева О.Ю., Глаголева А.Ю., Мурсалимов С.Р., Кукоева Т.В., Шмаков Н.А., Вихорев А.В., Морозов С.В., Черняк Е.И., Хлесткина Е.К.....	403
ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЗАСОЛЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ФОТОСИСТЕМ И ЭКСПРЕССИЮ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕНОВ У РАСТЕНИЙ КИНОА	
Шуйская Е.В., Рахманкулова З.Ф., Прокофьева М.Ю., Лунькова Н.Ф., Казанцева В.В. ...	404
МИНОРНАЯ КАТИОННАЯ ПЕРОКСИДАЗА СОРГО КАК КОМПОНЕНТ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	
Щербакова Е.В., Галицкая А.А., Дубровская Е.В., Позднякова Н.Н.	405
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЛИСТЬЕВ С4-РАСТЕНИЙ В ПУСТЫННЫХ СООБЩЕСТВАХ КАЗАХСТАНА	
Юдина П.К., Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Мигалина С.В., Калашникова И.В., Иванов Л.А.	406
БИОМНАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ РАЗНЫХ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	
Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М., Плотников А.А., Сафина И.И., Аллагулова Ч.Р., Кетов А.А.....	407
УСТОЙЧИВОСТЬ К НИЗКОМУ УРОВНЮ ДОСТУПНОГО ФОСФОРА У РАСТЕНИЙ <i>MEDICAGO LUPULINA</i> ПРИ РАЗВИТИИ ЭФФЕКТИВНОГО СИМБИОЗА С <i>RHIZOPHAGUS IRREGULARIS</i>	
Юрков А.П., Крюков А.А., Горбунова А.О., Кудряшова Т.Р., Ковальчук А.И., Пузанский Р.К., Богданова Е.М., Шишова М.Ф.	408
ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ <i>IN VITRO ECHIUМ PLANTAGINEUM</i> L. ДЛЯ АГРОБАКТЕРИАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ <i>AGROBACTERIUM RHIZOGENES</i>	
Якупова А.Б., Глушихина Е.И., Кулуев Б.Р.	409
БАКТЕРИИ РОДА <i>BACILLUS</i> В КОМПЛЕКСЕ С НАНОКОМПОЗИТАМИ ХИТОЗАНА КАК ИНДУКТОРЫ ФИТОИММУНИТЕТА И УСТОЙЧИВОСТИ КАРТОФЕЛЯ К ПАТОГЕНАМ	
Яруллина Л.Г., Черепанова Е.А., Сорокань А.В., Бурханова Г.Ф., Заикина Е.А., Цветков В.О., Калацкая Ж.Н., Марданшин И.С., Еловская Н.А.	410
AMYLOID PROPERTIES OF OUTER MEMBRANE PORINS OF <i>PROTEOBACTERIA</i>	
Belousov M.V., Kosolapova A.O., Sulatsky M.I., Tsyganova A.V., Sulatskaya A.I., Bobylev A.G., Shtark O.Y., Tsyganov V.E., Volkov K.V., Antonets K.S., Zhukov V.A., Tikhonovich I.A., Nizhnikov A.A.....	411
SYDNONYMINES AS PLANT GROWTH REGULATORS AND DROUGHT RESPONSE MODULATORS.	
Cherevatskaya M., Cherepanov I.A., Kalganova N.V., Godovikov I.A., Brode M., Frolov A., Bilova T., Weissjohan L.A.....	412
EFFECT OF INOCULATION WITH SYMBIOTIC MICROORGANISMS ON THE METABOLOME DYNAMICS OF DEVELOPING SEEDS	
Erofeeva N.O., Bilova T.E., Frolova N.V., Frolov A.A., Shtark O.Yu.	413
NICKEL TOXICITY, SIGNALLING AND UPTAKE IN HIGHER PLANTS	
Mackievic V., Hryvusevich P., Samokhina V., German A., Arzamazkina K., Kozhevnikova A., Seregina I., Yu M., Demidchik V.....	414

EFFECT OF LOCI REGULATING ANTHOCYANIN GRAIN PIGMENTATION ON YIELD AND GRAIN PROPERTIES IN NEAR-ISOGENIC BARLEY LINES Molobekova C.A., Kukoeva T.V., Shoeva O.Y.....	415
METABOLIC ADJUSTMENTS IN ORGANS OF <i>AMARANTHUS CAUDATUS</i> L. AS A STRATEGY OF TOLERANCE TO Z _N STRESS Osmolovskaya N.G., Bilova T.E., Orlova A.A., Vu V.D., Timofeeva T.A., Gurina A.K., Soloveva M.A., Mashkina V.V., Kuchaeva L.N., Frolova N.V., Tarakhovskaya E.R., Kamionskaya A.M., Frolov A.A.....	416
MULTIPLE FUNCTIONS OF THE UGT/IAGLU GENE ENCODING UDPG-TRANSFERASE/IAA-GLUCOSE SYNTHASE FROM CORN <i>ZEA MAYS</i> L. IN EXPERIMENTS WITH PLANT EXPRESSION SYSTEMS Rekoslavskaya N.I., Chemesova A.A., Nurminskaya Yu.V.....	417
THE EFFECT OF THE <i>BACILLUS SUBTILIS</i> 26D STRAIN AND ITS MUTANT LINES 26DSFP- AND 26DCRY ON THE ACTIVITY OF THE <i>TAAGO</i> AND <i>TADCL</i> GENES IN COMMON WHEAT PLANTS Shein M.Yu., Burkhanova G.F., Gabdrakhmanova V.F., Maksimov I.V.	418
PROTEIN GLYCATION AND DROUGHT RESPONSE OF PEA (<i>PISUM SATIVUM</i> L.) ROOT NODULE PROTEOME: A PROTEOMICS APPROACH Shumilina J., Gorbach D., Lukasheva E., Osmolovskaya N., Romanovskaya E., Ihling C., Zhukov V., Frolov A.	419
EFFECTS OF LIGHT AND NITROGEN ADDITION ON THE TREE GROWTH, NEEDLE MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONS OF <i>PICEA KORAIENSIS</i> SAPLINGS Xing H., Yang L.....	420
PROGRESS AND PROSPECT OF LARGE-SCALE PROPAGATION TECHNOLOGY OF FOREST TREE SOMATIC EMBRYOGENESIS Yang L.	421
USE OF ABIOTIC STRESSORS TO MODIFY THE PRODUCTION OF NATURAL PLANT ANTIOXIDANTS IN <i>CHENOPODIUM QUINOA</i> L. Zorbekova A.N., Terletsкая N.V., Shuyskaya E.V.....	422

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Абдуллаев Ф.Ф.* , Немцова Ю.А., Ветрова Я.А., Воденев В.А.,
Шерстнева О.Н.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: abdullaev.aab@mail.ru

Метод РАМ-флуориметрии, основанный на измерении флуоресценции хлорофилла, является одним из наиболее точных и информативных. Включение дополнительного этапа лабораторного фенотипирования, основанного на этом методе, в процесс селекционного отбора может способствовать сокращению количества генотипов, направляемых на последующие более длительные и дорогостоящие полевые испытания.

Задачей данного исследования являлось определение параметров флуоресценции хлорофилла – перспективных предикторов накопления биомассы. Исследование проводилось на 11 сортах пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) яровой, которые выращивались в контролируемых условиях (24 °С, фотопериод – 16/8 ч). В возрасте 14 дней у проростков пшеницы оценивались параметры флуоресценции хлорофилла с использованием систем РАМ-имиджинга Open FluorCam FC 800-O/1010-S (Photon Systems Instruments, Чехия), Plant Explorer Pro (Phenovation B.V., Нидерланды). При этом регистрировались светоиндуцированные динамики квантового выхода фотосистемы II и нефотохимического тушения флуоресценции и определялись количественные характеристики стационарных и переходных процессов, вызванных сменой режима освещения. В возрасте 28 дней определяли величину сухого веса проростков, отражающую фотосинтетическую продуктивность растений.

Корреляционный анализ показал, что флуоресцентные параметры, характеризующие переходные процессы в фотосинтетическом аппарате, сильнее коррелируют с накоплением биомассы растениями, чем стационарные. Так было показано, что скорость достижения максимального уровня фотосинтетической активности при колебаниях освещения значимо коррелирует с уровнем накопления биомассы ($r = 0,66$, $p < 0,05$). Такой результат свидетельствует о перспективности использования параметров флуоресценции хлорофилла в качестве предикторов накопления биомассы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России проекта «Хлеба России» по соглашению № 075-15-2021-1066 от 28.09.2021 г.

Ключевые слова: флуоресценция хлорофилла, селекция, пшеница, фенотипирование, предсказание

USE OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE PARAMETERS FOR PREDICTION OF BIOMASS ACCUMULATION IN WHEAT SEEDLINGS

Abdullaev F.F., Nemtsova Yu. A., Vetrova Ya. A., Vodeneev V.A., Sherstneva O.N.
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: chlorophyll fluorescence, plant breeding, wheat, phenotyping, prediction

ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ *SOLANUM LYCOPERSICUM* К УФ-В ИЗЛУЧЕНИЮ

Абрамова А.А.^{1*}, Верещагин М.В.², Креславский В.Д.³, Пашковский П.П.²

¹ Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

² Институт Физиологии Растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

³ Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пушкино, Московская область, Россия

*Email: ann.kiedis2000@gmail.com

УФ-В-диапазон (315-280 нм), являясь самой малой составляющей солнечного света, оказывает ощутимое влияние на растения из-за высокой энергии квантов УФ-В и важного регулирующего действия его спектральной области. Фотосистема II (ФСII) является одним из клеточных элементов, наиболее чувствительных к воздействию УФ-В. Однако УФ-В может также индуцировать специфические механизмы защищающие фотосинтетический аппарат с участием фоторецепторов UVR8 и криптохромов (CRY), а также неспецифические механизмы, с участием системы фитохромов (PHY). УФ-В излучение индуцирует синтез комплекса вторичных метаболитов, включая антоцианы, флавоноиды и фенольные кислоты, которые способствуют устойчивости растений к УФ-В.

Изучено влияние УФ-В ($10 \mu\text{mol}(\text{квантов}) \text{ м}^2\text{с}^{-1}$) на листья фоторецепторных мутантов томата (*phya*, *phyb1*, *phyb1b2*, *cry1*). На основе измерений флуоресценции Хл а оценивали показатели первичных фотохимических процессов фотосинтеза (максимальный и эффективный квантовые выходы Y(II) и Fv/Fm, соответственно, и нефотохимическое тушение NPQ, содержание основных фотосинтетических пигментов и антоцианов и активность неферментативных антиоксидантов (TEAC), а также экспрессию ключевых УФ-сигнальных генов и генов, связанных с биосинтезом пигментов, каротиноидов, флавоноидов и компонентов светового сигналинга.

Фотохимический аппарат мутантов *phyb1b2* и *cry1*, оказался наиболее чувствительными к кратковременному УФ-В облучению с наибольшим снижением величин Y(II) и Fv/Fm в сочетании с наибольшим увеличением нефотохимического тушения NPQ. Также у этих мутантов обнаружено снижение неферментативной антиоксидантной активности и увеличение содержания хлорофилла.

Мы предполагаем, что фитохром B2 и CRY1 вовлекаются в передачу световых сигналов и адаптацию растений томатов к УФ-В облучению.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда проект № 23-14-00266.

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum*, вторичные метаболиты, фоторецепторы, спектральный состав света, фотосинтетическая активность, УФ-В.

THE POSSIBLE ROLE OF PHOTORECEPTORS IN THE ADAPTATION OF *SOLANUM LYCOPERSICUM* PLANTS TO UV-B RADIATION

Abramova A.A.¹, Vereshchagin M.V.², Kreslavski V.D.³, Pashkovsky P.P.²

¹ Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

² K.A.Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, Russia

Keywords: *Solanum lycopersicum*, secondary metabolites, photoreceptors, spectral composition, photosynthetic activity, UV-B.

ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ

Авальбаев А.М.* , Юлдашев Р.А., Плотников А.А., Сафина И.И.,
Аллагулова Ч.Р.

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: avalbaev@yahoo.com

К числу наиболее распространенных в мире и России ценных культур относится мягкая яровая пшеница, у которой на территории России сформировались две отличающихся по стратегии адаптации к засухе группы – лесостепной западносибирский и степной волжский экотипы. Нами был проведен анализ влияния засухи на физиолого-биохимические параметры растений пшеницы сортов Зауральская жемчужина (ЗЖ, лесостепной западносибирский экотип) и Экада 70 (Э-70, степной волжский экотип) в начальную фазу их онтогенеза. Засуха ингибировала прорастание семян и рост молодых проростков обоих экотипов, причем торможение этих процессов было сильнее выражено у растений ЗЖ. Выявлен дисбаланс фитогормонов в растениях обоих сортов пшеницы, связанный с индуцированным засухой накоплением АБК, падением содержания цитокининов и особенно ауксинов. Важно отметить, что в проростках ЗЖ амплитуда вызываемых засухой сдвигов в гормональном балансе была заметно выше в сравнении с растениями сорта Э-70. Также обнаружено, что засуха приводила к повышению содержания защитного белка – агглютинина зародыша пшеницы (АЗП) и накоплению транскриптов кодирующего его гена, при этом более высокое содержание АЗП наблюдалось у проростков Э-70. Вместе с тем, в растениях обоих экотипов вызванный засухой окислительный стресс оказал повреждающий эффект на целостность мембранных структур, о чем судили по повышению уровня малонового диальдегида (МДА) и экзоосмоса электролитов. Стоит отметить, что окислительные повреждения были сильнее выражены у проростков западносибирского экотипа. Совокупность полученных результатов свидетельствует о том, что растения пшеницы степного волжского экотипа более засухоустойчивы в сравнении с представителями лесостепного западносибирского экотипа в начальные этапы развития.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00246, <https://rscf.ru/project/23-26-00246/>

Ключевые слова: пшеница, экотипы, засуха, фитогормоны, агглютинин зародыша пшеницы, антиоксидантная система

INFLUENCE OF WATER DEFICIT ON PHYSIO-BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SEEDLINGS OF WHEAT ECOTYPES WITH DIFFERENT ADAPTATION STRATEGIES TO DROUGHT

Avalbaev A.M., Yuldashev R.A., Plotnikov A.A., Safina I.I., Allagulova Ch.R.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: wheat, ecotypes, drought, phytohormones, wheat germ agglutinin, antioxidant system

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МОРФОГЕНЕЗ *IN VITRO* *HEDYSARUM DAGESTANICUM* BOISS. EX RUPR.

Алиева З.М.^{1*}, Мартемьянова В.К.², Пиняскина Е.В.³

¹ Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия.

² Экспертно-криминалистический центр МВД по Республике Дагестан, Махачкала, Россия

³ Прикаспийский институт биологических ресурсов, Махачкала, Россия

*E-mail: zalieva@mail.ru

Представители рода *Hedysarum* L. ценные лекарственные растения с разнообразным терапевтическим эффектом: противовирусным, антипаразитарным, противодиабетическим, противоопухолевым, иммуно- и гемостимулирующим, седативным, кардиопротекторным, антиоксидантным. Выделено и идентифицировано более 160 соединений, обладающих широким спектром биологической активности, в т.ч. кумарины, лигнаны, ксантоны, куместаны, тритерпеновые и олеанановые сапонины, оксибензойная и оксикоричная кислоты, стерины, птерокарпены, флавоноиды, полисахариды, жирные кислоты (Неретина., 2004; Зингер и др., 2010; Dong Y., 2013; Liu Y., 2019).

Копеечник дагестанский (*Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss.) встречается только в России, в Республике Дагестан (сухие известняковые склоны, каменистые места в среднем горном поясе). Общая численность около 1000-1500 экз. Внесен в Красные книги РФ и РД.

Хроматографическое разделение экстрактов *H. daghestanicum* показало наличие нескольких пиков, три из которых были идентифицированы как кофейная кислота, лютеолин-7-О-глюкозид и лютеин. Были идентифицированы изофлавоноиды: генистеин и формонетин – в листьях и формонетин в корнях.

С учетом ценности вида как источника БАВ, возможности использования в декоративных целях в аридных условиях, а также в связи со слабым семенным воспроизведением и редкостью, целесообразно введение его в культуру *in vitro*. Из стерильных проростков, полученных из обработанных 10 % H₂O₂ семян, выделяли узловые экспланты и культивировали их на среде МС с разным содержанием гормонов. Экспланты характеризовались активным ростом и высоким морфогенетическим потенциалом (закладка почек и рост побегов), жизнеспособность их зависела от числа пассажей и гормонального состава среды. При увеличении концентрации ИМК и БАП с 0.5:2.5 до 1:5 мг/л снижались выживаемость и рост эксплантов, сохранялась закладка почек, но снижалось число образующихся из них побегов (50 %, 4±0.7 шт.). Для укоренения микропобегов использовали среду с ИМК, НУК и БАП.

Ключевые слова: *Hedysarum daghestanicum*, химический состав, культура *in vitro*

BIOCHEMICAL COMPOSITION AND *IN VITRO* MORPHOGENESIS OF *HEDYSARUM DAGESTANICUM* BOISS. EX RUPR.

Alieva Z.M.¹, Martemyanova V.K.², Pinyaskina E.V.³

¹ Dagestan State University, Makhachkala, Russia

² Forensic Expert Center of the Ministry of Internal Affairs for the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

³ Precaspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Keywords: *Hedysarum daghestanicum*, chemical composition, *in vitro* culture

ВЛИЯНИЕ ГИПОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ НА ВСХОЖЕСТЬ И ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН *AMARANTHUS CAUDATUS*

Алистратова Ф.И.^{1*}, Исаченко М.С.², Колесников Л.Е.¹, Домнин А.А.¹

¹ ФБГОУ ВО Санкт-Петербургский аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ветеринарный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: alistraatova@yandex.ru

Прорастание является ключевой стадией для улучшения роста и развития высших растений и может повлиять на последующие стадии вегетативный и репродуктивный рост. Такие параметры среды, как вода, температура, кислород и свет важны для прорастания семян. Изменение уровня атмосферного давления может усиливать рост и развитие высших растений за счет увеличения фотосинтеза, скорости прорастания, транспирации и урожайности (Corey et al., 1996; Goto et al., 2002) и привести к уменьшению выделения этилена (Tang et al., 2010). Следовательно, общее атмосферное давление является стимулирующим фактором для прорастания семян в неблагоприятных условиях.

Целью данного исследования было изучить успешность (доля проросших семян) и скорость (время достижения 50%-ной всхожести) прорастания семян в условиях гипобарического и нормального атмосферного давления, а также при обработке препаратом Суспензия Хлореллы (Выборг, ООО «Клуб биотехнологий Синтез»). Время вымачивания семян 5 часов в 5 мл суспензии.

В независимых лабораторных экспериментах проверялась всхожесть семян Амарант хвостатый (*Amaranthus caudatus*), с высоким адаптационным потенциалом, при трех уровнях разрежения воздуха (505 мм рт ст; 419 мм рт ст; 232 мм рт ст ± 10, что соответствует высоте 3500, 5000, 10000 м).

Было отмечено, что лучше всего проросли семена с применением режима 3500 м, но семена также были способны прорасти и при режиме 5000 м и в меньшей степени при обработке семян в режиме 10000 м, но доля проросших семян снижалась на 66 и 72% соответственно.

Применение препарата Суспензия Хлореллы способствовало повышению всхожести семян Амарант хвостатый от 50 до 65%. При этом загнивших семян не наблюдалось, доля непроросших – в среднем 18%.

Таким, образом гипобария в режиме 3500 м заметно улучшила прорастание семян и скорость, за счет увеличения скорости диффузии кислорода, до 33% по отношению к контролю. Два других предложенных режима (5000 и 10000 м) приводили к снижению изучаемых параметров.

Ключевые слова: гипобария, прорастание семян, *Amaranthus caudatus*, хлорелла

EFFECT OF HYPOBARIC HYPOXIA ON GERMINATION AND GERMINATION OF *AMARANTHUS CAUDATUS* SEEDS

Alistratova F.I.¹, Isachenko M.S.², Kolesnikov L.E.¹, Domnin A.A.¹

¹ St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

Keywords: hypobarism, seed germination, *Amaranthus caudatus*, chlorella

ОЦЕНКА ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ NO-ОБРАБОТКИ НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Аллагулова Ч.Р. *, Плотников А.А., Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М.,
Лубянова А.Р.

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Уфа, Россия

*E-mail: allagulova-chulpan@rambler.ru

Исследовали влияние SNP (sodium nitroprusside), являющегося донором оксида азота (NO), на растения пшеницы *Triticum aestivum* L. двух различающихся по засухоустойчивости сортов: Экада-70 (Э-70 – устойчивый сорт), Салават Юлаев (СЮ – чувствительный сорт) при воздействии ПЭГ-индуцируемого обезвоживания. Обработка SNP (200 мкМ) повысила всхожесть семян почти на 15 % у обоих сортов, стимулировала рост пшеницы, особенно у сорта Э-70, о чем судили по линейным размерам, биомассе проростков и увеличению митотического индекса (МИ) корней, который служит индикатором скорости деления клеток. Стрессовая обработка (ПЭГ 12%, 24 ч) тормозила рост проростков, особенно сильно у сорта СЮ. Обработка SNP предотвратила индуцируемое обезвоживанием торможение роста пшеницы обоих сортов. Важная роль в формировании устойчивости растений к дефициту влаги принадлежит дегидринам. С целью выявления их участия в спектре защитного действия NO нами был проведен сравнительный анализ транскрипционной активности *TADHN* гена дегидрина в обработанных донором NO и подвергнутых действию ПЭГ растениях пшеницы. Обезвоживание повышало активность *TADHN* гена в проростках обоих сортов, особенно у сорта Э-70. В этих растениях к 6 ч опыта выявлялось 3-кратное увеличение уровня накопления *TADHN* транскриптов, которое поддерживались на том же повышенном уровне до 9 ч стресса. В растениях СЮ содержание транскриптов *TADHN* гена возрастало в 2 и 2.5 раза к 6 и 9 ч опыта, соответственно. Предварительная SNP-обработка дополнительно увеличивала накопление транскриптов *TADHN* гена при воздействии стресса в проростках обоих сортов, так что к 9 ч опыта их содержание достигало почти 3- и 4-кратного значения от уровня контроля в растениях СЮ и Э-70, соответственно. Полученные результаты указывают на эффективность SNP-обработки в стимуляции и защите роста различающихся по засухоустойчивости сортов пшеницы при воздействии обезвоживания. Данные о дополнительном SNP-индуцированном накоплении *TADHN* транскриптов в подвергнутых стрессу проростках могут указывать на вовлечение дегидринов в спектр NO-контролируемых защитных реакций в разных сортах пшеницы при обезвоживании. Исследование выполнено за счет средств гранта РФФИ № 22-24-00196.

Ключевые слова: пшеница *Triticum aestivum* L., оксид азота (NO), обезвоживание, дегидрины.

EVALUATION OF NITRIC OXIDE (NO) PROTECTIVE EFFECT ON WHEAT PLANTS UNDER DEHYDRATION

Allagulova Ch.R., Plotnikov A.A., Yuldashev R.A., Avalbaev A.M.,
Lubyanova A.R.

Institute of Biochemistry and Genetics—Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia.

Keywords: wheat *Triticum aestivum* L., nitric oxide (NO), dehydration, dehydrins.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА НАКОПЛЕНИЕ ВИТАМИНОВ У *HUMULUS LUPULUS* L. В ОНТОГЕНЕЗЕ

Аль Хуссейн Д. *, Алмуграби Е., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.

Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, Республика Татарстан, 420008, Россия,

*E-mail: dalal.matar91@gmail.com

В мире существует большое разнообразие растений, и многие из них обладают высокой питательной ценностью или лекарственными свойствами.

Хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.) часто упоминается в древней литературе. Хмель являются прекрасным источником биологически активных соединений, таких, как горькие смолы, эфирные масла, дубильные вещества, терпены и витамины (рутин, С, Е, В₂, В₆, РР).

Цель работы состояла в изучении накопления провитамина А (каротиноидов), витамина С и витамина В₂ в растениях хмеля обыкновенного при действии регуляторов роста (гибберсиб и эпин-экстра) и также биоудобрения (пудрет) в онтогенезе.

Посадку корневищных черенков хмеля проводили в начале мая 2022 года в защищенном грунте. Пудрет добавляли из расчета 10 г/кг почвы. Гибберсибом (666,6 мкг/л) и эпином-экстра (500 мкл/л) обрабатывали путем опрыскивания.

Через 4 недели все варианты пересадили в открытый грунт. Листья отбирали через 4, 8, 12, 16 недель после посадки в открытый грунт. Средние ночные температуры были +16⁰С, +24⁰С, +14⁰С, +7⁰С соответственно.

Содержание витамина С определяли как сумму аскорбиновой кислоты (АА) и дегидроаскорбиновой кислоты (ДНАА) с использованием спектрофотометрического метода. Для определения содержания каротиноидов в ацетоновой вытяжке использовали формулу Ветштейна. Содержание витамина В₂ определяли спектрофотометрическим методом при 445нм.

Наши результаты продемонстрировали, что исследуемые регуляторы роста и пудрет повышали содержание витаминов. Наибольшую интенсификацию образования витаминов С, В₂ и провитамина А вызывал пудрет. Гибберсиб оказал такой же, как и пудрет, эффект на содержание витамина С. Однако он оказал меньшее влияние на содержание провитамина А и практически не изменял содержание витамина В₂ или даже уменьшал (на 16 неделе). Эпин-экстра повышал содержание витамина С только на первых этапах развития), содержание провитамина А - только на 12 неделе после посадки, а содержание витамина В₂ - на всех этапах роста.

Ключевые слова: *Humulus Lupulus* L., эпин-экстра, гибберсиб, пудрет, онтогенез.

INFLUENCE OF GROWTH REGULATORS ON THE ACCUMULATION OF VITAMINS IN *HUMULUS LUPULUS* L. IN ONTOGENY

Al Hussein D. *, Almughraby E., Mostyakova A.A., Timofeeva O.A.

Kazan Federal University, St. Kremlin, 18, Kazan, Republic of Tatarstan, 420008, Russia,

Keywords: *Humulus Lupulus* L., epin-extra, gibbersib, pudret, ontogeny.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТАБОЛИЗМА ФОСФАТИДИЛХОЛИНА У БАЗИДИАЛЬНЫХ ДРОЖЖЕЙ

Амигуд Е.Я.^{1*}, Сенник С.В.², Серебряков Е.Б.³, Котлова Е.Р.²

¹ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Ресурсный центр «Методы анализа состава вещества» СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: ekamigud@gmail.com

Известно, что фосфатидилхолин (ФХ) у эукариот синтезируется двумя способами: по пути Кеннеди и пути метилирования фосфатидилэтаноламина (ФЭ) (через ЦДФ-ДАГ). Данное исследование было направлено на определение преобладающего пути биосинтеза ФХ у базидиальных дрожжей.

В качестве объектов были выбраны два штамма: *Phaeotremella foliacea* (Pers.) и *Rhodotorula diobovata* (S.Y. Newell & I.L. Hunter).

На чистые культуры дрожжей воздействовали ингибиторами: фарнезолом, ингибирующим фермент пути Кеннеди, и клофибратом, блокирующим путь метилирования.

Фарнезол повлиял на рост колоний обеих культур: ингибировал рост колоний *P. foliacea*, нарушал полярность почкования, приводил к образованию мультиполярно почкующихся клеток; способствовал обесцвечиванию и образованию зернистости в структуре колоний *R. diobovata*. Обесцвечивание может быть связано с тем, что красный пигмент дрожжей синтезируется в мембранах, структура которых могла быть нарушена из-за воздействия фарнезола на биосинтез ФХ.

Клофибрат подействовал только на штамм *P. foliacea*, в колонии которого стали встречаться клетки с крупными жировыми каплями.

Фарнезол также оказал значительное влияние на молекулярный профиль ФХ: у обеих штаммов уменьшилось содержание ненасыщенных жирных кислот. У *P. foliacea* стоит отдельно отметить уменьшение уровня молекулярных видов, содержащих линоленовую кислоту, которая у разных групп грибов является маркером активно растущих клеток по данным исследований нашей лаборатории.

Таким образом, можно сделать предположение, что у базидиальных дрожжей в метаболизме ФХ доминирует путь Кеннеди: при ингибировании этого пути снижается скорость роста культур, а также значительно изменяется молекулярный профиль ФХ.

В пользу этого предположения говорят данные эксперимента с мечеными предшественниками: было зарегистрировано включение *d9*-холина в ФХ и отсутствие включения *d3*-серина (предшественника ФЭ), что говорит об активности пути Кеннеди и незначительном вкладе пути биосинтеза ФХ из ФЭ.

Ключевые слова: базидиомицеты, дрожжи, липидомика, фарнезол, фосфатидилхолин

STUDY OF PHOSPHATIDYLCHOLINE METABOLISM IN BASIDIAL YEAST

Amigud E.Ya.¹, Senik S.V.², Serebryakov E.B.³, Kotlova E.R.²

¹ Herzen State Pedagogical University, Saint Petersburg, Russia

² Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

³ SPBU "Chemical Analysis and Materials Research Centre", Saint Petersburg, Russia

Keywords: Basidiomycota, yeast, lipidomics, farnesol, phosphatidylcholine

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ УКОРЕНЕНИЯ МИКРОПОБЕГОВ ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО (*FRAXINUS EXCELSIOR* L.) *IN VITRO*

Аmineва Е.Ю.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Воронеж, Россия

E-mail: elena.pardaeva@mail.ru

В большинстве работ отмечают трудности в укоренении *in vitro* материала ясеня обыкновенного, взятого от взрослых деревьев. В качестве основы питательных сред для укоренения ясеня *in vitro* чаще всего используют MS или WPM без регуляторов роста, либо в сочетании с ними (ИУК, ИМК, НУК).

Цель работы – определение возможных путей укоренения микропобегов ясеня обыкновенного в культуре *in vitro*.

В экспериментах по укоренению микропобегов ясеня использовали различные варианты питательных сред: MS в сочетании с регуляторами роста ИМК, НУК, 6-БАП в различном сочетании и концентрациях, а также $\frac{1}{2}$ WPM с предварительным выдерживанием микропобегов на среде MS с повышенным содержанием ауксина ИМК (2, 4, 6, 8, 10 мг/л). При использовании среды MS в сочетании с регуляторами роста ни на одной из них ризогенез не наблюдался.

В экспериментах с предварительным выдерживанием микропобегов на среде, дополненной регулятором роста ИМК в концентрациях 2, 4, 6, 8, 10 мг/л и с последующим их переносом на безгормональную питательную среду $\frac{1}{2}$ WPM лучшие результаты достигнуты в экспериментах на средах, содержащих 4 и 6 мг/л ИМК (50% и 30% укоренившихся культур соответственно).

Ключевые слова: ясень обыкновенный, *Fraxinus excelsior* L., *in vitro*, укоренение

OPTIMIZATION OF THE MEDIA NUTRIENT COMPOSITION FOR MICROSHOOT COMMON ASH (*FRAXINUS EXCELSIOR* L.) *ROOTING IN VITRO*

Amineva E.Yu.

FSBI «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», Voronezh, Russia

Keywords: common ash, *Fraxinus excelsior* L., *in vitro*, rooting

ИНДУКЦИЯ «БОРОДАТЫХ» КОРНЕЙ *GLYCYRRHIZA URALENSIS* И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РОСТА, ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Андрейчук Д.Д.^{1,2*}, Асбаганов С.В.¹, Амброс Е.В.¹, Новикова Т.И.¹

¹ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

*E-mail: d.andreichuk@g.nsu.ru

Солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch. ex DC.) востребованное в пищевой и фармацевтической промышленности растение, характеризующееся высоким содержанием ценных фармакологических веществ - глицирризиновой кислоты, флавоноидов и другие. Экстракты солодки обладают иммуномодулирующим, противовоспалительным, противоастматическим, противоаллергическим, гепатопротекторным действием. Повышенный спрос на продукцию из солодки создает необходимость поиска альтернативных источников растительного сырья, что определяет перспективность культуры «бородатых» корней (БК) для получения целевых метаболитов. Чистота получаемого продукта, независимость от погодноклиматических условий, возможность масштабирования процесса с использованием биореакторов являются преимуществами использования БК при производстве препаратов на растительной основе. В результате исследования разработан протокол агробактериальной трансформации *Rhizobium rhizogenes* различных типов эксплантов микрорастений *G. uralensis*: первичных побегов, семядолей, первичных корней и гипокотилей. Изучено влияние 100 мкМ ацетосирингона, варьирование времени сокультивирования (2 и 4 ч) на эффективность процесса трансформации двумя штаммами 15834 SWISS и MSU 440. Определен наиболее вирулентный штамм (15834 SWISS, частота трансформации – 39,64%), время инфицирования (2 ч) и компетентные типы эксплантов для трансформации. В результате первичной селекции отобрано 12 линий стабильно растущих культур БК. ПЦР-анализ показал, что все отобранные линии являются трансгенными. По суммарному содержанию фенольных соединений и скорости роста на агаризованной среде Мурасиге-Скуга (МС) отобраны 5 наиболее перспективных линий БК, для которых изучена динамика ростовых параметров при переносе с агаризованной в жидкую среду МС. Проведено оценка изменения содержания вторичных метаболитов при элиситации салициловой кислотой.

Ключевые слова: *G. uralensis*, *R. rhizogenes*, «бородатые» корни, ростовые параметры, фенольные соединения, элиситация

INDUCTION OF "HAIRY" ROOTS OF *GLYCYRRHIZA URALENSIS* AND EVALUATION OF GROWTH PARAMETERS, PHENOLIC COMPOUNDS WHEN GROWING ON SOLID AND LIQUID NUTRITIONAL MEDIA

Andreichuk D.D.^{1,2*}, Asbaganov S.V.¹, Ambros E.V.¹, Novikova T.I.¹

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

*E-mail: d.andreichuk@g.nsu.ru

Keywords: *G. uralensis*, *R. rhizogenes*, «hairy» roots, growth parameters, phenolic compounds, elicitation

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, СНИЖАЮЩИХ ГЕРБИЦИДНУЮ НАГРУЗКУ И СТИМУЛИРУЮЩИХ РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Анисимова Л.Г.

Государственное бюджетное учреждение Республики Башкортостан
«Научно-исследовательский технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии наук Республики Башкортостан», Уфа, Россия
E-mail: biotechexpert22@gmail.com

С целью разработки мер защиты яровой мягкой пшеницы от грибных заболеваний проведена оценка возможности применения биопрепарата на основе штаммов *Bacillus subtilis* FD 1, LF 1 и БЛГ 1, проявляющих антагонистические свойства против фитопатогенных грибов и стимулирующих энергию прорастания, всхожесть и рост злаковых культур, в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия Фултайм и Парадокс. Установлено, что концентрации гербицидов, используемые в модельном опыте, не угнетают жизнедеятельность бактерий в течение 10 суток экспозиции, при этом штаммы сохраняют титр до 10^4 клеток/мл в присутствии гербицидов. Также протестирована фунгицидная активность штаммов в отношении ряда фитопатогенных грибов (*Alternaria alternata*, *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Helminthosporium sativum*, *Botrytis byssoidea*). Установлено, что, при совместной экспозиции с гербицидами биопрепарат сохраняет свои фунгицидные свойства в течение 4–10 суток. Выявлено, что обработка биопрепаратами значительно стимулирует рост первичной корневой системы - в 4.2–8.7 раз эффективнее в сравнении с химическими средствами защиты растений и в 1.4–1.6 раз в сравнении с контролем, что очень важно на начальных этапах вегетации растений. Рост-стимулирующая активность проявлялась в увеличении количества первичных и боковых корней, их длины и площади поперечных срезов за счет продуцированием фитогормонов. Установлено, что добавление биопрепарата в баковую смесь, содержащую гербициды, вызвало усиление фотосинтетической деятельности растений за счет увеличения количества хлорофиллов А, Б и каротиноидов до значений, сравнимых с контрольным вариантом в сравнении с использованием только гербицидов. Таким образом, на основании полученных данных изученные биопрепараты можно рекомендовать в качестве биофунгицидов и ростстимулирующих препаратов.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*, *Triticum aestivum* L., биофунгициды, фотосинтез

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE BIOLOGICAL PREPARATIONS COMPONENTS THAT REDUCE THE HERBICIDE LOAD AND STIMULATE THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS

Anisimova L.G.

State Budgetary Institution of the Republic of Bashkortostan «Research Technological Institute of Herbicides and Plant Growth Regulators with Pilot Production of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan», Ufa, Russia

Keywords: *Bacillus subtilis*, *Triticum aestivum* L., biofungicides, photosynthesis

ОСОБЕННОСТИ ВВЕДЕНИЯ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* *ARTEMISIA MARTJANOVII* KRASCH. EX POLJAKOV

Антонова Е.Е. *, Кучарова Е.В.

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

*E-mail: ee.antonova@s-vfu.ru

Полынь Мартьянова – представитель рода *Artemisia* L., эндемичное растение, введено в Красную книгу Якутии (2017), представляет интерес как источник эфирных масел и вторичных метаболитов. В надземной части *Artemisia martjanovii* содержится до 0,19 % эфирных масел, в корнях – 0,72 %.

Целью исследования является введение в культуру *in vitro Artemisia martjanovii* Krasch. Ex Poljakov. Семена дикорастущего растения были собраны в августе 2022 г. в окрестностях с. Еланка Хангаласского района Якутии, где сохранились несколько ценопопуляций растения. В контролируемых условиях климатической камеры MLR-351H (Sanyo) на безгормональной питательной среде Мурасиге-Скуга (МС) в чашках Петри проращивали стерильные проростки до настоящих листьев. Далее для побегообразования стерильные проростки пересаживали на 250 мл колбы с питательной средой МС с добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП). Затем из листовых эксплантов инициировали получение микроклонов на питательной среде МС с добавлением различных вариантов фитогормонов. В ходе экспериментальных работ было установлено, что образцы, культивируемые при добавлении в питательную среду 0,5 мг/л БАП давали интенсивное побегообразование, а при добавлении 0,5 мг/л α -нафтилуксусной кислоты наблюдался интенсивный рост и корнеобразование побегов.

Таким образом, была разработана технология получения микроклонов *Artemisia martjanovii*, успешно инициировано корнеобразование. Следующим этапом исследования является изучение адаптации микроклонов в условиях почвенных субстратов в горшочках, а затем в условиях открытого грунта.

Исследование выполнено в СВФУ за счет гранта РФФИ №22-14-20031, <https://rscf.ru/en/project/22-14-20031>.

Ключевые слова: *Artemisia martjanovii*, *in vitro*, микроклоны, регуляторы роста

FEATURES OF INTRODUCTION INTO CULTURE *IN VITRO* *ARTEMISIA MARTJANOVII* KRASCH. EX POLJAKOV

Antonova E.E., Kucharova E.V.

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Keywords: *Artemisia martjanovii*, *in vitro*, microclones, growth regulators

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ В УСЛОВИЯХ СОЛЕЩЕЛОЧНОГО СТРЕССА

Арисова А.К.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
E-mail: nast483@bk.ru

При одновременном воздействии засоления и щелочности на растения их ответные реакции направлены на осморегуляцию, защиту от избытка засоляющих ионов и окислительных радикалов, а также на pH-регуляцию. Существует определенная трудность в отделении эффекта токсичности солей от воздействия высоких pH на растение. Цель исследований – в условиях сощелочного стресса определить вклад засоления и щелочности в изменение содержания некоторых органических кислот (щавелевой, яблочной, янтарной, лимонной) и пероксидазной активности в листьях пшеницы. *Материалы и методы.* Объектом является пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.). Исследования проведены в двухфакторном эксперименте с воздействием NaCl-засоления (50 мМ, 100 мМ, 150 мМ, 200 мМ) и щелочности (7, 8, 9, 10 pH). Отбор растительных проб провели через 1, 4, 24 часа после стресс-воздействия. Определено содержание органических кислот (щавелевой, лимонной, яблочной, янтарной) – методом ВЭЖХ, активность пероксидаз – по методу Бояркина. Результаты эксперимента обработаны двухфакторным дисперсионным анализом с повторными измерениями для определения силы влияния факторов (по Снедекору), при уровне значимости $P < 0,05$. Все вычисления проведены с помощью универсального статистического пакета Stadia 8.0.

При сощелочном стрессе NaCl-засоление и щелочность в максимальной степени определяли изменение содержания органических кислот цикла Кребса в листьях пшеницы; во все периоды наблюдений общая факторная нагрузка составила более 90%. Несколько ниже показатель влияния факторов на активность пероксидаз и содержание щавелевой кислоты, сила влияния от 60 до 90%. Величина pH в несколько большей степени, чем концентрация NaCl, определяла изменчивость содержания органических кислот в листьях пшеницы. По-видимому, при сощелочном стрессе метаболизм кислот связан с их участием в осморегуляции и pH-гомеостазе. Проявилась тенденция к повышенному влиянию NaCl-засоления на пероксидазную активность в листьях пшеницы, по сравнению со щелочностью. Изменение активности пероксидаз в листьях пшеницы через 1 ч после внесения соли в корневую среду соответствуют опубликованным в литературе данным о ранних признаках развития окислительного стресса у растений.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., сощелочной стресс, органические кислоты, пероксидаза.

PROTECTIVE SYSTEMS' RESPONSE OF WHEAT EXPOSED TO SALT-ALKALI STRESS

Arisova A.K.

Perm State University, Perm, Russia

Keywords: *Triticum aestivum* L., salt-alkali-stress, organic acids, peroxidase.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ БЕЛКОВ ВИРУСА ЗЕЛЕННОЙ ПЯТНИСТОСТИ ГИБИСКУСА

Атабекова А.К. *, Лезжов А.А., Морозов С.Ю., Соловьев А.Г.

НИИ Физико-химической биологии им А.Н. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

*E-mail: asya_atabekova@mail.ru

Транспортные белки (ТБ) вирусов растений необходимы для межклеточного транспорта вирусного генома через плазмодесмы (ПД), цитоплазматические каналы, соединяющие соседние клетки в тканях растений. ТБ способны увеличивать пропускную способность каналов ПД, что делает возможным транспорт вирусного генома из клетки в клетку. Межклеточный транспорт вирусов сопряжен с их репликацией, которая происходит в ассоциации с мембранными компартментами, часто расположенными вблизи ПД, которые представляют собой эндомембраны клетки, модифицированные вирусными белками. Во многих случаях показано, что вирусные ТБ играют основную роль в формировании таких мембранных компартментов.

РНК-геном вируса зеленой пятнистости гибискуса (ВЗПГ) кодирует два ТБ, необходимых для вирусного транспорта, называемые ВМВ1 и ВМВ2. ВМВ1 содержит хеликазный домен и, как предполагают на основании его сходства с другими вирусными белками, способен связывать РНК, образуя предназначенную для межклеточного транспорта форму вирусного генома. ВМВ1 локализован и в цитоплазме, и в ядре. ВМВ2 представляет собой небольшой белок с двумя гидрофобными доменами, который интегрирован в мембраны эндоплазматического ретикулума (ЭПР). Экспрессия ВМВ2 в клетках растений приводит к формированию мембранных компартментов, расположенных вблизи ПД и являющихся производными мембран ЭПР, и к транспорту ВМВ1 в эти структуры.

В данной работе показано, что временная экспрессия белка ВМВ1 в листьях *Nicotiana benthamiana* вызывает развитие защитного ответа растений, сходного с гиперчувствительным, и исследована связь между локализацией белка ВМВ1 и индукцией защитного ответа. Обнаружено, что ВМВ1, несущий сигнал ядерной локализации, не вызывает защитного ответа. Аналогичным образом, секвестирование ВМВ1 в ВМВ2-специфических мембранных структурах, наблюдаемое при ко-экспрессии ВМВ1 и ВМВ2, супрессирует защитный ответ. Таким образом, активация защитного ответа на экспрессию ВМВ1 требует локализации данного белка в цитоплазме.

Ключевые слова: вирусы растений, межклеточный транспорт вирусов, плазмодесмы, транспортные белки вирусов, защитный ответ растений

FUNCTIONAL ANALYSIS OF MOVEMENT PROTEINS OF HIBISCUS GREEN SPOT VIRUS

Atabekova A.K., Lezzhov A.A., Morozov S.Y., Solovyev A.G.

A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Moscow State University, Moscow, Russia

Keywords: plant viruses, virus cell-to-cell movement, plasmodesmata, viral movement proteins, plant defense response

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КРИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ПОЧЕК ВОЗОБНОВЛЕНИЯ *HYLOTELEPHIUM TREPHILUM*

Атоян М.С.* , Малышев Р.В., Табаленкова Г.Н.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

*E-mail: marinka140895@mail.ru

Почки возобновления являются удобной моделью для изучения процессов роста, метаболизма и биоэнергетики под влиянием факторов среды. Исследования могут дать новую информацию о физиолого-биохимических и молекулярных механизмах роста побега на этапе внутривушечного роста. Объект исследований почки возобновления *Hylotelephium trephilum* - многолетнего травянистого растения. Установлено, что диапазон температуры замерзания воды в почках составлял от -4 до -6°C. Наименьшая температура зафиксирована в августе -6°C, в течение осени, зимы и весны она не превышала -4°C. Оводненность тканей почек в течение года не изменялась и была близка к 80%. В весенне-летний период преобладала фракция свободной воды, в осенне-зимний с ростом концентрации криопротекторов, появлялась фракция связанной воды. Выявлена высокая интенсивность дыхания почек в осенне-зимний период. Показано, что количество запасаемой энергии от образованной при дыхании достигало 60%, что свидетельствуют об интенсивном метаболизме меристематических тканей.

Установлено, что формирование фотосинтетического аппарата в первую очередь осуществляется за счет синтеза Хл *a*. Можно полагать, что при высокой интенсивности энергетического метаболизма и отсутствии видимого роста почек в зимний период образуемая энергия используется на процессы морфогенеза тканей и органов.

Ключевые слова: *Hylotelephium trephilum*, почки возобновления, оводненность, кристаллизация воды, запасание энергии.

SEASONAL CHANGES IN THE CRYORESISTANCE OF THE BUDS OF THE RENEWAL *HYLOTELEPHIUM TREPHILUM*

Atoyan M.S., Malyshev R.V., Tabalenkova G.N.

Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Keywords: *Hylotelephium trephilum*, buds renewal, water content, crystallization of water, energy storage

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФЛОЭМЫ И КСИЛЕМЫ *PINUS SYLVESTRIS* L.

Афошин Н.В.^{*}, Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Семенова Л.И., Иванова Д.С.

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия

*E-mail: afosh.nik843@gmail.com

Цель работы заключалась в оценке влияния температуры воздуха на ксило- и флоэмогенез у сосны обыкновенной. Объекты включали деревья 70-80 лет, произраставшие в средней и северной тайге, и 40-летние деревья, произраставшие на Петрозаводской ЛСП. Фиксацию образцов, изготовление и исследование срезов проводили по стандартным методикам. Метеоданные были получены с использованием сервиса "Расписание Погоды" (rp5.ru).

Сопоставление данных по приростам ксилемы и флоэмы у 70-80-летних деревьев с суммами эффективных температур выше +5 °С (СЭТ+5) показало, что наиболее значительный эффект температуры оказывают на приросты ксилемы. Исследование сезонной активности камбия на примере 40-летних деревьев показало, что отложение камбием клеток ксилемы начинается при значениях СЭТ+5 больше 50 °С·сут. В средней тайге критическое для начала ксилогенеза значение СЭТ+5 достигается примерно на 2 недели раньше, чем в северной тайге, что, вероятно, является причиной различий в величине приростов ксилемы.

Исследование проводилось при поддержке гранта РНФ № 21-14-00204 «Закономерности формирования ядровой древесины у сосны обыкновенной в диапазоне климатических условий: физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы».

Ключевые слова: ксилогенез, флоэмогенез, камбиальная активность

INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON THE FORMATION OF PHLOEM AND XYLEM OF *PINUS SYLVESTRIS* L.

Afoshin N.V., Tarelkina T.V., Serkova A.A., Semenova L.I., Ivanova D.S.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petozavodsk, Russian Federation

Keywords: xylogenesis, phloemogenesis, cambial activity

ИММУНОЛОКАЛИЗАЦИЯ ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТЫ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ ГОРОХА И РОСТ КОРНЕЙ НА ФОНЕ ЗАСОЛЕНИЯ

Ахиярова Г.Р. *, Вафина Г.Х., Гиниятуллин А.Р., Гаффарова Э.Р.

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: akhiyarova@rambler.ru

Роль гормонов в реакции на засоление изучалась подробно на примере абсцизовой кислоты. Известно, что жасмонаты играют не меньшую роль в адаптации растений при действии стрессовых абиотических факторов. Есть сведения о роли жасмоновой кислоты в реакции корневой системы растений в ответ на засоление. Так, жасмонаты способны ингибировать удлинение корней. Однако, для понимания механизма действия жасмоновой кислоты на рост корней, важно оценить изменение уровня и распределения этих гормонов в клетках апексов корней, где происходят процессы деления и растяжения клеток. Таким образом, целью данной работы являлось изучить особенности иммуногистохимической локализации жасмоновой кислоты в растущей зоне корней растений гороха при действии засоления.

Исследования проводили на растениях гороха посевного *Pisum sativum* сорта Сахарный 2. Растения выращивали в условиях гидропоники на 10%-ом Хогланде-Арнона. Засоление вызывали добавлением в питательный раствор NaCl в конечной концентрации 50, 75 и 100 мМ. На четвертые сутки после добавления хлорида натрия в питательный раствор растений измеряли длину корней и фиксировали кончики корней для иммунолокализации жасмоновой кислоты. Изучение иммуногистохимической локализации жасмоновой кислоты проводили на гистологических срезах растущей зоны корней с использованием специфических антител к данному гормону и вторичных антител, меченных Alexa555. Окрашивание срезов визуализировали с помощью конфокальной микроскопии (при длине волны 561 нм).

Засоление питательного раствора ингибировало удлинение корней растений гороха. Действие засоления на рост корней усиливалось с увеличением концентрации хлорида натрия (уменьшение длины корня на 5% при 50 мМ, 11% – 75 мМ и 37% – 100 мМ, по сравнению с контрольными растениями), что, в свою очередь, сопровождалось усилением иммунного окрашивания жасмоновой кислоты в растущей зоне корней гороха. Отмечена ядерная локализация жасмоновой кислоты (РНФ 23-24-00187).

Ключевые слова: иммунолокализация, жасмоновая кислота, засоление, рост корня.

IMMUNOLOCALIZATION OF JASMONIC ACID IN PEA ROOTS AND ROOT GROWTH UNDER SALINIZATION

Akhiyarova G.R., Vafina G.Kh., Giniyatullin A.R., Gaffarova E.R.

Ufa Institute of Biology UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: immunolocalization, jasmonic acid, salt stress, root growth.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕФИЦИТНОГО ПО АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЕ МУТАНТА ЯЧМЕНЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

Ахтямова З.А.* , Архипова Т.Н., Шарипова Г.В., Иванов Р.С., Веселов Д.С.

Уфимский Институт биологии Российской академии наук, пр. Октября 69, 450054, Уфа, Россия

*E-mail: akhtyamovazarina@anrb.ru

Способность ризосферных бактерий продуцировать или разрушать гормоны растений и влиять на их концентрацию в растениях является одним из основных факторов, от которых зависит стимуляция роста под влиянием таких бактерий. О продукции бактериями абсцизовой кислоты (АБК) известно немного. Лишь недавно появились публикации, где можно найти данные о содержании этого гормона в корнях. Чтобы проверить предположение о том, что стимуляция роста растений может быть связана со способностью АБК повышать гидравлическую проводимость корней за счет активации аквапоринов, мы изучили влияние бактерий на дефицитный по АБК мутант ячменя. Ранее нами было показано, что бактерии штамма *Bacillus subtilis* IB-22 повышают уровень АБК в растениях за счет способности синтезировать этот гормон и влиять на его метаболизм в растениях.

Необработанные бактериями растения дефицитного по АБК мутанта ячменя отличались от растений исходного генотипа меньшим весом побега и длиной второго листа, а также пониженной гидравлической проводимостью. С помощью метода иммуногистохимической локализации мы зарегистрировали у мутанта более низкий уровень PIP2 аквапоринов. Инокуляция *Bacillus subtilis* IB-22 стимулировала рост растений, как мутанта, так и дикого типа. Также под влиянием бактерий возрастал уровень аквапоринов и гидравлическая проводимость корней дефицитного по АБК мутанта.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости АБК для поддержания уровня аквапоринов, гидравлической проводимости и роста растений. Компенсация дефицита АБК у мутанта под влиянием инокуляции бактерий, способных продуцировать АБК и повышать ее уровень в растениях, способствовала повышению гидравлической проводимости растений за счет увеличения уровня PIP2 аквапоринов и проявлению рост стимулирующего эффекта бактерий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-14-00070.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, абсцизовая кислота, АБК-дефицитный мутант Az34, *Bacillus subtilis*, аквапорины)

USING OF ABA- DEFICIENT BARLEY MUTANT TO STUDY THE INTERACTION OF PLANTS AND MICROORGANISMS

Akhtyamova Z.A., Arkhipova T.N., Sharipova G.V., Ivanov R.S., Veselov D.S.

Ufa Institute of Biology, UFRS, RAS, Prospekt Oktyabrya, 69, 450054, Ufa, Russia

Keywords: *Hordeum vulgare*, abscisic acid, ABA-deficient mutant Az34, *Bacillus subtilis*, aquaporins.

ГЕНЕРАЦИЯ АФК И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ В ПРОРАСТАНИИ ПЫЛЬЦЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ

Бабушкина К.О. *, Лунева О.Г., Брейгина М.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Москва, Россия

*E-mail: tardigradedd@gmail.com

Известно, что пыльцевые зерна цветковых растений обмениваются АФК-сигналами с женскими тканями спорофита. Это, наряду с другими способами взаимодействия, способствует их репродуктивному успеху. Однако было неизвестно, осуществляется ли подобная регуляция у хвойных растений. Чтобы это проверить, необходимо было исследовать рецептивную среду, в которую попадает пыльца, – опылительную каплю. В ее состав входят углеводы, органические кислоты и некоторые белки. Если прорастание пыльцы контролируется женскими тканями при помощи АФК, они должны присутствовать в опылительной капле.

Мы применили высокочувствительную ЭПР спектроскопию для детекции АФК в малых объемах жидкости. Исследовались опылительные капли 4 видов хвойных растений из трех семейств. АФК обнаружены у всех исследуемых видов, причем соотношение между супероксид-радикалом и пероксидом водорода различается у представителей разных семейств. В опылительных каплях ели преобладает супероксид-радикал, а пероксид водорода в детектируемых количествах отсутствует. Стимулирующий эффект этой АФК мы проверили в модельной системе *in vitro*. Обе АФК стимулировали прорастание пыльцы, но супероксид действовал в несколько раз эффективнее и, в отличие от пероксида водорода, отдельно влиял на эффективность биполярного прорастания.

Мы также обнаружили эндогенную генерацию АФК в суспензии пыльцевых зёрен, которые, вероятно, могут защищать прорастающую пыльцу от патогенов. Генерацию АФК мы оценивали в динамике: пик пришелся на 9ч и совпал со временем появления первых пыльцевых трубок.

Таким образом, прорастание пыльцы голосеменных растений может регулироваться женскими тканями при помощи АФК. На основании наших данных мы предположили, что их присутствие в рецептивной жидкости является характерным свойством хвойных растений, имеющих опылительную каплю. Однако, соотношение и роль различных АФК различаются у представителей разных семейств.

Ключевые слова: хвойные, прорастание пыльцы, АФК, опылительная капля

ROS GENERATION AND POTENTIAL ROLE IN CONIFER POLLEN GERMINATION

Babushkina K.O.*, Luneva O.G., Breygina M.A.

Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*E-mail: tardigradedd@gmail.com

Keywords: conifers, pollen germination, ROS, pollination drop

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЕДИНЕНИЙ КОБАЛЬТА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ ДЫХАНИЯ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Байгильдина Г.И.*, Федяев В.В., Фархутдинов Р.Г., Гарипова М.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

*E-mail: hgia844@gmail.com

Кобальт (Co) – тяжелый металл, поступающий в почву в результате естественных геохимических процессов и антропогенной деятельности. Co в почве может находиться в двух формах – Co^{2+} и Co^{3+} . При этом Co^{3+} является более токсичным, стабильным и подвижным. Co в высоких концентрациях оказывает токсическое действие на растения, что проявляется в нарушении водного обмена, минерального питания и фотосинтеза. Дыхание является одним из центральных элементов метаболизма клетки. При изменении условий среды может происходить смена соотношений дыхательных путей. В настоящее время недостаточно информации о влиянии Co на дыхание и его функциональные составляющие.

Изучали влияние $CoCl_2$, $Co(II)$ ЭДТА и $Co(III)$ ЭДТА на параметры дыхания 10-суточных растений яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L. сорта Казахстанская 10). В питательную среду Хогланда-Арнона вносили соединения кобальта ($CoCl_2$, $Co(II)$ ЭДТА и $Co(III)$ ЭДТА) в концентрации 250 мкМ.

Доля цитохромоксидазного пути (ЦП) дыхания в корнях под воздействием $Co(III)$ ЭДТА возрастала на 7%, $CoCl_2$ и $Co(II)$ ЭДТА приводили к снижению данного параметра на 33% и 14%, относительно контроля. Доля альтернативного пути (АП) дыхания под влиянием $CoCl_2$ и $Co(II)$ ЭДТА повышалась на 100 % и 75%, соответственно, и снижалась на 12% в присутствии $Co(III)$ ЭДТА. Под воздействием $CoCl_2$ происходило увеличение дыхательных затрат от гросс-фотосинтеза (R/Pg), что отражает состояние стресса у этих растений. В присутствии ЭДТА-комплексов Co происходило незначительное повышение данного параметра.

Таким образом, показаны различия во влиянии соединений Co на показатели дыхания. Под влиянием $CoCl_2$ и $Co(II)$ ЭДТА доля АП дыхания возрастала, что показывает более высокую токсичность этих соединений металла. Исходя из величины R/Pg растения испытывали значительный стресс под влиянием $CoCl_2$ и в меньшей степени в присутствии ЭДТА-комплексов Co.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., альтернативная оксидаза, дыхание, кобальт

INFLUENCE OF HIGH CONCENTRATIONS OF COBALT COMPOUNDS ON RESPIRATION COMPONENTS IN WHEAT PLANTS

Baigildina G.I., Fedyaev V.V., Farkhutdinov R.G., Garipova M.I.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: *Triticum aestivum* L., alternative oxidase, respiration, cobalt.

РАСТЕНИЕ РЕГУЛИРУЕТ СИНТЕЗ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РИЗОБИЯМИ

**Баймиев Ал.Х.* , Владимирова А.А., Матниязов Р.Т., Лавина А.М.,
Филяева К.Ю.**

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

*E-mail: baymiev@mail.ru

Клубеньковым бактериям для успешной колонизации и инфицирования корней растения-хозяина необходимо противостоять в конкурентной борьбе другим близкородственным ризобиям и посторонней микрофлоре ризосферы. Еще в 60-х годах прошлого века у ризобий были обнаружены соединений различной природы, специфично подавляющие рост гомологичных бактерий. Ризобии способны подавлять рост конкурирующих бактерий путем синтеза АНЛ (N-ацил-гомосеринлактоны – сигналы чувства кворума), бактериофагов и бактериоцинов.

С целью изучения способности к подавлению роста родственных бактерий нами проведен скрининг 1019 штаммов ризобий из коллекции симбиотических ризосферных микроорганизмов «Симбионт» ИБГ УФИЦ РАН. Исследования штаммов ризобий *Rhizobium leguminosarum* и *Neorhizobium galegae*, изолированных из клубеньков 20 видов дикорастущих видов бобовых растений Южного Урала, показали, что подавление роста конкурирующих бактерий ризобиями – довольно распространенное явление. В среднем, при выращивании на богатых средах, от 10 до 40% штаммов, в зависимости от растения-хозяина, синтезировали и выделяли в среду антибактериальные соединения (АС). Выявлено, что процент штаммов, синтезирующих АС в некоторой степени соотносится с уровнем генетического разнообразия популяции микросимбионтов бобового растения. При этом показано, что синтез АС на богатых средах происходит спонтанно и его уровень не зависит от наличия в культуральной среде других бактерий или их компонент. Однако синтез АС может кратно увеличиваться под воздействием растительных флавоноидов. Таким образом именно растение способно регулировать синтез антибактериальных соединений у клубеньковых бактерий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00193, <https://rscf.ru/project/22-24-00193/>.

Ключевые слова: бобово-ризобиальный симбиоз, ризобии, антибактериальные соединения, регуляция синтеза антибиотиков.

PLANT REGULATES SYNTHESIS OF ANTIBACTERIAL COMPOUNDS BY RHISOBIA

**Baymiev Al.Kh.* , Vladimirova A.A., Matniyazov R.T., Lavina A.M.,
Filyaeva K.Yu.**

Institute of Biochemistry and Genetics UFSC RAS, Ufa, Russia

Keywords: legume-rhizobium symbiosis, rhizobia, antibacterial compounds, regulation of antibiotic synthesis.

РОЛЬ БОБОВОГО РАСТЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МНОГООБРАЗИЯ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ В СВОИХ КЛУБЕНЬКАХ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ВЕГЕТАЦИИ

Баймиев Ан.Х.^{*}, Коряков И.С., Акимова Е.С., Владимирова А.А.,
Баймиев Ал.Х.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: baymiev@anrb.ru

Известно, что ризобии формирующие клубеньки на корнях дикорастущих бобовых растений отличаются часто высоким генетическим разнообразием, что соответственно влияет и на эффективность фиксации ими азота. Казалось бы что за тысячелетия совместной эволюции бобовых растений и клубеньковых бактерий должно было сформироваться наиболее оптимальный генетический вариант бактерии, которую бы растение успешно амплифицировало в клубеньках и добивалось бы этим высокого содержания этих микроорганизмов в своей ризосфере. Это приводило бы в следующий сезон образование клубеньков именно этими вариантами бактерий, и так по циклу. На самом деле ситуация совсем иная. И именно растение является основным выгодополучателем от высокого полиморфизма клубеньковых бактерий в ризосфере и скорее всего активно участвует в формировании гетерогенности ризобий. Нами было показано, что наибольший полиморфизм формирующих клубеньки ризобий наблюдается в начальной стадии вегетации растения. Тогда же наблюдается и наибольший разброс бактерий по показателям их азотфиксирующей активности. К середине вегетации в клубеньках уже обнаруживается более выравненные по показателям азотфиксации штаммы ризобий и соответственно наблюдается снижение полиморфизма микроорганизмов. Как мы предполагаем, это происходит за счет отмирания сверх активных и неэффективных вариантов клубеньков. По сути, растение пропускает через сито отбора варианты клубеньков, сформированных разными по эффективности бактериями, оставляя клубеньки наиболее оптимальные по C/N соотношению, которая зависит от внешнего фактора, и таким образом очень точно настраивает свой азотфиксирующий аппарат. В конце вегетации в случае многолетних бобовых растений происходит образование клубеньков, задачей которых является амплификация бактерий в ризосфере к следующему сезону, при котором растение вероятно снижает свою специфичность, что позволяет разным генетическим вариантам клубеньковых бактерий формировать на нем клубеньки. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00207.

Ключевые слова: ризобия, полиморфизм, эффективность азотфиксации, бобовые.

THE ROLE OF THE BEAN PLANT IN THE FORMATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF NODULE BACTERIA IN THEIR NODULES AT DIFFERENT STAGES OF THE VEGETATION

Baymiev An.K., Koryakov I.S., Akimova E.S., Vladimirova A.A., Baymiev Al.K.
Institute of Biochemistry and Genetics UFRS RAS, Ufa, Russia

Keywords: rhizobia, polymorphism, nitrogen fixation efficiency, legumes

СОЗДАНИЕ ГЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, НЕСУЩИХ ГЕНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В РЕГУЛЯЦИИ МЕТАБОЛИЗМА ИНУЛИНА В *CICHORIUM INTYBUS* L.

Баймухаметова Э.А.^{1*}, Мусин Х.Г.¹, Швец Д.Ю.^{1,2}, Кулueв Б.Р.¹

¹ Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

² Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия;

*E-mail: elvina.baimuhametova@yandex.ru

Инулин – полисахарид из группы фруктанов, представляющий интерес для современной медицины, который в большом количестве (до 20%) содержится в корнях *Cichorium intybus* L. Ключевыми ферментами, регулирующими его биосинтез, являются 1-SST (1-sucrose: sucrose fructosyltransferase), под воздействием которого из двух молекул сахарозы образуется 1-кестоза, и 1-FFT (fructan: fructan 1-fructosyltransferase), который, постепенно присоединяя к 1-кестозе остатки фруктозы, полимеризует углеводную цепь с образованием инулина. Примечательно, что активность данных ферментов возрастает летом, а осенью происходит увеличение экспрессии гена, кодирующего фермент 1-FEH, осуществляющий гидролиз инулина. В связи с этим можно предположить, что конститутивная экспрессия генов *1-SST* и *1-FFT* может способствовать большему накоплению инулина в корнях цикория. Целью данного исследования было создание генетических конструкций с генами *1-SST* и *1-FFT* для получения с их помощью волосовидных корней цикория и исследования содержания в них инулина. Для этого к последовательностям генов из GenBank подбирали праймеры с помощью программы Primer Select. Далее выделяли из цикория РНК с помощью тризола и синтезировали кДНК с применением MMLV ревертазы. Методом ПЦР осуществляли амплификацию целевых генов. ПЦР продукты нужной длины встраивали в вектор pCambia 1301, содержащий 35S CaMV промотор, который затем методом химической трансформации внедряли в клетки *E.coli* штамма XL1blue. Проверку вставки генов в смысловой ориентации осуществляли методом ПЦР, а также путем секвенирования на генетическом анализаторе «Нанофор 05». Из бактерий, содержащих целевые конструкции *35S::SST* и *35S::FFT*, выделяли плазмидную ДНК, которой затем методом электропорации трансформировали клетки *Agrobacterium rhizogenes* штамма A4. Полученные агробактерии, несущие целевые конструкции, в дальнейшем будут использованы для получения волосовидных корней цикория.

Ключевые слова: цикорий обыкновенный, инулин, агробактериальная трансформация.

CREATION OF GENETIC CONSTRUCTIONS CARRYING GENES INVOLVED IN THE REGULATION OF INULIN METABOLISM IN *CICHORIUM INTYBUS* L.

Baimukhametova E.A.¹, Musin Kh.G.¹, Shvets D.Yu.^{1,2}, Kuluev B.R.¹

¹ Institute of Biochemistry and Genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

Keywords: common chicory, inulin, *Agrobacterium*-mediated transformation.

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТА ВОСТОК - ЭМ 1 НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Барановская Е.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия
E-mail: amelija06@mail.ru

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве все больше внимание уделяется проблемам экологии, в частности сохранению и воспроизводству почвенного плодородия. Органическая система земледелия предусматривает отказ от агрохимикатов и минеральных удобрений, что значительно улучшает экологические показатели почвы.

В целях повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях органического земледелия применяются биологические препараты, которые повышают устойчивость растений к болезням, улучшают фито-санитарное состояние почвы, повышают уровень ее плодородия, урожайность и качество сельскохозяйственных культур, особенно при их долгосрочном использовании.

В связи с этим, актуальным является изучение способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия почв.

Целью работы явилось изучение биологической и хозяйственной эффективности препарата ЭМ-БИО (Восток ЭМ-1) на посевах озимой пшеницы сорта Пико в условиях органического земледелия.

ЭМ-БИО или ЭМ-препарат («Восток ЭМ-1») микробиологический препарат, содержащий эффективные микроорганизмы. Эффективность действия заключается в повышении урожайности, содержания витаминов в плодах, восстановлении естественного плодородия почв, снижении содержания нитратов в плодах.

В исследовании показано влияние действия микробиологического препарата Восток ЭМ-1 на продуктивность и урожайность зерна озимой пшеницы.

Для выяснения влияния препарата Восток ЭМ-1 на зерновую продуктивность озимой пшеницы проводили обработку семян перед посевом (норма расхода 0,1 л/т), а также, опрыскивание растений в фазы кушения, выход в трубку, колошения - норма расхода 0,6 л/га.

В итоге исследования установлено, что четырехкратная обработка препаратом Восток ЭМ-1 обеспечила увеличение показателей урожайности зерна озимой пшеницы (масса 1000 зерен, число зерен в колосе). Прибавка урожая зерна в варианте с обработкой Восток ЭМ-1 составила 0,5 т/га.

Ключевые слова: пшеница озимая, органическое земледелие, биологические препараты

THE EFFECT OF THE VOSTOK - EM 1 BIOLOGICAL PRODUCT ON THE GROWTH, DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT IN THE SYSTEM OF ORGANIC FARMING

Baranovskaya E.A.

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

Keywords: winter wheat, biological preparation, organic agriculture

АНТИМИКРОБНЫЕ БЕЛКИ РЕПРОДУКТИВНЫХ ОРГАНОВ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО (*HERACLEUM SOSNOWSKYI*) В ОНТОГЕНЕЗЕ

Барашкова А.С.^{1,2}, Рогожин Е.А.^{1,2*}

¹ Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

² Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург-Пушкин, Россия

*E-mail: rea21@list.ru

Известно, что растения в ответ на разнообразное внешнее воздействие синтезируют целое разнообразие биологически активных соединений. Защитные белки и пептиды присутствуют в растениях во всех органах стадиях развития; они представляют собой не только компоненты врожденного иммунитета, но и вовлечены в физиолого-биохимические пути, участвуя в метаболизме липидов, репродукции и созревании плодов и др. В связи с этим вызывает особый интерес спектр защитных белков в репродуктивных органах растений, а также изменение их качественного и количественного состава в процессе созревания плодов и семян. В рамках настоящей работы в качестве модели был выбран борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*), растение-интродуцент с крайне высоким инвазивным потенциалом. Проведен анализ антимикробных полипептидов (АМБ) в образцах борщевика, относящихся к трем различным физиологическим состояниям - цветках, зеленых и зрелых плодах. Экстракцию измельченного биоматериала осуществляли с использованием отдельно водной уксусной кислоты и трисового буфера (pH 8.0). ВЭЖХ-анализ полученных экстрактов продемонстрировал значительное отличие качественного компонентного состава у всех сравниваемых образцов, при этом наибольшее разнообразие высокомолекулярных белковых соединений было отмечено в незрелых плодах. Проведение структурного анализа преобладающих по количеству соединений сравниваемых экстрактов позволило заключить, что в уксуснокислых экстрактах цветов и незрелых плодов содержатся вещества белково-углеводной природы (протеогликианы), выполняющие запасающую функцию. В водно-солевых экстрактах обнаружены гомологи известных структурных семейств АМБ (липид-переносящие белки и тауматино-подобные белки), при этом их содержание было отмечено лишь в зрелых плодах, что подтверждает их участие в конститутивном иммунитете растений в качестве защитного фактора при последующем прорастании. Работа поддержана грантом Российского научного фонда (проект №19-76-30005-П).

Ключевые слова: иммунитет растений, антимикробные белки и пептиды, онтогенез, борщевик Сосновского, выделение, структурный анализ.

ANTIMICROBIAL PROTEINS FROM REPRODUCTIVE ORGANS OF THE HOGWEED (*HERACLEUM SOSNOWSKYI*) IN ONTOGENY

Barashkova A.S.^{1,2}, Rogozhin E.A.^{1,2}

¹ Shemyakin and Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² All-Russian Institute for Plant Protection, Saint-Petersburg-Pushkin, Russia

Keywords: plant immunity, antimicrobial proteins and peptides, ontogeny, hogweed, isolation, structure analysis

УСКОРЕННОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ *IN VITRO* ЦЕННЫХ ГЕНОТИПОВ ВИНОГРАДА

Батукаев А.А.^{1,2*}, Палаева Д.О.², Адымханов Л.К.²

¹ ФГБНУ «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Грозный, Россия

² ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», Грозный, Россия

*E-mail: batukaevmalik@mail.ru

В качестве исходного материала были взяты интенсивно растущие зеленые побеги винограда (Августин, Кишмиш Лучистый). Вычленение меристем проводили в ламинарных боксах. Степень приживаемости апикальных меристем на этапе введения в культуру *in vitro* составлял в среднем – 40 % (n=20). Прижившиеся апикальные меристемы, через месяц после посадки были пересажены на питательную среду с содержанием тех же компонентов. Пересадку производили в биологические пробирки размером 40 x 120 мм, в течение 45...55 дней образовались регенеранты размерами 6...10 см. Далее эти микрорастения были расчеренкованы и получены микроклоны. Проведенные эксперименты показали, что регенерация побегов из изолированных апексов происходила при всех концентрациях 6-БАП. Микропобеги, выращиваемые на среде с концентрацией 0,1 мг/л 6-БАП, развивались очень медленно. Вероятно, это связано с тем, что такие низкие концентрации препарата слабо стимулируют процессы органогенеза растений. Эффективное влияние 6-БАП оказал в диапазоне концентрации 0,5...1,0 мг/л. Для ускорения процесса удлинения микропобегов параллельно проводили изучение действия гибберелловой кислоты в различных концентрациях в сочетании 6-БАП. Как показал опыт, при сочетании 0,5 мг/л 6-БАП + 1,0 мг/л ГК был достигнут наилучший результат. Таким образом, проведенные нами эксперименты показали эффективное действие ГК (1,0 мг/л) и пониженной концентрации 6-БАП (0,5 мг/л) для удлинения побегов микроклонов виноградного растения.

Ключевые слова: виноград, меристема, *in vitro*, размножение, регуляторы роста.

ACCELERATED *IN VITRO* REPRODUCTION OF VALUABLE GRAPE GENOTYPES

Batukaev A.A.^{1,2*}, Palaeva D.O.², Adymkhanov L.K.²

¹ FGBNU "Chechen Research Institute of Agriculture", Grozny, Russia

² FGBOU VO "Chechen State University. A.A. Kadyrov", Grozny, Russia

Keywords: grapes, meristem, *in vitro*, reproduction, growth regulators.

VESICULARIA DUBYANA BROTH., КАК ПРОДУЦЕНТ МОЛЕКУЛ С БИМЕДИЦИНСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ

**Белышенко А.Ю.* , Моргунова М.М., Малыгина Е.В., Дмитриева М.Е.,
Имидоева Н.А., Шелковникова В.Н., Аксёнов-Грибанов Д.В.**

ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

*E-mail: al.belyshenko@gmail.com

Целью данного исследования являлось выявление и качественная оценка содержания природных соединений группы биогенные амины в образцах мхов, культивированных в лабораторных условиях.

Исследования проведены на образцах мхов *Vesicularia dubyana* Broth. (1908). Растения *V. dubyana* культивировали в лабораторных условиях, при комнатной температуре в диапазоне 18-25°C. Для культивирования мхов использовали полипропиленовые прозрачные контейнеры. Резервуары наполняли наполовину водопроводной водой, которую предварительно отстаивали в пластиковых емкостях. Замену воды в контейнерах проводили каждые 10 дней. Для освещения использовали фитолампы (900-1300 Лк.) с фотопериодом 12/12 ч. Для перемешивания водной массы в контейнере использовали погружную аквариумную помпу. Культивацию продолжали до прироста биомассы в объеме не менее чем на 50%. Из образцов *V. dubyana*, экспонированных в культивационных установках, проводили экстракцию вторичных метаболитов. Идентификацию нейроактивных аминов проводили методом ВЭЖХ-МС в режиме мониторинга множественных реакций на базе хромато-масс-спектрометрического комплекса Agilent Infinity II с масс-спектрометрическим детектором QQQ 6470B. В образцах экстрактов мхов оценивали наличие таких биогенных аминов, как гистамин, триптамин, тирамин, кинуренин и кинуреновая кислота.

Анализ хроматограмм показал, что триптамин, тирамин, кинуренин и кинуреновая кислота присутствуют в образцах мхов *V. dubyana*, выращенных в лабораторных условиях.

Так же, в ходе проведенного исследования обнаружен гистамин. Данный метаболит обнаружен не только в растении, но и в воде, в которой проводили культивацию. Это выявляет способность *V. dubyana* к внеклеточному синтезу данного биогенного амина.

В ходе настоящего исследования показано, что биогенные амины могут быть синтезированы растениями в лабораторных условиях.

Исследование проведено при финансовой поддержке проекта Минобрнауки РФ (проект FZZE 2021-0013) и МНОЦ Байкал.

Ключевые слова: биогенные амины, мхи, масс-спектрометрия, культивирование.

VESICULARIA DUBYANA BROTH. AS A PRODUCER OF MOLECULES WITH BIOMEDICAL POTENTIAL

**Belyshenko A.Yu., Morgunova M.M., Malygina E.V., Dmitrieva M.E.,
Imidoeva N.A., Shelkovnikova V.N., Axenov-Gribanov D.V.**

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Key word: biogenic amines, mosses, mass spectrometry, cultivation.

РОЛЬ ГЕНОВ *EXPS* И *XTHS* В РЕГУЛЯЦИИ РОСТА КОРНЕЙ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ

Бережнева З.А. *, Мусин Х.Г., Кулуев Б.Р.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: berezhneva-z@yandex.ru

Гены экспансинов (*EXPs*) и ксилоглюканэндотрансгликозилаз (*XTHs*) играют важную роль в регуляции роста корневой системы растений при нормальных условиях и при действии различных абиотических стресс-факторов. Нами ранее были созданы трансгенные растения табака со сверхэкспрессией генов *EXPs*: *NtEXPA1*, *NtEXPA5* и *XTHs*: *NtEXGT*, *PtrXTH1*. Целью данной работы стала морфофизиологический, микроскопический и биохимический анализ корневой системы трансгенных растений при нормальных условиях и при влиянии кадмиевого стресса. Трансгенные растения табака характеризовались увеличенной длиной корневой системы по сравнению с растениями дикого типа, как при нормальных условиях, так и при действии ацетата кадмия в концентрации 200 мкМ. Площадь паренхимных клеток корней в зоне всасывания у трансгенных растений табака со сверхэкспрессией генов *EXPs* и *PtrXTH1* была больше по сравнению с диким типом, а в корнях растений с геном *NtEXGT* размеры паренхимных клеток были меньше контроля. Трансгенные растения со сверхэкспрессией генов *EXPs* при действии кадмия имели повышенную общую антиоксидантную способность, а также активность аскорбатпероксидаз и глутатион-S-трансфераз по сравнению с диким типом. Сверхэкспрессия генов *XTHs* в корнях способствовала увеличению общей антиоксидантной способности, активности ферментов аскорбатпероксидаз, содержания окисленного глутатиона и малонового диальдегида в условиях кадмиевого стресса по сравнению с диким типом. Таким образом, нами выявлено, что трансгены *NtEXPA1*, *NtEXPA5* и *PtrXTH1* оказывают стимулирующее действие на рост корневой системы табака в условиях влияния ацетата кадмия за счет улучшения роста паренхимных клеток благодаря стимуляции клеточного растяжения и активизации компонентов антиоксидантной системы. Ген *NtEXGT* также участвует в обеспечении роста корней при действии ацетата кадмия, непосредственно влияя на антиоксидантную систему.

Ключевые слова: экспансины, ксилоглюканэндотрансгликозилазы, стрессоустойчивость, антиоксидантная система

THE ROLE OF *EXPS* AND *XTHS* GENES IN THE REGULATION OF ROOT GROWTH AND STRESS RESISTANCE OF PLANTS

Berezhneva Z.A., Musin Kh.G., Kuluev B.R.

Institute of Biochemistry and Genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: expansins, xyloglucan endotransglycosylases, stress resistance, antioxidant system

ПОЛУЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК ИЗ ЯГОД *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. И ЕЕ РАЗВИТИЕ НА ПРОТЯЖЕНИИ ПАССАЖА

Березина Е.В.^{*}, Ларина М.В., Волынец Г.А., Брилкина А.А.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород, Россия

*E-mail: berezina.kat@gmail.com

В биотехнологии растений важное значение имеет сохранность материала. Для разработки успешного протокола криосохранения культуры суспензионных клеток необходимо знать такие характеристики, как накопление биомассы, жизнеспособность, морфология, ploидность клеток, особенности использования клетками компонентов питательной среды, способность к синтезу метаболитов интереса. Целью данной работы было получить суспензионную культуру клеток голубики и охарактеризовать ее развитие на протяжении пассажа.

Объект исследования – культура клеток голубики щитковой (*Vaccinium corymbosum* L.). Для инициации каллусов использовали ягоды; экспланты помещали на среду WPM с фитогормонами (2,4-Д/БАП по 0.5 мг/л). Суспензионные клетки получали путем переноса каллуса в жидкую среду WPM с фитогормонами (2,4-Д в концентрации 0.5 мг/л или 1.5 мг/л, либо 2,4-Д/БАП по 0.5 мг/л). Для характеристики кривой роста периодически определяли количество клеток, объем клеточной культуры и ее массу, содержание фенольных соединений в клетках, а также рН, электропроводность, содержание азота, фосфора, редуцирующих углеводов и сахарозы в среде.

Выявлено, что частота каллусообразования для экзокарпа и перикарпа составляет около 30%, для мезокарпа – 0%. Наиболее стабильная пролиферация суспензионных клеток отмечена на среде с 2,4-Д/БАП по 0.5 мг/л. Рост этих клеток подчиняется общей закономерности роста культур микроорганизмов; в частности, экспоненциальная фаза начинается с 4 дня, стационарная – с 18 дня пассажа. Содержание фенольных соединений в клетках на 12, 16 и 20 день не меняется. Неизменным на протяжении пассажа остается рН питательной среды (3.2-4.5). К 4 дню в среде резко снижается содержание фосфора, к 12 дню – содержание азота. Содержание сахарозы снижается постепенно, достигая минимума к 18 дню; содержание редуцирующих углеводов постепенно увеличивается. На основе полученных данных клетки *V. corymbosum* пересаживаются на свежую среду каждые 16 дней и для криосохранения отбираются 8-дневные клетки.

Ключевые слова: голубика щитковая, фаза роста, криосохранение

OBTAINING OF *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. CELL SUSPENSION CULTURE AND ITS DEVELOPMENT DURING PASSAGE

Berezina E.V., Larina M.V., Volynets G.A., Brilkina A.A.

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: highbush blueberry, growth phase, cryopreservation

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО

Беренцева С.В.

Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

E-mail: berentseva.sus@gmail.com

Для оценки изменения содержания фотосинтетических пигментов в условиях техногенной нагрузки были выбраны деревья тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающие в санитарно-защитной зоне территории промышленного кластера Челябинского металлургического комбината полного цикла. В качестве фоновой территории использовали Каштакский бор, являющийся памятником природы областного значения, опоясывающий промзону своей южной и юго-восточной частью. С учётом преобладающих ветров было выбрано пять участков вокруг промышленной территории, включая один фоновый. С южной экспозиции кроны трех выбранных на каждом участке деревьев тополя черного отбирали по 20 листьев (на высоте 1,5–2,0 м).

Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) в смешанных образцах листьев тополя черного определяли спектрофотометрически в четырех повторностях при 470, 664 и 649 нм после экстракции в 95 % этаноле и рассчитывали согласно Lichtenthaler.

Содержание хлорофилла *a* в листьях тополя, произрастающего в импактных участках, изменялось от $2,8 \pm 0,4$ мг/г до $3,9 \pm 0,7$ мг/г сухого веса, а содержание хлорофилла *b* – от $1,6 \pm 0,3$ мг/г до $2,4 \pm 0,4$ мг/г сухого веса. В фоновом участке содержание хлорофиллов было в среднем на 83% выше, чем в импактных. По отношению содержания хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* достоверных различий между участками не было, в среднем оно составляло 1,7. Содержание каротиноидов у тополя в импактных участках колебалось от $0,4 \pm 0,07$ мг/г до $0,6 \pm 0,1$ мг/г сухого веса. При этом на фоновой территории оно было выше на 85%.

Таким образом, техногенная нагрузка привела к снижению содержания фотосинтетических пигментов в листьях тополя черного более чем на 80%, что свидетельствует о значительном влиянии на окружающую среду металлургического кластера и угнетению даже легко приспосабливающегося к неблагоприятным факторам вида.

Ключевые слова: *Populus nigra* L., техногенная нагрузка, хлорофилл, каротиноиды

INFLUENCE OF CHELYABINSK METALLURGICAL PLANT ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN BLACK POPLAR LEAVES

Berentseva S.V.

Ural Federal University, named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Populus nigra* L., technogenic load, chlorophyll, carotenoids

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА КОЛЕОПТИЛЕЙ СОРТОВ РИСА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РИСА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ

Богданова Е.М.^{1*}, Бертова А.Д.¹, Бикташева М.О.¹, Кирпичникова А.А.¹, Кондратьева А.В.¹, Шапиро А.С.¹, Пузанский Р.К.², Мухина Ж.М.³, Емельянов В.В.¹, Шишова М.Ф.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр риса», г. Краснодар, Россия

*E-mail: bogdanova.ekaterina15@gmail.com

Отличительная особенность риса заключается в способности прорасти в условиях недостатка (гипоксия) или полного отсутствия кислорода (аноксия). На этапе прорастания первым развивается coleoptile – ювенильный орган, выполняющий у злаков защиту настоящего листа. Растения риса используют две стратегии адаптации к дефициту кислорода. Первая стратегия направлена на активное избегание кислородной недостаточности за счёт стимуляции роста (LOES – low oxygen escape syndrome), а вторая – пассивная стратегия покоя, торможения роста (LOQS – low oxygen quiescence syndrome). Цель данной работы состояла в оценке скорости роста и жизнеспособности coleoptiles в условиях затопления сортов и сортообразцов риса из коллекции ФНЦ риса, г. Краснодар. Суммарно было протестировано 36 сортов. К быстрорастущим сортам были отнесены сорта Спринт и Кубань 3. В группу медленнорастущих вошли три сорта филиппинской селекции, несущие аллель SUB1A (NHZ11 Y6-Y2-SUB1, NHZ8 SAL 14 SUB1, NHZ9 DT12 SUB1), китайский сорт Xiannui и отечественные сорта Аметист, Жемчуг, Наташа, Рапан и Южная ночь. Анализ роста coleoptiles в условиях гипоксии показал, что изменения роста соответствовали нескольким паттернам. У первой группы подавлялся рост, но с сохранением небольшой части растений, продолжавших рост. В эту группу вошли все филиппинские сорта-носители аллели SUB1A. Вторую группу составляли растения, длина которых под действием гипоксии превышала нормоксию. Половина растений третьей группы замедляла рост, а другая часть продолжала расти как при нормоксии. В четвертую группу вошел сорт Спринт. У него наблюдались черты стратеги избегания (LOES). У сорта Южная ночь coleoptiles росли медленно как в контроле, так и при затоплении. С помощью тетразолиевого теста показано, что в условиях гипоксии у всех протестированных форм жизнеспособность значительно снижалась. Скорость роста коррелировала с интенсивностью метаболизма и устойчивостью к затоплению.

Работа поддержана грантом РФФИ №22-14-00096.

Ключевые слова: рис, затопление, гипоксия, coleoptile, рост, устойчивость

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GROWTH OF COLEOPTILE RICE VARIETIES FROM THE COLLECTION OF THE FEDERAL RICE SCIENTIFIC CENTER DURING FLOODING

Bogdanova E.M.^{1*}, Bertova A.D.¹, Biktasheva M.O.¹, Kirpichnikova A.A.¹, Kondratieva A.V.¹, Shapiro A.S.¹, Puzanskiy R.K.², Mukhina Z.M.³, Yemelyanov V.V.¹, Shishova M.F.¹

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State University”, St. Petersburg, Russia

² Federal State Budgetary Institution of Science “V.L. Komarov Botanical Institute” RAS, St. Petersburg, Russia

³ Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Rice”, Krasnodar, Russia

*E-mail: bogdanova.ekaterina15@gmail.com

Keywords: rice, submergence, hypoxia, coleoptile, growth, tolerance

КРИТЕРИИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ СРЕДНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА

Богданова Е.С.¹, Нестеров В.Н.^{1*}, Бакунов А.Л.², Рубцов С.Л.²,
Ломакина Е.Е.¹, Саблина Н.А.¹, Розенцвет О.А.¹

¹ Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

² Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова, Безенчук, Россия

*E-mail: nesvik1@mail.ru

При продолжающемся изменении климата картофель все чаще выращивают в местах, подверженных засухе. Неглубокая корневая система картофеля делает эту культуру чувствительной к засушливым условиям. Засуха характеризуется длительным или кратковременным бездождевым периодом, повышенной температурой воздуха, увеличением дефицита влаги в воздухе. В результате происходит обезвоживание и перегрев растений, снижение продуктивности, а иногда и гибель растения. Применительно к растениям картофеля при прогнозируемом дефиците осадков ожидается снижение урожайности на 26–32%. Засуха 2010 г привела к уменьшению производства картофеля примерно на 30% в Центральном и Приволжском фед. округах России, в которых производится более 60% урожая картофеля. Засуха сильно тормозит ключевые физиологические и биохимические процессы, что приводит к снижению продуктивности растений и потере урожая. Степень снижения урожайности считается основным критерием устойчивости картофеля. Засухоустойчивость – способность генотипов стабильно сохранять обменные процессы в растениях при неблагоприятных условиях развития (водный, температурный стрессы). Настоящая работа является продолжением исследований по выявлению критериев засухоустойчивости растений картофеля. Цель исследования – выявить критерии засухоустойчивости растений картофеля и установить взаимосвязь с урожайностью в условиях недостаточного увлажнения и повышенного температурного режима. В процессе изучения 24 сорта были разделены на две группы ($F=41$, $p=0,03$) по числу и размерам устьиц листа, характеризующих ксероморфность растений. Были установлены различия двух групп растений не только по числу и размерам устьиц, но и по параметрам мезоструктуры листьев, клеточных мембран и показателям водного обмена. Показано, что выраженная ксероморфная структура листьев способствовала устойчивости к засухе и поддерживала урожайность картофеля на более высоком уровне (в 1,6 раз) при дефиците влаги и повышенных температурах воздуха.

Грант РФФИ № 23-26-10020.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., изменение климата, ксероморфизм, водный обмен, ультра- и мезоструктура листа

CRITERIA FOR DROUGHT RESISTANCE OF POTATO VARIETIES FOR THE CONDITIONS OF THE MIDDLE VOLGA REGION

Bogdanova E.S.¹, Nesterov V.N.^{1*}, Bakunov A.L.², Rubtsov S.L.², Lomakina E.E.¹,
Sablina N.A.¹, Rozentsvet O.A.¹

¹ Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of the VolgaBasin RAS, Togliatti, Russia

² Samara Federal Research Scientific Center RAS, Samara Scientific Research Agriculture Institute Named after N.M. Tulajkov, Bezenchuk, Russia

*E-mail: nesvik1@mail.ru

Keywords: *Solanum tuberosum* L., climate change, xeromorphism, water exchange, ultra- and mesostructure of the leaf

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОТЕКТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛАТОНИНА НА РОСТ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДЫ

Бойко Е.В.^{*}, Головацкая И.Ф., Кадырбаев М.К.

Томский государственный Университет, Томск, Россия

*E-mail: caterinasoloveva@gmail.com

Засуха является одной из основных причин снижения урожайности и ухудшения качества продукции сельскохозяйственных культур. В наших исследованиях и исследованиях других авторов было показано, что спектральный состав света и фитогормоны способствуют повышению продуктивности и устойчивости растений к абиотическим факторам среды. Особый интерес представляет фитомелатонин, известны антиоксидантные свойства мелатонина и зависимость его содержания от селективного состава света. В связи с этим целью работы было оценить протекторный эффект мелатонина на морфофизиологические параметры растений огурца на свету разного спектрального состава в условиях дефицита воды. Объектом исследования были выбраны 18-дневные растения *Cucumis sativus* L. сорта Изящный. Имитацию засухи осуществляли в течение 3-х суток добавлением в питательную среду 8% полиэтиленгликоля (ПЭГ-6000). Источниками света были светодиоды, излучающие световой поток с разным соотношением синего, зелёного и красного спектров – 2 : 3 : 1 (2СС) и 1 : 3 : 2 (2КС).

Выращивание растений огурца в условия засухи уменьшало растяжение стебля на 32 % под 2СС и корня на 38% под 2КС. Обработка корней мелатонином на фоне засухи уменьшало длину корня, но увеличивало длину стебля у растений, выращенных на 2СС. Мелатонин оказывал стимулирующее действие на рост корня при 2КС, снимая негативный эффект сильной засухи.

Засуха тормозила рост поверхности листьев как первого, так и второго ярусов. Наибольшее уменьшение параметров отмечено под 2СС. Внесение 1 мкМ мелатонина частично снимало негативный эффект сильной засухи. В то же время воздействие засухи снижало содержание всех групп пигментов под 2КС. Мелатонин в условиях засухи увеличивал уровень пигментов при 2СС и восстанавливал до уровня контрольного варианта у 2КС.

Таким образом отмечен положительный эффект мелатонина на ростовые и физиологические параметры растений огурца при действии 3-дневной корневой засухи.

Ключевые слова: *Cucumis sativus*, мелатонин, спектральный свет, засуха

DEPENDENCE OF THE PROTECTIVE EFFECT OF MELATONIN ON THE GROWTH OF CUCUMBER PLANTS ON THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT UNDER WATER DEFICIENCY

Boyko E.V.^{*}, Golovatskaya I.F., Kadyrbaev M.K.

Tomsk State University, Tomsk, Russia

*E-mail: caterinasoloveva@gmail.com

Keywords: *Cucumis sativus*, melatonin, spectral light, drought

БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БИОЧАРА И ТОЛЕРАНТНЫХ К МЕДИ PGPR *BACILLUS AEROPHILUS* TR15c СПОСОБСТВУЕТ БИОФОРТИФИКАЦИИ РАПСА

Борисова Г.Г.* , Малева М.Г., Кумар А., Ахамуэфуле К.Ч., Трипти

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

*E-mail: G.G.Borisova@urfu.ru

Изучение ассоциативных связей между растениями и ростстимулирующими ризобактериями (PGPR) приобретает все большую актуальность. Однако возможности их использования для биофортификации растительного сырья изучены недостаточно. Цель исследования – оценить влияние биоудобрения (BF) на основе Cu-толерантных PGPR и древесного биочара на накопление меди и физиолого-биохимические характеристики рапса (*Brassica napus* L.). Для создания BF была использована жидкая культура (10^8 КОЕ/мл) PGPR, ранее выделенных из ризосферы *Trifolium repens* L. В окрестностях медеплавильного комбината (г. Карабаш, Челябинская область). Изолят, проявляющий высокую PGP-активность (солюбилизация фосфатов, продукция ИУК, сидерофоров и пр.), был ранее идентифицирован на основе морфологии и секвенирования 16S рРНК как *Bacillus aerophilus* TR15c (регистрационный номер NCBI MW682306). Эксперимент, проведенный в горшечных культурах, включал три варианта: контрольный субстрат, субстрат с добавлением 5% биочара и субстрат с добавлением 5% BF (по объему). Семена рапса высаживали в пластиковые горшки объемом 0,3 л (по 15 семян в каждый, в 5-кратной повторности). Время вегетации составляло 36 суток в фитокамере: фотопериод – 14:10 (день:ночь), освещенность – 150 ± 20 мкМ/м² с, температура – $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Отдельное внесение биочара существенно не влияло на содержание Cu в побегах рапса, однако увеличивало ее накопление в корнях на 20%. При добавлении BF содержание Cu как в побегах, так и корнях возрастало по сравнению с другими вариантами в 1,2 и 1,6 раза, соответственно. Внесение биочара и BF не оказывало существенного влияния на сырую биомассу побегов, тогда как масса корней в присутствии BF увеличивалась в 2 раза. Применение BF незначительно повышало длину корня и не влияло на длину побега и площадь листовой пластинки. При этом общее содержание хлорофиллов увеличивалось в 1,6 раза, в то время как скорость поглощения CO₂ возрастала лишь на 11% по сравнению с контролем. Внесение биочара не оказывало достоверного влияния на содержание каротиноидов и фенольных соединений, однако повышало количество пролина на 24%. При добавлении BF содержание каротиноидов, фенольных соединений и пролина возрастало на 20, 30 и 70%, соответственно. Таким образом, применение BF на основе Cu-толерантных PGPR *B. aerophilus* TR15c и биочара не только улучшало фотосинтетические параметры рапса, но также способствовало биофортификации растений низкомолекулярными антиоксидантами и медью.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292>.

Ключевые слова: *Brassica napus*, ростстимулирующая способность, фотосинтетические пигменты, низкомолекулярные антиоксиданты, биообогащение

BIOFERTILIZER BASED ON BIOCHAR AND COPPER TOLERANT PGPR *BACILLUS AEROPHILUS* TR15c PROMOTES RAPESEED BIOFORTIFICATION

Borisova G.G., Maleva M.G., Kumar A., Ahameufule C.C., Tripti

Ural Federal University, named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Brassica napus*, growth promoting ability, photosynthetic pigments, low molecular weight antioxidants, biofortification

**КАЛЛУСООБРАЗОВАНИЕ КАК ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК
НЕДОСТАТКА ЭКЗОГЕННОГО АУКСИНА
В СТИМУЛЯТОРЕ КОРНЕОБРАЗОВАНИЯ
ПРИ УКОРЕНЕНИИ ЧЕРЕНКОВ ХВОЙНЫХ КУЛЬТУР *IN VIVO***

Боровков В.В., Демченко Г.А.

Питомник декоративных растений «Вашутино», г. Химки, Россия

*E-mail: yadim_borovkov@mail.ru

Характеристиками эффективности укоренения хвойных культур являются процент приживаемости, количество образовавшихся корней, их средняя длина или общая протяженность. Каллусобразование часто сопровождает процесс укоренения, но данные исследователей об его взаимосвязи с эффективностью укоренения противоречива. В большинстве исследований этому явлению вообще не уделяется внимание. В условиях пленочных черенковниц оборудованных подогревом субстрата были проведены исследования по взаимосвязи процессов каллусообразования и укоренения полуодревесневших и зеленых черенков хвойных культур *Juniperus scopulorum* «Skyrocket», *Juniperus scopulorum* «Blue Arrow», *Thuja occidentalis* «Smaragd», *Thuja occidentalis* «Brabant», *Juniperus sabina* L. Для стимулирования укоренения использовались водные растворы индолил-3-масляной кислоты (ИМК) и ростовые пудры Хризатоп, Ризапон1%, Корневин с разной концентрацией действующего вещества – ИМК. В контрольных вариантах без стимулятора наблюдали интенсивное образование каллуса. С увеличением концентрации ИМК в стимуляторах каллусообразование значительно снижалось, а процент укоренения черенков возрастал.

Четкий обратный характер поведения процессов каллусообразования и укоренения, полученный в опытах, обусловлен предварительным подбором диапазона эффективных концентраций стимуляторов для конкретных условий укоренения исследуемых культур. Уменьшение каллусогенеза и увеличение приживаемости черенков с увеличением концентрации ИМК в стимуляторе показывают аналогию физиологических процессов образование корней *in vivo* и *in vitro*, когда сдвиг гормонального цитокинин-ауксинового фона среды в сторону ауксина «переключает» каллусообразование на ризогенез. С практической точки зрения, полученные данные показывают, что значительное каллусообразование может служить признаком недостатка экзогенного ауксина в стимуляторе для запуска процесса укоренения и его увеличение при прочих равных условий в пределах эффективного диапазона является одним из способов повышения процента приживаемости черенков хвойных культур.

Ключевые слова: каллус, ауксин, укоренение, хвойные, стимулятор.

**CALLUS FORMATION AS A PHYSIOLOGICAL SIGN OF THE LACK
OF EXOGENOUS AUXIN IN THE ROOT FORMATION STIMULANT
DURING ROOTING OF CUTTINGS OF CONIFEROUS CROPS *IN VIVO***

Borovkov V.V., Demchenko G.A.

Nursery of ornamental plants "Vashutino", Khimki, Russia

Keywords: callus, auxin, rooting, conifers, stimulant.

НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ ТРИТИКАЛЕ ПРИ КИСЛОТНОМ И ЩЕЛОЧНОМ СТРЕССЕ

Боталова К.И. *, Пестренин В.В.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

*E-mail: botalova.ksyu@list.ru

При воздействии на растения разных неблагоприятных факторов среды отмечают активизацию антиоксидантной защиты растений. Окислительный стресс растений, связанный с изменением реакции корневой среды остается не достаточно изученным. Цель исследований – в условиях кислотного и щелочного стресса определить изменение содержания супероксид анион-радикала, пролина, флавоноидов, каротиноидов в листьях тритикале. *Материалы и методы.* Объектом исследований является тритикале *Triticosecale* Wittm. & A.Camus. Растения выращивали на вермикулите. Кислую корневую среду (pH=3) создавали глицин HCl буфером, щелочную среду раствора (pH=10) – глицин NaOH буфером. Отбор растительных проб провели через 1, 4, 24 часа после стресс-воздействия. Биологическая и аналитическая повторность определения физиолого-биохимических показателей – трехкратная. Значимость различий между вариантами оценили дисперсионным непараметрическим методом (критерий Крускал-Уоллиса); значимыми считали различия между средними величинами с доверительной вероятностью 95% и выше ($P < 0,05$).

В листьях тритикале повышенное содержание супероксид анион-радикала в отдельные периоды наблюдений отмечали только при кислотном стрессе. Проллин аккумулировался в листьях пшеницы в первые часы после подкисления корневой среды; через 24 ч после стресс-воздействия накопление пролина отмечено в условиях щелочного и кислотного стресса. При изменении pH корневой среды в тритикале наблюдали существенное снижение содержания флавоноидов по сравнению с растениями в контрольном варианте опыта, по-видимому, эти соединения не участвуют в антиоксидантной защите растений. О возможном участии каротиноидов в адаптации растений к кислотному воздействию свидетельствуют их накопление в некоторые периоды наблюдений. В варианте с кислой реакцией корневой среды установлено понижение длины и массы тритикале по сравнению с растениями в щелочном и контрольном варианте опыта. Следовательно, показатели антиоксидантной защиты растений (супероксид анион-радикал, пролин, каротиноиды), а также общее угнетение растений указывают на развитие окислительного стресса тритикале после подкисления корневой среды.

Ключевые слова: *Triticosecale* Wittm. & A.Camus, кислотный стресс, щелочной стресс, окислительный стресс, супероксид анион-радикал, антиоксиданты

SOME INDICATORS OF ANTIOXIDANT PROTECTION OF TRITICALE UNDER ACID AND ALKALINE STRESS

Botalova K.I., Pestrenin V.V.

Perm State University, Perm, Russia

Keywords: *Triticosecale* Wittm. & A.Camus, acid stress, alkaline stress, oxidative stress superoxide anion, antioxidants

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ МИТОХОНДРИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ К Пониженной Температуре

Бразникова А.В.^{1,2}, Балашов Н.В.¹, Найдов И.А.¹,
Борисова-Мубаракшина М.М.¹

¹ Институт фундаментальных проблем биологии РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Россия

² Биотехнологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: mubarakshinamm@gmail.com

Митохондрии высших растений в дополнение к цианид-зависимой цитохром с-оксидазе содержат альтернативную оксидазу (АОХ), функцией которой является окисление восстановленного убихинона и восстановление при этом молекулярного кислорода до воды. Предполагается, что альтернативный транспорт электронов через АОХ усиливается в условиях стресса, что предотвращает генерацию активных форм кислорода в дыхательной электрон-транспортной цепи и, следовательно, развитие окислительного стресса в митохондриях. К настоящему времени доказана роль АОХ в термогенезе у ряда растений, однако роль АОХ в защите растений при пониженной температуре до конца не изучена.

Используя растения *Arabidopsis thaliana* дикого типа и мутантные растения с гиперэкспрессией или подавлением экспрессии АОХ (antisense растения), нами была проведена оценка влияния изменений содержания АОХ митохондрий на протекание фотосинтеза при пониженной температуре (6°C). У растений дикого типа через 12 дней при пониженной температуре наблюдали снижение квантового выхода фотосистемы 2 (ФС 2), однако у мутантных растений с измененным содержанием АОХ квантовый выход ФС 2 оставался на том же уровне, что и в контрольных условиях. При пониженной температуре у всех исследованных растений увеличивалась скорость циклического транспорта электронов вокруг ФС 1. Содержание H₂O₂ в листьях мутантных растений через 12 дней при пониженной температуре практически не изменилось, в то время как в листьях растений дикого типа содержание H₂O₂ увеличилось примерно в два раза. Способность растений дикого типа диссипировать энергию в тепло снижалась при 6°C, в то время как у обеих мутантных линий этот параметр не изменялся по сравнению с контрольными условиями. При этом, содержание АОХ в растениях дикого типа и antisense растениях достоверно увеличивалось при понижении температуры.

Предположено, что изменение содержания АОХ представляет собой важный сигнал, запускающий акклимационный отклик растений при понижении температуры. По-видимому, изученные растения адаптируются к стрессовым условиям не только путем увеличения скорости циклического транспорта электронов вокруг ФС 1, но и путем увеличения содержания АОХ. Растения дикого типа дополнительно активируют альтернативный транспорт электронов к кислороду, вероятно, из-за снижения способности диссипировать энергию в тепло, в отличие от мутантных растений с измененным содержанием АОХ, которые сохраняют эту способность.

Исследование поддержано Российским Научным Фондом (проект № 23-14-00396)

Ключевые слова: митохондрии, фотосинтез, альтернативная оксидаза

EFFECT OF CHANGES IN THE CONTENT OF MITOCHONDRIAL ALTERNATIVE OXIDASE ON THE TOLERANCE OF HIGHER PLANTS TO LOW TEMPERATURE

Brazhnikova A.V.^{1,2}, Balashov N.V.¹, Naydov I.A.¹, Borisova-Mubarakshina M.M.¹

¹ Institute of Basic Biological Problems, Federal Research Center «Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences» Pushchino, Moscow Region, Russia

² Department of Biotechnology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Keywords: mitochondria, photosynthesis, alternative oxidase

ЭВОЛЮЦИЯ РЕДОКС-СИГНАЛИНГА ПРИ ОПЫЛЕНИИ: АФК В РЕЦЕПТИВНЫХ ЖИДКОСТЯХ У ГОЛОСЕМЕННЫХ И ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Брейгина М.А. *, Лунева О.Г., Клименко Е.С., Бабушкина К.О.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Москва, Россия

*E-mail: breygina@mail.bio.msu.ru

Важнейшая эволюционная тенденция, обеспечившая господство семенных растений на Земле - повышение эффективности репродукции. Для реализации этого тренда большое значение имеет взаимодействие между мужским гаметофитом и женскими тканями: чем успешнее оно будет, тем больше вероятность успешного оплодотворения. Мы изучали один из ключевых аспектов этого взаимодействия – редокс-метаболизм. Известно, что цветковые растения продуцируют АФК на рыльце, а пыльца проявляет к ним чувствительность. Однако многие вопросы до сих пор остаются без ответа. Каков сигнальный агент важнее: пероксид водорода или супероксид радикал? Каковы динамика, механизм и участники взаимопревращения АФК на рыльце? Насколько универсален этот механизм, есть ли он у голосеменных?

Мы исследовали рецептивную жидкость цветковых растений – экссудат, служащий для прорастания пыльцы на влажном рыльце, а также опылительные капли хвойных растений. Объектами служили растения из разных систематических групп, включая однодольные, двудольные, базальные покрытосеменные и хвойные растения. Для регистрации суммарных АФК и супероксид радикала применяли метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР); для измерения концентрации H_2O_2 использовали количественный спектрофотометрический метод. Наличие АФК в опылительных каплях никогда ранее не изучалось. Кроме того, для цветковых растений мы использовали методы белковой химии, чтобы определить состав и активность ферментных систем, обеспечивающих взаимопревращения и дисмутацию АФК.

Оказалось, что наличие АФК в рецептивной жидкости – консервативное свойство семенных растений, присущее не только цветковым, но и большей части хвойных. При этом у некоторых голосеменных и базальных цветковых растений пероксида водорода практически нет, а основной формой коммуникации, по-видимому, является супероксид радикал. Для дивергентных представителей двудольных растений основной формой, по-видимому, является H_2O_2 .

Исследование было выполнено за счет гранта РНФ (проект № 21-74-10054).

Ключевые слова: рыльце, репродукция растений, АФК, редокс-метаболизм, голосеменные, покрытосеменные, пероксид водорода

EVOLUTION OF REDOX SIGNALING DURING POLLINATION: ROS IN RECEPTIVE LIQUIDS IN GYMNOSPERMS AND FLOWERING PLANTS

Breygina M.A. *, Luneva O.G., Klimenko E.S., Babushkina K.O.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia

*E-mail: breygina@mail.bio.msu.ru

Keywords: stigma, plant reproduction, ROS, redox metabolism, gymnosperms, angiosperms, hydrogen peroxide

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ВЕРЕСКОВЫЕ

Брилкина А.А.* , Рыбин Д.А., Исмаилова А.А., Сёмин А.А., Березина Е.В.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

*E-mail: annbril@mail.ru

Представители семейства Вересковые богаты фенольными соединениями, обладающими разнообразной биологической активностью. Данные растения в природе характеризуются медленным приростом биомассы, осложняющим их использование для производства БАВ. Весьма перспективным представляется использование суспензионных культур, обеспечивающих круглогодичный доступ к растительному сырью. В связи с этим в данной работе проводили получение культур суспензионных клеток растений семейства Вересковые, выявление наиболее перспективного вида растения и экспланта.

Суспензионные клетки инициировали из каллусов различного происхождения. В качестве первичных эксплантов использовали ягоды и листья растений открытого грунта и культивируемых *in vitro*: голубики щитковой, клюквы болотной и крупноплодной, брусники обыкновенной и черники обыкновенной. Были использованы питательные среды WPM и Андерсона с добавлением 2,4-Д и БАП в равном соотношении от 0,1 до 1,5 мг/л. Инициацию каллусов проводили на агаризованных питательных средах в темноте в течение 2 месяцев, далее после одного пассажа (30 дней) из них инициировали суспензионные культуры в жидкой питательной среде того же состава.

Интенсивность каллусообразования была относительно одинаковой и наибольшей для листьев и ягод голубики щитковой (на среде WPM) и брусники (на средах WPM и Андерсона) – 90-100%. При этом достаточно было использовать наименьшие концентрации фитогормонов – по 0,1 мг/л 2,4-Д и БАП. Для эксплантов клюквы каллусообразование на среде Андерсона шло гораздо хуже – 27-65%. Из черники каллусы получить не удалось. В большинстве случаев наибольшую массу, оводненность и содержание фенолов каллусы приобретали на средах с наименьшим содержанием фитогормонов. Такие каллусы были наиболее эффективны для инициации суспензий. Хорошо образующиеся суспензии клеток с быстрым ростом и наименьшим количеством агрегатов были получены для голубики щитковой, клюквы крупноплодной и брусники обыкновенной.

Работа поддержана грантом РФФ 23-24-00403.

Ключевые слова: Вересковые, суспензионные клетки, фенольные соединения

OBTAINING PROMISING LINES OF SUSPENSION CELLS OF THE FAMILY ERICACEAE

Brilkina A.A., Rybin D.A., Ismailova A.A., Syomin A.A., Berezina E.V.

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: Ericaceae, suspension cells, phenolic compounds

РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ МИКРОРНК ПШЕНИЦЫ БАКТЕРИЯМИ РОДА *BACILLUS* ПРИ ИНДУКЦИИ УСТОЙЧИВОСТИ К ПАТОГЕННОМУ ГРИБУ *STAGONOSPORA NODORUM*

Бурханова Г.Ф.*, **Веселова С.В.**, **Сорокань А.В.**, **Шейн М.Ю.**, **Феденева А.**, **Максимов И.В.**

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

*E-mail: guzel_mur@mail.ru

В настоящее время микроРНК считаются важными регуляторами перепрограммирования экспрессии генов в иммунных реакциях растений. Нашей целью было исследовать влияние бактерий рода *Bacillus* на экспрессию микроРНК, участвующих во взаимодействии растений пшеницы и патогена *S. nodorum*. Для достижения этой цели мы изучили экспрессию девяти консервативных микроРНК в восприимчивых растениях пшеницы, предобработанных штаммами эндофитных бактерий, которые ранее показали ростстимулирующий эффект и способствовали устойчивости растений. Результаты были сопоставлены с симптомами заболевания, образованием перекиси водорода, активностью оксидоредуктаз и экспрессией генов защитных PR-белков. Эндофитные штаммы участвовали в развитии защитных реакций растений пшеницы против *S. nodorum*, вызывая окислительный взрыв, при котором содержание перекиси водорода увеличивается из-за повышения активности пероксидазы и снижения активности каталазы. Девять микроРНК сыграли определенную роль в развитии устойчивости пшеницы к *S. nodorum* посредством регуляции гормональных сигнальных путей и окислительно-восстановительного метаболизма растений. Бактерии подавляли экспрессию микроРНК miR393, miR164 и miR396, участвующих в развитии PTI, а также ингибировал экспрессию микроРНК miR159, miR160 и miR166, участвующих в развитии ETI. Получена новая информация о роли эндофитов в регуляции экспрессии микроРНК при развитии защитного ответа растений пшеницы, инфицированных *S. nodorum*.

Ключевые слова: микроРНК, эндофитные бактерии, СИУ, *Stagonospora nodorum*

REGULATION OF WHEAT MICRORNA EXPRESSION BY BACTERIA OF THE GENUS *BACILLUS* DURING INDUCTION OF RESISTANCE TO THE PATHOGENIC FUNGUS *STAGONOSPORA NODORUM*

Burkhanova G.F., **Veselova S.V.**, **Sorokan A.V.**, **Shein M.U.**, **Fedeneva A.**, **Maksimov I.V.**

Institute of Biochemistry and Genetics - Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: microRNA, endophytic bacteria, PTI, ETI, *Stagonospora nodorum*

ВЛИЯНИЕ ЛИПОПОЛИСАХАРИДОВ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА РОСТ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

Бурыгин Г.Л.^{1,2,3*}, Иванова М.Ф.¹, Костина Е.Е.¹, Астанкова А.С.²,
Криворучко А.Е.², Федоненко Ю.П.^{2,3}, Ткаченко О.В.¹

¹ ФГБОУ ВО Вавиловский университет, Саратов, Россия

² Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия;

³ Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный
центр РАН», Саратов, Россия

*E-mail: burygingl@gmail.com

Ризосферные бактерии способны положительно влиять на рост и развитие растений, в том числе имеющих сельскохозяйственное значение. Липополисахариды (ЛПС) как основные компоненты поверхности клеток грамотрицательных бактерий непосредственно участвуют во взаимодействии растений и микроорганизмов. При этом имеются сообщения как о положительном, так и об отрицательном влиянии ЛПС на растения. В данной работе мы исследовали десять препаратов ЛПС, выделенных из ризосферных бактерий различных таксономических групп, на рост микрорастений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Кондор в условиях *in vitro*.

Растворы ЛПС автоклавировали и вносили в жидкую среду культивирования к 10-ти суточным микрорастениям в концентрации 10 мкг/мл. После 20-ти дней инкубирования проводили измерения морфометрических показателей: длина, побега, количество узлов, количество корней, общая длина корней, сырая и сухая массы побегов и корней. Достоверность различий между вариантами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Анализ результатов показал, что три препарата ЛПС не оказывали влияния ни на один из измеряемых параметров микрорастений, в то время как семь препаратов оказывали стимулирующее действие. Наибольшее увеличение длины и сухой массы корней наблюдалось в присутствии ЛПС штаммов *Enterobacter cloacae* K7 и *Ochrobactrum* sp. T1Kr02. В то время как длина и сухая масса побега наиболее сильно увеличивалась при действии ЛПС штаммов *Azospirillum thioophilum* BV-S и *Azospirillum brasilense* SR80.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 22-26-00293.

Ключевые слова: ризосферные бактерии, липополисахарид, картофель, микрорастения, культура *in vitro*

INFLUENCE OF LIPOPOLYSACCHARIDES OF RHIZOBACTERIA ON THE GROWTH OF POTATO MICROPLANTS UNDER *IN VITRO* CONDITIONS

Burygin G.L.^{1,2,3*}, Ivanova M.F.¹, Kostina E.E.¹, Astankova A.S.²,
Krivoruchko A.A.², Fedonenko Yu.P.^{2,3}, Tkachenko O.V.¹

¹ Vavilov University, Saratov, Russia

² Saratov State University, Saratov, Russia

³ Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of
the Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia

Keywords: rhizobacteria, lipopolysaccharide, potato, microplants, *in vitro* culture

МЕЛАТОНИН УЧАСТВУЕТ В РЕГУЛЯЦИИ ЭКСПРЕССИИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОВ И АКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ ПРИ ФОТООКСИЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ

Буцанец П.А.* , Бычков И.А., Кудрякова Н.В., Шугаев А.Г.

ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: p.corbeau@list.ru

Для изучения роли предполагаемого рецептора мелатонина *CAND2* и связанной с ним α -субъединицы гетеротримерного G-белка *GPA1* в экспрессии митохондриального генома сравнивали накопление транскриптов генов у растений *A. thaliana* дикого типа и мутантов. В условиях фотоокислительного стресса ($600 \mu\text{E}^{-2} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), усиливающий генерацию АФК, экзогенный мелатонин (50 мкМ) способствовал поддержанию экспрессии митохондриальных генов (*NAD3*, *NAD6*, *COB*, *COX1*, *RRN26*, *MTTB*) и активации экспрессии генов РНК-полимераз *RPO7m* и *RPO7mp*, действуя через рецептор *CAND2* и *GPA1*. Эта реакция отсутствовала у мутантов *cand2* и *gpa1* по генам рецепции и элементам пути передачи мелатонинового сигнала. В условиях нормального освещения не было обнаружено заметного влияния мелатонина на интенсивность дыхания листьев и активность альтернативной оксидазы митохондрий (АО). Показано, что сильный свет в несколько раз увеличивал скорость дыхания листьев, максимальную активность альтернативного пути дыхания и экспрессию гена *AOX1a*. У обработанных мелатонином растений дикого типа, в условиях стресса наблюдалось снижение скорости альтернативного дыхания, активности АО и экспрессии гена *AOX1a*. Кроме того, протекторное действие экзогенного мелатонина на ряд показателей редокс-метаболизма было связано с прямой функцией регулятора, как антиоксиданта. В частности, у обработанных мелатонином мутантов с дефектными генами *CAND2* и *GPA1*, как и у растений дикого типа, в условиях стресса наблюдалось снижение содержания МДА и уровня перекиси в листьях. Таким образом, мелатонин в условиях фотоокислительного стресса может регулировать дыхание через компоненты восприятия сигнала гормона, оказывая влияние на экспрессию ядерных и органельных генов, кодирующих белки ЭТЦ митохондрий и прямое антиоксидантное действие на процессы редокс-метаболизма клетки. Полученные результаты можно рассматривать как подтверждение функционирования *CAND2* в качестве рецептора мелатонина.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-14-00011

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, митохондрии, мелатонин, экспрессия генов, дыхание, альтернативная оксидаза

MELATONIN IS INVOLVED IN THE REGULATION OF MITOCHONDRIAL GENE EXPRESSION AND ALTERNATIVE OXIDASE ACTIVITY IN PHOTOOXIDATIVE STRESS

Butsanets P.A., Bychkov I.A., Kudryakova N.V., Shugaev A.G.

K.A. Timiriazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russian Federation

Keywords: *A. thaliana*, mitochondria, melatonin, gene expression, respiration, alternative oxidase

МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ МЕЛАТОНИНОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У РАСТЕНИЙ

Бычков И.А.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

E-mail: Ivan.a.b@mail.ru

Мелатонин известен в растениях как мощный антиоксидант, выполняющий защитные функции в хлоропластах, митохондриях и цитоплазме клетки. Однако в последнее время появляется все больше информации о регуляторных функциях мелатонина. Хотя известно о потенциальном рецепторе мелатонина PMTR1/CAND2, обнаруженном у растений разных видов, механизмы действия мелатонина изучены недостаточно. В настоящее время идет активная дискуссия о возможности отнесения мелатонина к фитогормонам. Большое количество исследований показывают связь мелатонина со всеми основными гормонами растений. И прямая защитная, и регуляторная функции мелатонина проявляются в основном в условиях стресса. В наших исследованиях в условиях фотоокислительного стресса на растениях *Arabidopsis thaliana* было выявлено, что экзогенный мелатонин способен регулировать фотосинтетические функции и оказывать влияние на процесс дыхания. При этом мелатонин изменял экспрессию пластидных, митохондриальных и ядерных генов. Регуляция экспрессии генов органелл мелатонином могла реализоваться через его воздействие на аппарат транскрипции пластид и митохондрий. При использовании мутантов с инактивированной системой рецепции и сигналинга мелатонина (*cand2*, *gpa1*) регуляторные эффекты были выражены в меньшей степени. Помимо этого, мы показали, что в условиях стресса мелатонин способен регулировать активность генов метаболизма и сигналинга цитокининов и АБК. При этом дефицит мелатонина изменял амплитуду ответа на стресс ряда гормональных генов, включая большинство исследованных нами АБК-зависимых генов и генов регуляторов ответа на цитокинин типа А, а при нарушении сигналинга мелатонина изменялся ответ на стресс гена синтеза цитокининов *IPT3* и транс-фактора *ABI4*. Цитокинин и АБК, в свою очередь, изменяли экспрессию генов синтеза и сигналинга мелатонина. Важную роль в этом может играть ключевой фермент синтеза мелатонина ASMT. В регуляции гена данного фермента абсцизовой кислотой, вероятно, участвует транскрипционный фактор *ABI4*. Работа выполнена при поддержке РНФ, грант №23-14-00011.

Ключевые слова: мелатонин, фитогормоны, фотоокислительный стресс, экспрессия генов

MECHANISMS OF REGULATION OF PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN PLANTS BY MELATONIN

Buchkov I.A.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Keywords: melatonin, phytohormones, photooxidative stress, gene expression

**ТРАНСКРИПЦИОННЫЙ ФАКТОР ABI4 РЕГУЛИРУЕТ ЭКСПРЕССИЮ
ГЕНА *ASMT*, КОДИРУЮЩЕГО ФЕРМЕНТ СИНТЕЗА МЕЛАТОНИНА
N-АЦЕТИЛСЕРОТОНИН O-МЕТИЛТРАНСФЕРАЗУ
ПРИ ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ.**

Бычков И.А., Кудрякова Н.В. *, Кузнецов В.В.

Института физиологии растений им К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: nvkudryakova@mail.ru

Представление о мелатонине как о фитогормоне, определяет необходимость изучения его участия в сети межгормональных взаимосвязей растений. Так как активность мелатонина проявляется преимущественно в условиях стресса, его взаимодействие с гормоном стресса абсцизовой кислотой (АБК) является ключевым для понимания механизмов межгормональной регуляции. Мы изучили реакцию мутантов по синтезу и сигналингу мелатонина и АБК на действие этих эффекторов при избыточном освещении ($600 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, 24 часа). У всех изученных АБК мутантов содержание мелатонина при нормальном освещении было увеличено по сравнению с исходным диким типом (ДТ), особенно у мутанта *abi5*, что сопровождалось повышением экспрессии гена синтеза мелатонина *ASMT*. Фотоокислительный стресс у всех образцов подавлял экспрессию генов *SNAT* и *COMT*. При этом у АБК мутантов, в отличие от ДТ, усиливалось накопление матриц гена *ASMT*, в том числе и при одновременном действии стресса и экзогенного мелатонина. АБК способствовала резкому снижению уровня транскриптов гена *ASMT* у ДТ и АБК мутантов, за исключением *abi4*. Одновременно у мутанта *asmt* с недостаточностью синтеза мелатонина и мутантов по сигналингу мелатонина *cand2* и *gpa1* ген *ABI4*, кодирующий *транс*-фактор цепи передачи сигнала АБК, не регулировался ни стрессом, ни мелатонином. Тот факт, что АБК подавляла экспрессию *ASMT*, и этот ингибирующий эффект был нарушен у мутанта *abi4*, позволяет предполагать, что ABI4 играет непосредственную роль в негативной регуляции экспрессии гена *ASMT*. Известно, что ABI4 связывается с рядом GC-обогащенных последовательностей ДНК, обеспечивая как положительную, так и отрицательную регуляцию генов-мишеней в ответах растений на эндогенные и экзогенные стимулы. Вопрос о том, участвует ли ABI4 напрямую в транскрипции *ASMT*, физически взаимодействуя с его промотором, или опосредованно, требует дальнейшего изучения. Тем не менее, транскрипционный фактор ABI4 может являться ключевым звеном во взаимодействиях АБК и мелатонина при стресс-протекторных реакциях. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 23-14-00011.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, мелатонин, АБК, *ASMT*, *транс*-факторы

**TRANSCRIPTION FACTOR ABI4 REGULATES THE EXPRESSION OF *ASMT*
GENE ENCODING MELATONIN SYNTHESIS ENZYME N-ACETYLSEROTONIN
O-METHYLTRANSFERASE UNDER PHOTO-OXIDATIVE STRESS.**

Bychkov I.A., Kudryakova N.V. *, Kusnetsov V.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

*E-mail: nvkudryakova@mail.ru

Keywords: *Arabidopsis thaliana*, melatonin, ABA, *ASMT*, *trans*-factors

ВЛИЯНИЕ ГАЛЛООБРАЗОВАНИЯ ВЫЗВАННОГО КЛЕЩАМИ НА ФОТОСИНТЕЗ ЛИСТЬЕВ ЧЕРЕМУХИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Валиева А.К.^{1*}, Кузьмин И.В.¹, Иванов Л.А.^{1,2}, Иванова Л.А.^{1,2}

¹ Тюменский Государственный университет, Тюмень, Россия

² Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: a.k.valieva@utmn.ru

Индукцированные клещами листовые галлы (аномальные разрастания тканей листа) часто встречаются на листьях древесных растений Западной Сибири, однако их влияние на фотосинтетическую функцию изучено мало. Целью данного исследования было изучить показатели газообмена у здоровых и зараженных галловыми клещами листьев черемухи обыкновенной. Исследования проводили в окрестностях г. Тюмени в пойменных зарослях черемухи, в июле-августе 2022 года. Район исследований относится к зоне западносибирской подтайги. Измеряли интенсивность фотосинтеза, транспирации, параметры флуоресценции листьев, содержание фотосинтетических пигментов. Результаты исследований показали, что заражение галловыми клещами снижало максимальную интенсивность фотосинтеза, скорость транспирации, устьичную и общую проводимость листа для углекислого газа, но не вызывало изменений в содержании фотосинтетических пигментов. Анализ световой зависимости фотосинтеза показал, что при низких интенсивностях света скорость поглощения CO₂ у зараженных и здоровых листьев не различалась, а также не различался уровень темнового дыхания. Зараженные листья не отличались от здоровых по параметрам флуоресценции (уровень флуоресценции на свету, квантовый выход фотосистемы II) и кинетике фотосинтеза (квантовый выход фотосинтеза, световой компенсационный пункт). Сделано заключение, что заражение листьев черемухи галловыми клещами не влияло на первичные процессы фотосинтеза, а снижение фотосинтетической способности было связано с ограничением диффузии CO₂ в результате снижения устьичной и общей проводимости листа.

Ключевые слова: фотосинтез, физиологические параметры листьев, галловые клещи, черемуха обыкновенная

IMPACT OF MITE-INDUCED GALLFORMING ON THE LEAF PHOTOSYNTHESIS OF *PRUNUS PADUS*

Valieva A.K.¹, Kuzmin I.V.¹, Ivanov L.A.^{1,2}, Ivanova L.A.^{1,2}

¹ Tyumen state university, Tyumen, Russia

² Institute Botanic Garden, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Keywords: photosynthesis, functional leaf traits, gall mites, *Prunus padus*

СТЕРИНОВЫЙ СОСТАВ ПЕЛЬТИГЕРОВЫХ ЛИШАЙНИКА *PELTIGERA CANINA* ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Валитова Ю.Н.^{1*}, Хабибрахманова В.Р.^{1,2}, Уваева В.Л.¹, Бабаев В.М.³,
Судакова С.Н.³, Рахматуллина Д.Ф.¹, Галеева Е.И.¹, Минибаева Ф.В.¹

¹ Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

² Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

³ Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*E-mail: yulavalitova@mail.ru

На сегодняшний день, стерин-опосредованные биохимические механизмы стрессовой устойчивости экстремофилов, в частности лишайников, изучены недостаточно полно. Сейчас уже очевидно, что стерины могут выполнять не только структурную, но и регуляторную функцию. В связи с этим, актуальным является исследование стеринового профиля лишайников при действии стрессовых факторов. Представляло интерес изучить стерин-опосредованные стрессовые реакции пельтигерового лишайника *P. canina*. Известно, что особенностью Пельтигеровых лишайников являются высокие темпы роста и высокие индексы метаболической активности. *P. canina* является эпигейным, двухкомпонентным лишайником, фотобионтом которого является цианобактерия *Nostoc*, а микобионтом – гриб *Peltigera* (тип *Ascomycota*). Произрастает в средней полосе. Было обнаружено, что действие неблагоприятных температур приводило к подавлению дыхательной активности и снижению индекса мембранной стабильности лишайника, что свидетельствует о его стрессовом состоянии. Анализ стеринового состава лишайника *P. canina* показал, что мажорными стеринами являются эргостерин и его производные. Обнаружено, что при температурном стрессе содержание основных стеринов не изменялось, тогда как уровень минорных стеринов заметно изменялся. Возможно, эти изменения носят регуляторный характер, с целью выстраивания необходимого стеринового баланса в лишайниках для адаптации к стрессовым условиям. Работа выполнена в рамках выполнения госзадания № 122011800137-0 ФИЦ КазНЦ РАН, а также при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-14-00362.

Ключевые слова: лишайники, экстремофилы, температурный стресс, дыхание, стерины

STEROL COMPOSITION OF PELTIGERA LICHEN *PELTIGERA CANINA* UNDER UNFAVORABLE TEMPERATURES

Valitova J.N.^{1*}, Khabibrakhmanova V.R.^{1,2}, Uvaeva V.L.¹, Babaev V.M.³,
Sudakova S.N.³, Rakhmatullina D.F.¹, Galeeva E.I.¹, Minibayeva F.V.¹

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics - a separate structural unit FRC KazSC RAS, Kazan, Russia

² Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

³ Institute of Organic and Physical Chemistry, Russian Academy of Sciences, A.E. Arbuzov – a separate structural subdivision of the FRC KazSC RAS, Kazan, Russia

Keywords: lichens, extremophiles, temperature stress, respiration, sterols

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИПИД-ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ БЕЛКОВ ВО ФЛОЭМЕ РАСТЕНИЙ ГОРОХА

Вафина Г.Х.¹, Финкина Е.И.², Зиганшин Р.Х.², Овчинникова Т.В.²,
Ахиярова Г.Р.¹, Веселов Д.С.¹, Кудоярова Г.Р.^{1*}

¹ Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

² Институт биоорганической химии РАН, Москва, Россия

*E-mail: kudoyarova1953@yandex.ru

Белки-переносчики липидов (ЛТР) принадлежат к семейству небольших широко распространенных белков, обратимо связывающие фосфолипиды и жирные кислоты в своей гидрофобной полости и преимущественно вырабатывающиеся в ответ на биотические и абиотические стрессы. Высказано предположение об участии этих белков в переносе молекул липидов внутри клетки, апопласте, межклеточном пространстве и флоэме растений. Целью нашего исследования была попытка обнаружить ЛТР первого подкласса во флоэмном экссудате проростков гороха. Проростки гороха *Pisum sativum* L. (сорт Сахарный 2) выращивали в среде Хогланда-Арнона в течение 11 суток. Сбор флоэмного экссудата проводили в темноте во влажной камере, погружая основания срезанных побегов в раствор, содержащий ЭДТА. Количество белка оценивали по методу Бредфорд. Анализ флоэмного экссудата с использованием методов иммуоблоттинга и твердофазного иммуноферментного анализа показал присутствие липид-транспортирующих белков гороха. Иммуоблоттинг проводили после SDS-электрофореза в ПААГ, используя поликлональные антитела кролика против Lc-LTP2 чечевицы, перекрестно реагирующие с липид-транспортирующими белками гороха (Ps-LTP). Жидкостную хроматомасс-спектрометрию проводили после предварительного трипсинолиза образцов очищенных с помощью SDS-электрофореза в крупнопористом ПААГ. Анализ идентифицированных с помощью данного метода белков выявил присутствие трех изоформ (Ps-LTP1, Ps-LTP2 и Ps-LTP3) во флоэмном экссудате. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о присутствии липид-транспортирующих белков во флоэмном соке проростков гороха и их важной роли в системном транспорте гидрофобных лигандов. Иммуногистохимическая локализация выявила присутствие ЛТБ1 в стенках клеток флоэмы. Грант РНФ 23-24-00187.

Ключевые слова: липид-транспортирующие белки, флоэма, *Pisum sativum* L.

IDENTIFICATION OF LIPID-TRANSPORTING PROTEINS IN THE PHLOEM OF PEA

Vafina G.H.¹, Finkina E.I.², Ziganshin R.H.², Ovchinnikova T.V.²,
Akhiyarova G.R.¹, Veselov D.S.¹, Kudoyarova G.R.^{1*}

¹ Ufa Federal Research Centre, Ufa Institute of Biology, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² Institute of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: lipid-transporting proteins, phloem, *Pisum sativum* L.

НАНОМАТЕРИАЛЫ И РАСТЕНИЯ: ОСНОВНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Венжик Ю.В.

ФГБУН Институт физиологии растений им К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

Email: jul.venzhik@gmail.com

Развитие нанотехнологий предоставляет человечеству уникальные возможности для использования в биологии и сельском хозяйстве искусственно получаемых наноматериалов. Особое место среди них занимают металлические наночастицы (НЧ). Они очень малы (менее 100 нм) и обладают особыми физико-химическими, оптическими и электрическими свойствами. Благодаря этому, НЧ проникают в клетки и транспортируются по организму. НЧ достаточно легко синтезируются, и в микродозах нетоксичны для растений, животных и людей. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что краткосрочная обработка растений растворами НЧ позитивно влияет на различные аспекты их жизнедеятельности. В наших исследованиях на пшенице впервые установлено, что нанопрайминг с использованием НЧ золота не только изменял метаболизм растений, но и увеличивал их устойчивость к низким температурам. Эти данные согласуются с исследованиями других авторов, в которых показано, что различные НЧ могут быть использованы как адаптогены, увеличивающие стрессоустойчивость растений. Тем не менее, использование наноматериалов в биологии и сельском хозяйстве является рискованным и диктует необходимость разработки стратегий, учитывающих химическую природу, стабильность, дозу НЧ и способ обработки ими растений, которые обеспечат максимальный прирост стрессоустойчивости при минимальном накоплении НЧ в тканях объекта, выбор которого тоже имеет большое значение. Разработка стратегий использования наноматериалов позволит достигнуть снижения сельскохозяйственных рисков, и ориентирована на развитие устойчивого сельского хозяйства. Важной остается задача обеспечения минимального вреда природе и человеку, что позволяет ученым говорить о развитии представлений об устойчивой природной среде, необходимой для успешного существования живых организмов на планете.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 23-26-00054, <https://rscf.ru/project/23-26-00054/>

Ключевые слова: наноматериалы, физиология растений, адаптогены, стрессоустойчивость.

NANOMATERIALS AND PLANTS: MAIN EFFECTS AND PROSPECTS

Venzhik Yu.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: nanomaterials, plant physiology, adaptogens, stress tolerance.

Research supported by Russian Science Foundation Grant No. 23-26-00054, <https://rscf.ru/project/23-26-00054/>

ИСКУССТВЕННЫЕ ФИТОХЕЛАТИНЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ К СО

Вершинина З.Р.^{1,2*}, Мозговой О.С.³

¹ Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

² ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

³ Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, г. Уфа

*E-mail: zilyaver@mail.ru

Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) представляет собой серьезную экологическую проблему для многих стран мира, поскольку уменьшение площадей плодородных земель для выращивания сельскохозяйственных культур приводит к существенным экономическим издержкам, а накопление ТМ в растениях и дальнейшее их распространение по звеньям пищевой цепи впоследствии может вызывать у людей ряд опасных заболеваний.

Фиторемедиация является перспективным способом для рекультивации земель, загрязненных ТМ. Фактором, который в наибольшей степени ограничивает эффективность фиторемедиации, является низкое накопление ТМ в растениях. Способом решения данной проблемы является создание трансгенных растений, экспрессирующих искусственно синтезированные гены, продукты которых могут связывать различные ТМ.

Объектами исследования в данной работе стали 2 искусственных фитохелатина с формулами $\text{MetHis}_6[\alpha\text{-Glu(Цис)}]_6\text{Gli}$ (*pphbis*) и $\text{Met}[\alpha\text{-Glu(Цис)}]_6\text{Gli}$ (*pphb*). Ранее квантово-химические исследования показали, что пептид *pphbis* менее эффективно связывается с кадмием чем *pphb*. Однако предполагаемая аффинность молекулы к таким металлам, как Cu, Ni, Zn и Co открывала новые перспективы для его использования в фиторемедиации.

Были получены трансгенные растения табака, трансформированные генами *pphb* и *pphbis*. Анализы их устойчивости к воздействию кобальта подтвердили, что *pphbis* оказывает положительное влияние на рост растений при стрессовом воздействии этого ТМ. В дальнейшем будет исследована аккумуляция кобальта в разных частях трансгенных растений в зависимости от концентрации железа и фосфора в среде.

Ключевые слова: фиторемедиация, фитохелатины, тяжелые металлы, квантово-химические исследования, растения табака

ARTIFICIAL PHYTOCHELATINS AND RESISTANCE OF TRANSGENIC PLANTS TO Co

Vershinina Z.R.^{1,2*}, Mozgovo O.S.³

¹ Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa, Russia

² Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

³ Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa, Russia

*E-mail: zilyaver@mail.ru

Keywords: phytoremediation, phytochelatin, heavy metals, quantum-chemical study, tobacco plants

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОЛИ ФИТОГОРМОНОВ В РЕГУЛЯЦИИ ИММУНИТЕТА РАСТЕНИЙ

Веселова С.В.* , Максимов И.В.

Институт биохимии и генетики - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: veselova75@rambler.ru

Научная основа фитопатологии и представления об иммунитете растений были заложены в середине XIX и начале XX веков. В течение XX века было сформулировано много учений, теорий и понятий, таких как учение о мировых центрах происхождения культурных растений, теория ген-на-нен, вертикальная и горизонтальная устойчивость, модель Охранника и Приманки, Системная Приобретенная Устойчивость (СПУ). В 2006 году была сформулирована современная «зиг-заг» модель иммунной системы растений, которая объединила все предыдущие теории и объяснила генетически детерминированные стратегии нападения патогена и специфические и неспецифические механизмы иммунного ответа растений. История изучения роли фитогормонов в иммунитете растений и развитии СПУ берет свое начало с открытия участия салициловой кислоты в индукции устойчивости табака к вирусу табачной мозаики в 1979г. В конце XX и начале XXI веков, с одной стороны, почти для всех открытых фитогормонов были установлены рецепторы, первичные мишени, компоненты биосинтеза и передачи сигналов, что сделало возможным понимание механизмов действия многих фитогормонов в иммунных реакциях растений и привело к появлению понятия гормональных сетей. С другой стороны были открыты эффекторы патогенов и вредителей и изучены механизмы их действия, что привело к переосмыслению понимания механизмов взаимоотношений между вредным организмом и хозяином. В то же время появились понятия метабиома и прайминга, что изменило понимание функций фитогормонов во взаимоотношениях между разными царствами организмов. В последние годы механизм действия фитогормонов в иммунитете растений начали изучать в связи с эпигенетической регуляцией экспрессии генов растений, включающей модификацию гистонов, ремоделирование хроматина, метилирование ДНК и участие в этих процессах малых РНК, что откроет перед нами новые возможности для понимания функций фитогормонов в иммунитете растений.

Ключевые слова: фитогормоны, гормональные сети, иммунитет, эпигенетика, РНК-интерференция.

MODERN CONCEPTS ON THE ROLE OF PHYTOHORMONES IN THE REGULATION OF PLANT IMMUNE

Veselova S.V., Maksomov I.V.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Centre, RAS, Ufa, Russia

Keywords: phytohormones, hormonal networks, immunity, epigenetics, RNA interference.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ МЕЖДУ ПОБЕГОМ И КОРНЕМ И ПУТИ ЕГО РЕГУЛЯЦИИ

Веселов Д.С. *, Шарипова Г.В., Ахиярова Г.Р., Ахтямова З.А., Кудоярова Г.Р.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: veselov@anrb.ru

Абсцизовая кислоты (АБК) влияет на множество жизненно важных процессов в растениях. Наиболее подробно изучено влияние этого фитогормона на состояние устьиц. Нашей лаборатории принадлежит приоритет в обнаружении быстрого, в течение 10 минут накопления АБК при засолении, что приводит к столь же быстрому снижению транспирации и частичному восстановлению оводненности листа. С помощью метода иммуногистохимической локализации мы выявили повышение уровня АБК при засолении непосредственно в устьичных клетках. Следующее важное свойство АБК – это способность этого гормона повышать гидравлическую проводимость тканей. С помощью метода иммунолокализации мы выявили накопление АБК в клетках эпидермы корня при погружении растений в раствор гормона. Одновременно в мембранах этих клеток возрастал уровень PIP₂;2 аквапоринов, локализованных в плазмолемме. Таким образом, одно и то же вещество (АБК) вызывает в растении противоположные процессы: с одной стороны, закрытие устьиц и снижение транспирационных потерь воды, и, с другой, - повышение гидравлической проводимости и притока воды в побег, что позволяет растению держать устьица открытыми. Нам удалось показать, что характер действия этого гормона зависит от того, где накапливается АБК. Судя по всему, распределение АБК между побегом и корнем зависит от транспорта этого гормона. Инокуляция в ризосферу растений бактерий, стимулирующий рост растений, приводит к накоплению АБК в корнях и снижению её концентрации в побегах. Это указывает на возможную роль переносчиков АБК в этой реакции. В своей работе мы изучали АБС транспортеры, переносчик нитратов NRT1;2, переносчик АБК семейства nitrate/peptide family (NPF) transporter (переносчик нитратов и пептидов). Полученные нами результаты свидетельствует о важной роли переносчиков АБК в реакции растений на изменение условий их обитания.

Ключевые слова: Абсцизовая кислота (АБК), переносчики АБК, транспирация, гидравлическая проводимость, аквапорины, стимулирующие рост растений бактерии

SIGNIFICANCE OF THE DISTRIBUTION OF ABSCISIC ACID BETWEEN THE SHOOTS AND ROOT AND WAYS OF ITS REGULATION

Veselov D.S., Sharipova G.V., Akhiyarova G.R., Akhtyamova Z.A., Kudoyarova G.R.

Ufa Institute of Biology UFRC, Ufa, Russia

Keywords: Abscisic acid (ABA), ABA transporters, transpiration, hydraulic conductivity, aquaporins, PGPR

ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ И АКТИВНОСТЬ АЦИЛ-ЛИПИДНЫХ ДЕСАТУРАЗ МЕМБРАННЫХ ЛИПИДОВ В ТКАНЯХ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ *IN VITRO*

Ветчинникова Л.В.^{1*}, Титов А.Ф.²

¹ Институт леса ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт биологии ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

*E-mail: vetchin@krc.karelia.ru

Культура тканей *in vitro* открывает широкие перспективы для изучения различных сторон жизнедеятельности древесных растений, включая вопросы влияния на них факторов внешней среды. Цель данной работы заключалась в изучении влияния кадмия, одного из наиболее токсичных тяжелых металлов, на жирнокислотный состав (ЖК) и активность ацил-липидных десатураз мембранных липидов в тканях карельской березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) в условиях *in vitro*.

Объектом изучения служили сегменты побегов длиной до 5 мм с 1–2 листьями из коллекции клонов *in vitro* (www.ckp-rf.ru/usu/465691/). В питательную среду Мурашиге-Скуга (кроме контроля) однократно добавляли уксуснокислую соль кадмия (Cd^{+2}) в концентрациях 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} М. Липиды экстрагировали смесью хлороформ/метанол и разделяли на фракции: фосфо- (ФЛ) и гликолипиды (ГЛ). Метилловые эфиры ЖК анализировали на газожидкостном хроматографе «Хроматэк – Кристалл-5000 М.1».

Исследование показало, что внесение Cd в питательную среду заметно повлияло на ЖК состав мембранных липидов, но степень влияния зависела от их фракции и концентрации металла. С повышением концентрации Cd в ФЛ постепенно снижалась доля ненасыщенных ЖК и особенно линолевой. Уровень активности $\omega 9$ -, $\omega 6$ -, $\omega 3$ -десатураз в ФЛ заметно снижался, но только при использовании Cd в концентрации 10^{-4} М. Наиболее значительные изменения зафиксированы в ГЛ, играющих важную роль в структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата. Так, при применении Cd в концентрации 10^{-4} М в ГЛ зафиксировано существенное снижение доли диеновых (в 3 раза) и триеновых (в 4 раза) ЖК на фоне накопления моноеновых, при этом активность $\omega 6$ -десатуразы уменьшилась вдвое, а доля линоленовой ЖК – в 8 раз.

Таким образом, Cd, особенно в высоких концентрациях, оказывает значительное негативное влияние на жирнокислотный состав мембранных липидов выражающееся прежде всего в снижении уровня ненасыщенных ЖК, а также активности ацил-липидных десатураз.

Ключевые слова: карельская береза, культура тканей *in vitro*, кадмий, фосфолипиды, гликолипиды, жирные кислоты, ацил-липидные десатуразы

THE EFFECT OF CADMIUM ON THE FATTY ACID COMPOSITION AND ACTIVITY OF ACYL-LIPID DESATURASES OF MEMBRANE LIPIDS IN CURLY BIRCH TISSUES *IN VITRO*

Vetchinnikova L.V.¹, Titov A.F.²

¹ Forest Research Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: curly birch, *in vitro* growth, cadmium, phospholipids, glycolipids, fatty acids, acyl-lipid desaturases

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИТОХРОМНОГО b_6f -КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНИТРОФЕНИЛОВОГО ЭФИРА ЙОДОНИТРОТИМОЛА (DNP-INT)

Вильянен Д.В.* , Найдов И.А., Иванов Б.Н., Борисова-Мубаракшина М.М.,
Козулева М.А.

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, г. Пущино, Россия

*E-mail: vilyadar@gmail.com

2,4-динитрофениловый эфир 2-йодо-4-нитротимола (DNP-INT) – конкурентный ингибитор окисления пластогидрохинона (PQH_2) в Q_o -сайте цитохромного b_6f -комплекса. Недавно мы показали, что ингибиторная активность DNP-INT зависит от интенсивности света и поглощения протонов тилакоидами. В наших экспериментах с тилакоидами высших растений ингибиторная активность DNP-INT увеличивалась с повышением интенсивности света.

Чтобы понять, как свет влияет на ингибиторную активность DNP-INT, мы моделировали высокие и низкие скорости электронного транспорта при различных интенсивностях света. Ингибиторная активность DNP-INT коррелировала со скоростью электронного транспорта. Однако грамицидин D (GrD) снижал активность DNP-INT вне зависимости от скорости электронного транспорта. Совместное использование GrD и валиномицина (Val) приводило к повышению ингибиторной активности DNP-INT по сравнению с использованием только GrD. Ранее предполагалось, что GrD приводит к депротонированию аминокислот цит. b_6f -комплекса. Возможно, DNP-INT не может прочно связаться с Q_o -сайтом, когда Glu78, необходимый для связывания PQH_2 , ионизирован. Эффект Val и GrD может быть вызван экранированием отрицательных зарядов комплексами K^+ -Val и предотвращением электростатического отталкивания между Glu78 и DNP-INT.

Таким образом, мы предполагаем, что увеличение ингибиторной активности DNP-INT вызвано формированием долгоживущего протонированного состояния Glu78 в Q_o -сайте цит. b_6f -комплекса при высокой скорости электронного транспорта, и что этот процесс может быть одним из механизмов активации фотосинтетического контроля.

Ключевые слова: цитохромный b_6f -комплекс, динитрофениловый эфир 2-йодо-4-нитротимола (DNP-INT), пластохинон.

STUDY OF FUNCTIONING OF CYTOCHROME b_6f COMPLEX WITH USE OF DINITROPHENYL ETHER OF IODONITROTHYMOL (DNP-INT)

Vilyanen D.V.* , Naydov I.A., Ivanov B.N., Borisova-Mubaraksina M.M.,
Kozuleva M.A.

Institute of Basic Biological Problems, RAS, Pushchino, Moscow Region, Russia

*E-mail: vilyadar@gmail.com

Keywords: cytochrome b_6f -complex, 2,4-dinitrophenyl ether of 2-iodo-4-nitrothymol (DNP-INT), plastoquinone.

БИОСИНТЕЗ АРГИНИНА У ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ: РЕГУЛЯЦИЯ БЕЛКОМ PII И НЕ ТОЛЬКО

Власова В.А., Лапина Т.В., Стаинов В.Р., Залуцкая Ж.М., Ермилова Е.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: e.ermilova@spbu.ru

Рост растений, включая низшие их формы – зеленые водоросли (Chlorophyta), как правило определяется наличием питательных веществ, и зачастую лимитирующим фактором в этом случае является азот. Среди аминокислот – одним из основных источников азота – особый интерес представляет аргинин. Изучение метаболизма аргинина крайне важно, поскольку эта незаменимая для биосинтеза белков аминокислота также является предшественником в образовании полиаминов и оксида азота (II), которые, в свою очередь, играют важную роль в развитии растений и их адаптации к стрессовым условиям.

По нашим данным у представителей Chlorophyta ключевым ферментом в контроле биосинтеза аргинина является N-ацетил-L-глутаматкиназа (NAGK), которая фосфорилирует N-ацетил-L-глутамат, превращая его в N-ацетил-L-глутамилфосфат, и которая ингибируется конечным продуктом – аргинином. У изученных представителей Chlorophyta NAGK регулируется на транскрипционном и посттрансляционном уровнях. Как у цианобактерий и высших растений, активность NAGK зеленых водорослей контролируется сигнальным белком из семейства PII и этот процесс зависит от глутамин.

Проведенный анализ секвенированных геномов Chlorophyta, имеющихся в базах данных, позволил нам выявить отсутствие белка PII у нескольких представителей зеленых водорослей. Был проанализирован представитель Mamiellophyceae – пиководоросль *Ostreococcus tauri*, которая утратила в процессе эволюции белок PII. Впервые установлено, что контроль активности NAGK *O. tauri* осуществляется за счет посттрансляционной модификации по типу нитрозирования. Обсуждается потенциальный механизм координации активности ключевого фермента биосинтеза аргинина и формирования оксида азота, для которого аргинин служит субстратом. Полученные результаты позволяют пересмотреть существующую парадигму о PII-зависимой регуляции биосинтеза аргинина у Chloroplastida как единственно возможной (Работа осуществлена при финансовой поддержке гранта РФФ 21-14-00017).

Ключевые слова: Chlorophyta, аргинин, N-ацетил-L-глутаматкиназа, PII белок, нитрозирование

ARGININE BIOSYNTHESIS IN GREEN ALGAE: REGULATION BY PROTEIN PII AND BEYOND

Vlasova V.A., Lapina T.V., Statinov V.R., Zalutskaya Zh.M., Ermilova E.V.

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: Chlorophyta, arginine, N-acetyl-L-glutamate kinase, PII protein, nitrosation

ПОДХОДЫ ВЫСОКОИНФОРМАТИВНОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

Воденеев В.А.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия
E-mail: v.vodeneev@mail.ru

Фенотипирование на сегодняшний день является одним из наиболее активно развиваемых областей в современных агротехнологиях. Феномика является комплексной наукой, которая базируется на таких как биология растений, физика, математика, информационные технологии. Основным преимуществом развиваемых подходов является получение и возможность обработки большого объема данных. Это становится возможным благодаря автоматизации процедур получения и обработки олуцаемых изображений. Определение места методов фенотипирования в исследованиях в области физиологии растений требует знания возможностей и ограничений применяемых методов.

В докладе рассмотрены современные оптические методы фенотипирования растений, среди которых основное внимание уделено тем, которые позволяют оценить не только морфометрические параметры растений, но также и активность важнейших физиологических процессов. К таким подходам относится, прежде всего, регистрация флуоресценции хлорофилла в импульсно модулированном режиме, тепловизионный имиджинг, спектральный имиджинг. Приенение методов фенотипирования растений продемонстрировано в решении важных для сельского хозяйства задач. Особого внимания требует анализ связи регистрируемых фенотипических показателей с активностью физиологических процессов. Это позволит перейти от подхода по типу «черного ящика» к причинно-следственным связям и обеспечит более эффективное применение методов фенотипирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 075-15-2021-1066).

Ключевые слова: растения, фенотипирование, активность физиологических процессов, флуоресцентный имиджинг, спектральный имиджинг, агротехнологии

HIGHLY INFORMATIVE PHENOTYPING IN MODERN AGRICULTURAL TECHNOLOGIES

Vodeneev V.A.

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: plants, phenotyping, activity of physiological processes, fluorescent imaging, spectral imaging, agricultural technologies

СЕЗОННОЕ ДВИЖЕНИЕ ХЛОРОПЛАСТОВ МЕЗОФИЛЛА ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS*: 3D РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ОСНОВЕ SBF-SEM

Вознесенская Е.В.^{1*}, Иванова А.Н.¹, Котеева Н.К.¹, Тарасова М.С.^{1,2},
Борисенко Т.А.^{1,2}

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

² Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: voznensenskaya@binran.ru

Холодовая акклиматизация у вечнозеленых хвойных умеренной зоны связана с сезонными структурными изменениями клеток мезофилла. Фотопротекторные реакции включают перемещение хлоропластов из летнего положения, когда они располагаются вдоль клеточных стенок, в зимнее расположение с их агрегацией в одной части клетки. Складчатая форма клеток мезофилла у *Pinus sylvestris* обуславливает весьма специфический характер движения и зимнего положения хлоропластов. Для выявления внутриклеточного паттерна изменения положения органелл применяли 3D-реконструкцию клеточной структуры мезофилла с использованием метода на основе серийной блочной сканирующей электронной микроскопии (SBF-SEM). Важным направлением исследования была оптимизация измерений количественных параметров тканей и клеток, которые рассчитываются на единицу объема. Для выявления фактора, ответственного за сезонные изменения положения хлоропластов, изучали растения сосны обыкновенной, произрастающие в естественных условиях и выращиваемых в оранжерее.

Показано, что изменение ультраструктуры и положения хлоропластов начинаются в октябре, когда хлоропласты ориентированы под углом к клеточной стенке. Передвижение хлоропластов в складки клеток мезофилла происходит в пристенном слое цитоплазмы. Анализ 3D-реконструкций показал, что хлоропласты в складках не располагаются свободно, а организованы в конгломераты. Объемная реконструкция подтвердила увеличение количества хлоропластов в клетке, которое было показано при подсчетах на единицу площади. При исключении влияния низких температур сезонной перестройки ультраструктуры, включая изменение положения хлоропластов, не происходит. Таким образом, основным фактором инициации структурных изменений для клеток мезофилла является низкие температуры, а не фотопериод. Грант РФФ 22-24-01124.

Ключевые слова: движение хлоропластов, 3D реконструкция, *Pinus sylvestris*

SEASONAL CHLOROPLAST MOVEMENT IN MESOPHYLL OF *PINUS SYLVESTRIS*: 3D RECONSTRUCTION USING SBF-SEM

Voznesenskaya E.V.^{1*}, Ivanova A.N.¹, Koteyeva N.K.¹, Tarasova M.S.^{1,2},
Borisenko T.A.^{1,2}

¹ Komarov Botanical Institute, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*E-mail: voznensenskaya@binran.ru

Keywords: chloroplast movement, 3D reconstruction, *Pinus sylvestric*

ВЛИЯНИЕ АРИДНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДНОГО РЕЖИМА, РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ГРИНДЕЛИИ РАСТОПЫРЕННОЙ

Волошина Т.В.* , Мачкаева Е.М.

Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия

*E-mail: tat-vol.94@mail.ru

К одним из самых аридных регионов России относится Калмыкия. Растения, в том числе и лекарственные, испытывают действие целого ряда неблагоприятных факторов внешней среды, и их биоразнообразие определяется способностью адаптироваться к ним. Из лекарственных растений Гринделия растопыренная (*Grindelia squarrosa* L) практически не изучена в условиях Калмыкии и сведения о ее произрастании, функциональных особенностях представляют несомненный интерес и имеют важное значение. Исследования проводили на фазе цветения, так как именно на этой стадии онтогенеза растения синтезируют и накапливают максимальное количество биологически активных веществ. Одним из важных параметров водного режима является общая оводненность, так как от этого показателя зависят многие физиологические процессы, протекающие в растении и обеспечивающие их продуктивность. Данный показатель тесно связан и взаимообусловлен с таким процессом в растениях как транспирация. Анализ водного режима гринделии показал, что у изучаемых лекарственных растений общее содержание воды при произрастании в условиях Калмыкии не высоко. В листьях содержится 66% , в целом растении 61% воды. Установлено что интенсивность транспирации Гринделии растопыренной составляла 361 мг./г. час. В народной медицине с лечебной целью используют корни, стебли и траву (цветки, листья, стебли) растения. Поэтому для оценки продуктивности лекарственных растений при их произрастании в той или иной зоне, в разных климатических условиях важна оценка их ростовых процессов, определяющих формирование биомассы данных частей растения, то есть продукционный процесс. Изучение роста и продуктивности Гринделии на фазе цветения в условиях Калмыкии показало, что она достигала высоты в среднем 63 см., сырой вес составлял 41,9 грамм, а сухая биомасса 16,3 грамма. Исследование биологической специфики важных видов лекарственных растений флоры Калмыкии необходимо для оценки их жизненной стратегии, адаптивности, продуктивности и может служить теоретической основой для разработки и для решения вопросов по сохранению их биоразнообразия. Знание эколого-физиологических особенностей растений, обитающих на данной территории, необходимо для обоснования использования лекарственных культур и для получения полной ресурсной характеристики вида и может способствовать интродукции их в нарушенные природные экосистемы.

Ключевые слова: Гринделия растопыренная, интенсивность транспирации, рост, продуктивность

THE INFLUENCE OF ARID GROWING CONDITIONS ON SOME PARAMETERS OF THE WATER REGIME, GROWTH AND PRODUCTIVITY OF *GRINDELIA SQUARROSA* L

Voloshina T.V., Machkaeva E.M.

Kalmyk State University, Elista, Russia

Keywords: *Grindelia* splayed, transpiration intensity, growth, productivity

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ, СПОСОБНЫХ КАТАБОЛИЗИРОВАТЬ АБСЦИЗОВУЮ КИСЛОТУ, НА РОСТ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗНОЙ ПЛОТНОСТИ ИХ ПОСАДКИ

**Высоцкая Л.Б.* , Мартыненко Е.В., Рябова А.С., Гаффарова Э.Р.,
Кузьмина Л.Ю., Четвериков С.П., Кудоярова Г.Р.**

Уфимский Институт биологии Российской академии наук, пр. Октября 69, 450054, Уфа, Россия

*E-mail: yysotskaya@anrb.ru

Одним из факторов, определяющих урожайность с/х растений, является оптимальная плотность посева. Попытки получить прирост урожая за счет ее увеличения не увенчались желаемым успехом. Оказалось, что проростки еще в отсутствие реальной конкуренции за ресурсы получают световой сигнал о предстоящей конкуренции с соседними растениями и реагируют приводящими к потере урожая изменениями роста и развития, которые реализуются через изменения гормонального баланса. Было показано, что подавление синтеза АБК в растении вследствие обработки химическим препаратом флуридоном в краткосрочной перспективе позволяло избежать подавления ростовых показателей конкурирующих растений, но при длительном применении могло нести негативный эффект. В этой связи перспективными являются препараты, содержащие катаболизирующие АБК рострегулирующие бактерии. В коллекции микроорганизмов УИБ УФИЦ РАН был выявлен способный разрушать АБК штамм *Pseudomonas plecoglossicida* 2.4-D. Инокуляция этим штаммом прикорневой зоны растений салата, растущих по три в одном сосуде (конкурирующие растения) позитивно влияла на ростовые и биохимические показатели растений по сравнению с необработанными, уменьшая негативные последствия конкуренции. Со временем в условиях недостатка воды и питания у инокулированных бактерией растущих по 3 в горшке растений отсутствовало типичное для дефицита увеличение массовой доли корней, а стимуляция массы конкурирующих растений была больше, чем одиночных. Степень этих изменений зависела от концентрации бактерий. Измерение содержания АБК в почвенном растворе и в растениях выявило нивелирование ее накопления в побегах и почвенных смывах инокулированных бактерией *P. plecoglossicida* 2.4-D конкурирующих растений салата.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-26-00104.

Ключевые слова: *Lactuca sativa*, абсцизовая кислота, плотность посадки растений, конкуренция, *Pseudomonas plecoglossicida* 2.4- D.

INFLUENCE OF BACTERIA CATABOLIZING ABSCISIC ACID ON THE GROWTH OF PLANTS AT DIFFERENT PLANTING DENSITIES

**Vysotskaya L.B.* , Martynenko E.V., Ryabova A.S., Gaffarova E.R.,
Kuzmina L.Yu., Chetverikov S.P., Kudoyarova G.R.**

Ufa Institute of Biology, UFRS, RAS, Prospekt Oktyabrya, 69, 450054, Ufa, Russia

Keywords: *Lactuca sativa*, abscisic acid, planting density, competition, *Pseudomonas plecoglossicida* 2.4- D

АКТИВНОСТЬ ГЕНА ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА *ABI3* У СОРТООБРАЗЦОВ ГОРОХА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ СЕМЯН

Гайнуллина К.П.^{1,2*}, Заикина Е.А.¹, Кулуев Б.Р.¹

¹ ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

² ОС «Уфимская» УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: karina28021985@yandex.ru

Горох посевной – ценная высокобелковая культура, широко распространенная во всем мире. Важнейшей задачей селекции гороха является повышение содержания протеина в его семенах. Интенсивное накопление питательных веществ, в том числе белков, происходит в средней стадии развития семян, которая регулируется основными факторами транскрипции: *ABI3*, *FUS3*, *LEC1*, *LEC2*. Целью исследования стало изучение экспрессии гена транскрипционного фактора *ABI3* у высокобелковых и низкобелковых сортов гороха на разных этапах развития семян. Опыты проводились в 2022 г. Объектом исследования послужили 50 сортов гороха из коллекции генетических ресурсов ВИР. Концентрацию протеина в семенах измеряли по Брэдфорду. Количественное определение содержания мРНК (после конверсии в кДНК) гена *ABI3* проводили методом количественной ОТ-ПЦР в режиме реального времени. Последовательности праймеров для ОТ-ПЦР были подобраны впервые с помощью программы PrimerSelect (DNASar, США). В качестве стандарта использовали мРНК гена β -тубулина, уровень экспрессии которого принимали за 100%. На основе полученных данных было выделено 10 сортов гороха с наибольшим содержанием белка в семенах (23,5-24,5%) и 10 – с наименьшим (18,0-19,0%). Исследование транскрипционной активности гена *ABI3* показало, что на этапе формирования зародыша семени во всех образцах уровень экспрессии этого гена был достаточно низок (в среднем 45,8% к гену β -тубулина), а в период активного роста семян за счет отложения запасных веществ в семядолях происходило повышение содержания его транскриптов (в среднем 99,6% к гену β -тубулина). При достижении семенами фазы молочной спелости наблюдалось еще более значительное повышение транскрипционной активности гена *ABI3* (в среднем 144,6% к гену β -тубулина). Таким образом, полученные данные по экспрессии гена *ABI3* свидетельствуют об увеличении его транскрипционной активности по мере развития семян и накопления в них запасных питательных веществ у большинства изученных сортов гороха.

Ключевые слова: *Pisum sativum* L., запасные белки семян, транскрипционные факторы, *ABI3*

THE ACTIVITY OF THE TRANSCRIPTION FACTOR GENE *ABI3* IN PEA CULTIVARS WITH DIFFERENT CONTENT OF SEED STORAGE PROTEINS

Gainullina K.P.^{1,2*}, Zaikina E.A.¹, Kuluev B.R.¹

¹ IBG UFRC RAS, Ufa, Russia

² ES «Ufimskaya» UFRC RAS, Ufa, Russia

*E-mail: karina28021985@yandex.ru

Keywords: *Pisum sativum* L., seed storage proteins, transcription factors, *ABI3*

**КСИЛОГЕНЕЗ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ:
БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ
ФОРМИРОВАНИЯ ЯДРОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**Галибина Н.А.* , Мошенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Никерова К.М.,
Корженевский М.А., Серкова А.А., Афошин Н.В., Семенова Л.И., Иванова Д.С.,
Софронова И.Н.**

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: galibina@krc.karelia.ru

Для бореальных лесов Северо-Запада России в градиенте климатических (средняя подзона тайги – северная подзона тайги – зона перехода тайги в лесотундру) и лесорастительных (сосняк черничный – сосняк брусничный – сосняк лишайниковый) условий у сосны обыкновенной изучена интенсивность процесса формирования ядровой древесины (НВ) в зависимости от возраста камбия в пределах одного дерева. Выявлены особенности протекания программируемой клеточной смерти при формировании проводящих и механических элементов ксилемы и при формировании НВ. Изучены паттеры экспрессии генов *СЕР*, *МС5* (кодируют гидролитические ферменты – цистеиновую эндопептидазу и метакаспазу) и генов семейства *ВFN* (кодируют бифункциональную эндонуклеазу с ДНКазной и РНКазной активностью, участвующую в деградации клеточного ядра) в тканях ствола по радиальному вектору «камбиальная зона – дифференцирующаяся ксилема – SWext – SWint (внешние и внутренние слои заболонной древесины) – транзитная зона». Показано, что этап, связанный с образованием НВ (разрушение ядер), в основном, происходит в период камбиального роста. Рассмотрены метаболические изменения, предшествующих переходу клеток из SW в НВ, и влияния на этот переход условий произрастания. Изучены особенности накопления экстрактивных веществ в НВ в зависимости от возраста камбия. Экстрактивные вещества (воски, жирные кислоты, терпены, триглицериды, простые фенолы, стильбены, лигнаны, танины) – это богатые углеродом полимеры, в связи с чем, возрастание их содержания в НВ сопровождается увеличением содержания углерода. Данные о накоплении экстрактивных веществ, в зависимости от условий произрастания, могут быть использованы для оценки вклада НВ в аккумуляцию углерода ствольной древесиной.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-14-00204.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., возраст камбия, продолжительность жизни паренхимных клеток, программируемая клеточная смерть, ферменты метаболизации сахарозы, полифенолоксидаза

**SCOTS PINE XYLOGENESIS UNDER VARIOUS FOREST CONDITIONS:
HEARTWOOD FORMATION BIOCHEMICAL AND MOLECULAR MECHANISMS**

**Galibina N.A., Moshchenskaya Ya.L., Tarelkina T.V., Nikerova K.M.,
Korzhenevsky M.A., Serkova A.A., Afoshin N.V., Semenova L.I., Ivanova D.S.,
Sofronova I.N.**

Forest Research Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Pinus sylvestris* L., cambium age, parenchyma cells' lifespan, programmed cell death, sucrose metabolizing enzymes, polyphenol oxidase

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ АМИНОПОЛИКАРБОКСИЛАТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Галиева Г.Ш.*, Курынцева П.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю.

Казанский Федеральный Университет, г. Казань, Российская Федерация

*E-mail: goolnaz@rambler.ru

Эффективным способом повышения урожайности растений является использование не только удобрений, содержащих азот, калий и фосфор, но и микроэлементы (Cu, Fe, Zn, B, Mo, Co, Mn). Наиболее часто применяемыми хелатными удобрениями являются комплексные соединения ионов металлов с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА), которые имеют ряд существенных недостатков – низкая скорость биodeградации, аккумуляция в компонентах окружающей среды, мобилизация тяжелых металлов.

В рамках данной работы проведено сравнение двух комплексных микроэлементных удобрений на основе ЭДТА (К6-ЭДТА) и глутаминово-N,N-диуксусной кислоты (К6-ГЛДА) на основе данных биodeградации, экотоксичности и удобрительных свойств. Микроэлементные удобрения содержали Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo в количестве 0.375, 0.291, 0.097, 0.139, 0.070, 0.027%.

Установлено, что степень деградации К6-ГЛДА была выше, чем у К6-ЭДТА (степень биodeградации выше в 2.6 раза, а степень абиотической деградации в 55 раз). Экотоксичность К6-ГЛДА (ЕС10 = 2.4 г/л), оцененная по отношению к *Ceriodaphnia affinis*, также была в 6.8 раз ниже таковой К6-ЭДТА (ЕС10 = 0.35 г/л). Оценка удобрительных свойств показала отсутствие достоверных различий ($p < 0.05$) во всхожести семян *Lactuca sativa* после обработки хелатными комплексами. Листовая обработка растений салата К6-ГЛДА привела к увеличению биомассы растений в 1.8 раз по сравнению с аналогичными обработками К6-ЭДТА. Кроме того, обработка К6-ГЛДА приводит к большей аккумуляции внесенных микроэлементов в фитомассе растений. Таким образом, показано преимущество использования микроэлементных хелатных удобрений на основе глутаминово-N,N-диуксусной кислоты как с точки зрения увеличения урожайности, так и для снижения негативного воздействия на компоненты окружающей среды.

Ключевые слова: комплексные хелатные удобрения, этилендиаминтетрауксусная кислота, глутаминово-N,N-диуксусная кислота, экотоксичность, урожайность, биodeградация

MICROELEMENT FERTILIZERS BASED ON BIODEGRADABLE AMINOPOLYCARBOXYLATES FOR GREENING AGRICULTURE

Galieva G., Kuryntseva P., Galitskaya P., Selivanovskaya S.

Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

Keywords: complex microelement fertilizers, ethylenediaminetetraacetic acid, glutamic-N,N-diacetic acid, ecotoxicity, productivity, biodegradation

ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ШТАММА *JANTHINOBACTERIUM LIVIDUM* IB-ST-GO НА РАЗВИТИЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ

Галимзянова Н.Ф. *, Гильванова Е.А., Мильман П.Ю., Кузьмина Л.Ю.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
Уфа, Россия

*E-mail: galnailya@yandex.ru

Бактерии рода *Janthinobacterium* широко распространены в природе, они обнаружены в водоемах, почве, ризоплане и ризосфере растений. Существовая в природе в условиях постоянной конкуренции, микроорганизмы вырабатывают множество способов реализации механизмов межмикробных взаимодействий с микроскопическими грибами, в том числе и фитопатогенными. Штаммы, обладающие антагонистической активностью, могут быть использованы в качестве средств защиты растений.

Из водных источников водосбора пещеры Шульган-Таш были выделены пигментпродуцирующие штаммы IB-ST-GO, IB-ST-RHF и IB-ST-GOLI, которые с помощью метода сиквенс-анализа гена 16S рРНК отнесены к кладе *Janthinobacterium lividum* с уровнем сходства 99.7-99.8%. Прочитанные последовательности гена 16S рРНК штаммов доступны в Генбанке (NCBI) под номерами OQ143958, OQ874825 и OQ874821. Новые штаммы способны образовывать пигмент, относящийся к семейству виолацеинов, который обладает антибактериальной и антигрибной активностями.

Целью настоящей работы является изучение влияния новых штаммов бактерий рода *Janthinobacterium* на развитие фитопатогенных грибов *Fusarium oxysporum* UIB-F-15 и *Rhizoctonia solani* UIB-F-38 из коллекции микромицетов УИБ УФИЦ РАН. Оценка была проведена как контактным (методом лунок), так и бесконтактным способом при совместном культивировании микроорганизмов, учитывающим влияние летучих метаболитов бактерий. Как известно из литературных источников более 50% летучих метаболитов бактерий этого рода содержат серу в своем составе, активность которых обусловлена продуктами восстановления или окисления серы, нарушающими метаболизм микромицетов, вызывая их гибель. Среди изученных бактерий, штамм *J. lividum* IB-ST-GO показал антигрибную активность при обоих способах оценки. При бесконтактном выращивании выявлено угнетение развития мицелия грибов (на 38% для *F. oxysporum*, 55% для *R. solani*) за счет образования летучих метаболитов.

Ключевые слова: *Janthinobacterium lividum*, летучие метаболиты, грибы, ингибирование роста

EFFECT OF VOLATILE COMPOUNDS OF THE *JANTHINOBACTERIUM LIVIDUM* IB-ST-GO STRAIN ON THE DEVELOPMENT OF PHYTOPATHOGENIC FUNGI

Galimzianova N.F., Gilvanova E.A., Milman P.Yu., Kuzmina L.Yu.

Ufa Institute of Biology – Separate Structural Subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Centre of the RAS, 69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

Keywords: *Janthinobacterium lividum*, volatile metabolites, fungi, growth inhibition

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕТАЛЬНОЙ ДОЗЫ ГЕРБИЦИДА BASTA ДЛЯ *IN VITRO* КУЛЬТУР МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Галимова А.А. *, Ибрагимова З.А., Рахматулина И.Ф., Кулуев Б.Р.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: aiz.galimova@yandex.ru

Генетическая трансформация злаковых культур является активно развивающимся направлением биотехнологии. Получения трансгенных растений можно разделить на три этапа: перенос чужеродного ДНК в геном растения; получение растений-регенерантов; отбор трансгенных растений. Каждый из этапов важен и требует хорошо отработанных методик их проведения. Для отбора трансгенных растений используют селективные гены, специфические ферментативные активности, репортерные гены и другие молекулярные методы. Широко используемым методом селекции трансгенных растений мягкой пшеницы является отбор посредством включения в генетические конструкции для трансформации селективного гена, который придает растениям устойчивость к антибиотикам или гербицидам. Ведение селекции трансгенных растений требует знаний точных концентраций и продолжительности воздействия селективных агентов для используемых культур тканей. Поэтому, целью работы стало выявление оптимальной концентрации и продолжительности воздействия гербицида BASTA для отбора трансгенных побегов в каллусной культуре мягкой пшеницы. Материалом исследования послужили незрелые зародыши мягкой пшеницы сорта Тая, из которых получали каллусную культуру и параллельно с индукцией каллусогенеза подбирали оптимальную концентрацию селективного агента BASTA для отбора трансгенных побегов. Нами использовались концентрации BASTA – 5; 7.5; 10 мг/л, на которых незрелые зародыши культивировались 7 суток. По предварительным результатам, действие BASTA в концентрациях 5 мг/л и 7.5 мг/л не дает значимых различий при селективном отборе – при данных концентрациях наблюдается каллусообразование у 20% и 20.4% незрелых зародышей соответственно. При концентрации 10 мг/л так же происходило каллусообразование у 16.7% незрелых зародышей. Из предварительных результатов следует, что селективного агента BASTA в концентрациях 5; 7.5; 10 мг/л и времени воздействия – 7 суток, не достаточно для проведения эффективной селекции трансгенных растений на этапе каллусогенеза.

Ключевые слова: Селективный агент, BASTA, мягкая пшеница, каллусогенез.

DETERMINATION OF THE LETHAL DOSE OF BASTA HERBICIDE FOR *IN VITRO* CULTURE OF BREAD WHEAT

Galimova A.A. *, Ibragimova Z.A., Rakhmatullina I.F., Kuluev B.R.

Institute of Biochemistry and Genetics of UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: Selective agent, BASTA, bread wheat, callusogenesis.

РИЗОСФЕРНЫЕ БАКТЕРИИ АРИДНОЙ ЗОНЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ АГРОЦЕНОЗОВ

Гальперина А.Р. *, Сопрунова О.Б.

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия;

*E-mail: alina_r_s@rambler.ru

Аридная зона – природная зона, характеризующаяся особенностями климата, приводящими к недостатку влаги для жизни организмов. Для растений, обитающих в аридных и полуаридных зонах, характерны сложные адаптационные стратегии, включающие в себя биохимические, физиологические и молекулярные механизмы для смягчения различных биотических и абиотических стрессов. Помимо приспособительных функций самих растений в аридных условиях существенно возрастает значимость ризосферной микробиоты, прошедшей эволюционный отбор на оптимальное функционирование и взаимодействие с макроорганизмом.

Сообщество микроорганизмов ризосферы обладает пластичностью и способно адаптироваться к абиотическим стрессам, повышая устойчивость к ним растений. Ризосферные микроорганизмы аридных экосистем являются природным резервуаром для выделения штаммов с широким перечнем биотехнологически ценных свойств: солюбилизация нерастворимых соединений фосфора, антагонизм к фитопатогенам, фиксация молекулярного азота, увеличение пула органического углерода и синтез фитогормонов.

В период 2019-2022 гг из ризосферы и ризопланы культурных и дикорастущих растений Астраханской области выделено более 140 изолятов ризосферных микроорганизмов, из которых 50 изолятов, сохраняющих жизнеспособность *in vitro*, отобрали для дальнейших исследований.

Для каждого изолята изучены культурально-морфологические свойства и цитологические особенности, способность к солюбилизации фосфатов и выработке индолил-3-уксусной кислоты, фитотоксические свойства, антагонистическая активность по отношению к мицелиальным и бактериальным эпифитным микроорганизмам.

В ходе проведенных исследований отобраны изоляты, обладающие комплексом полезных свойств, позволяющих рекомендовать их к использованию в качестве основы агробiotехнологий.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-26-00227 «Генетическая паспортизация ризосферных микроорганизмов аридных экосистем с биотехнологически значимыми свойствами».

Ключевые слова: скрининг, аридные экосистемы, симбиотические микроорганизмы, растительно-микробное взаимодействие

RHIZOSPHERIC BACTERIA OF THE ARID ZONE AS PROMISING OBJECTS FOR ECOLOGOZATION OF AGROCOENOSIS

Galperina A.R., Soprunova O.B.

Federal State Education Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical University»

Keywords: screening, arid ecosystems, symbiotic microorganisms, plant-microbial interaction

АФФИННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ РЕЦЕПТОРОВ К АНАЛОГУ ТИРОКСИНА ИЗ ТКАНЕЙ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Гарипова М.И. *, Федяев В.В., Дацко О.И.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

*E-mail: margaritag@list.ru

В настоящее время известно значительное число соединений растительного происхождения, обладающих активностью гормонов животных. Среди них описаны как полные структурные аналоги гормонов человека и животных, так и соединения, проявляющие свою активность, подобно фитоэстрогенам, за счет способности взаимодействовать с рецепторами к гормону животных за счет частичного структурного соответствия. К числу таких соединений относятся соединения, проявляющие активность гормонов щитовидной железы. Если, подобно тому, как это происходит в животной клетке, эти соединения выполняют роль регуляторов метаболизма, встает вопрос о существовании рецепторов к ним и возникает необходимость исследования механизмов внутриклеточного сигналинга. Цель данного исследования: выделить соединения, которые, предположительно, принимают участие в рецепции растительных аналогов йодтиронинов.

Для аффинного выделения рецепторов к растительному аналогу тироксина использовали лизат, полученный из семидневных проростков фасоли обыкновенной (стимулируют *Phaseolus vulgaris*), выращенной с применением гидропоники. Методом иммуноферментного анализа определены концентрации йодтиронинов в полученных пробах. На аффинную колонку объемом 8 мл наносили 80 мл лизата, хроматографию проводили при скорости тока рабочего буфера 2 мл в минуту, не связанные компоненты отмывали 0,14 М сахарозой, забуференной калий-фосфатным буфером до pH=7,2. Элюцию соединений, аффинных к тироксину, проводили 0,1 М уксусной кислотой. В элюате с объемом 10 мл после нейтрализации определяли содержание белка и нуклеиновых кислот спектрофотометрически и содержание аффинных к тироксину соединений. Процедуру аффинного выделения рецепторов к растительному аналогу тироксина с последующим определением концентрации трийодтиронина в выделенных фракциях повторяли 15 раз (n=15). Показано, что аффинные к тироксину соединения, выделенные из лизатов семидневных проростков фасоли, являются нуклеопротеидами, с соотношением ОП_{260/280} 1,60±0,035, что соответствует 12,1 % нуклеиновой кислоты. На основании сложной нуклеопротеидной природы выделенного рецептора к растительному аналогу тироксина, сделано предположение о том, что выделен сложный комплекс, принимающий участие в регуляции транскрипции.

Ключевые слова: растительный аналог тироксина, внутриклеточный рецептор, аффинное выделение, нуклеопротеид.

AFFINITY PREPARATION OF THYROXINE-SPECIFIC RECEPTORS FROM BEAN SEEDLINGS

Garipova M.I., Fedyaev V.V., Dazko O.I.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: plant thyroxine analog, intracellular receptor, affinity isolation, ribonucleoproteins

ПОИСК БИОМАРКЕРОВ ЭФФЕКТИВНОГО СИМБИОЗА НЕРИЗОБИАЛЬНЫХ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ С БОБОВЫМИ РАСТЕНИЯМИ

Гарипова С.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

E-mail: garipovasvetlana@gmail.com

В отличие от клубеньковых бактерий эндофиты образуют симбиоз с разными видами растений. Тем не менее практика показывает неодинаковую эффективность их применения для разных сельскохозяйственных культур и сортов растений. Предполагается, что физиолого-биохимические механизмы видовой специфичности эндофитных бактерий обусловлены отличающимися у двудольных и однодольных растений оптимумами концентраций гормонов. Кроме того растения проявляют разные по интенсивности фитоиммунные реакции по отношению к определенным штаммам в зависимости от особенностей вида и сорта, которые могут быть связаны с восприятием растением как неоптимальных концентраций экзогенного фитогормона, так и других сигнальных молекул растительно-микробной коммуникации. Динамическое равновесие между продукционной и защитной системами растения определяет эффективность симбиотических отношений партнеров. При этом преимущества от бактериальной метаболической активности должны соответствовать потребностям растения и покрывать энергетические затраты, связанные с регуляцией индуцированных бактериями физиологических процессов в растительном организме. Следует отметить, что потребности генотипа растения в коррекции своих лимитирующих свойств за счет так называемого «расширенного генофонда бактерий» могут различаться в зависимости от условий среды. Следовательно, необходим анализ резистентности и толерантности сорта к неблагоприятным факторам среды, а также как синергетического, так и антагонистического влияния бактерий в сложившийся адаптивный потенциал растения. Для прогноза эффективности симбиотических взаимоотношений эндофитных бактерий с растением необходимо разработать удобную тест-систему, включающую выбор морфометрических показателей ростовых процессов и физиолого-биохимических индикаторов фитоиммунных реакций. К первым можно отнести показатели скорости роста (энергия прорастания, вхожесть, сроки наступления фаз), элементы архитектуры растения (длина осевых органов проростка, степень разветвленности корня и побега, площадь листьев), элементы структуры урожая, ко вторым – содержание малонового диальдегида, активность оксидоредуктаз и др. В докладе обсуждаются первые результаты применения данного подхода в оценке эффективности эндофитного симбиоза. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 23-24-00602.

Ключевые слова: ростовые показатели, архитектура проростка, структура урожая, МДА, активность оксидоредуктаз

SEARCH FOR BIOMARKERS OF EFFECTIVE SYMBIOSIS OF NON-RISOBIAL ENDOPHYTIC BACTERIA WITH LEGUMINOUS PLANTS

Garipova S.R.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: growth parameters, seedling architecture, yield structure, MDA, oxidoreductase activity

БИОЭНЕРГЕТИКА ДЫХАНИЯ И МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ В РАСТЕНИЯХ

Гармаш Е.В.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук
ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»,
Сыктывкар, Россия
E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Дыхание – универсальный процесс и фундаментальная основа жизнедеятельности клетки. Эволюция функциональных механизмов энергизации биологической жизни шла от гистерезиса органических структур до систем активной энергизации живых организмов и развития ее высшей формы – системы окислительного фосфорилирования. В дыхании восстановительные эквиваленты (НАДН и ФАДН₂) окисляются с образованием энергии в форме АТФ в электрон-транспортной цепи митохондрий (мЭТЦ). В растительной мЭТЦ наряду с основным цитохромным энергогенерирующим путем (ЦП) функционируют нефосфорилирующие пути транспорта электронов. Среди них альтернативный путь (АП) через терминальную альтернативную оксидазу (АОХ) оказывает наибольшее влияние на энергетический баланс клетки. Вовлечение АП в обход двух пунктов «сопряжения энергии» снижает энергетическую эффективность дыхания (ЭЭД), но обеспечивает поддержание окислительно-восстановительного баланса в мЭТЦ и предотвращает образование АФК. Вместе с тем, расчеты на основе данных многолетних исследований показали, что только при продолжительном и/или сильном влиянии стресса вовлечение АП (40% и более от общего дыхания) одновременно при снижении вклада ЦП может привести к уменьшению ЭЭД. Изучение функций АОХ, в том числе с помощью методов обратной генетики, выявило важную роль АП в защите от окислительного стресса, оптимизации протекания фотосинтеза, развитии апоптоза, регуляции стресс-сигналинга, поддержании процессов роста. При отсутствии АОХ в геноме (в частности, *AtAOX1a*) растения проявляют компенсаторный эффект, вероятными триггерами которого по пути митохондриальной ретроградной регуляции являются повышение уровня H₂O₂ и снижение синтеза аскорбата для индукции систем защиты от окислительного стресса. Изучение механизмов регуляции экспрессии АОХ перспективно для разработки генно-инженерных стратегий управления продуктивностью и биоэнергетикой растений.

Работа выполнена при поддержке РНФ (№ 22-24-01082).

Ключевые слова: дыхание, окислительное фосфорилирование, нефосфорилирующие пути, альтернативная оксидаза, энергетическая эффективность дыхания, регуляция экспрессии АОХ.

BIOENERGETICS OF RESPIRATION AND MECHANISMS OF REGULATION OF RESPIRATORY PATHWAYS IN PLANTS

Garmash E.V.

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar 167982, Russia.
E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Keywords: respiration, oxidative phosphorylation, non-phosphorylating pathways, alternative oxidase, respiration energy efficiency, regulation of AOX expression.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭНЕРГОДИССИПИРУЮЩИХ СИСТЕМ МИТОХОНДРИЙ И ХЛОРОПЛАСТОВ В РАСТЕНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Гармаш Е.В., Шелякин М.А., Малышев Р.В., Силина Е.В., Дымова О.В.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук
ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»,
Сыктывкар, Россия
E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Энергодиссипирующие системы (ЭДС) фотосинтезирующей клетки – виолаксантиновый цикл (ВКЦ) в хлоропластах и альтернативный путь дыхания (АП) митохондриях – участвуют в защите от избытка световой энергии. В работе исследовано влияние уровня подавления экспрессии *AOX1a* и *NPQ1* – генов, кодирующих альтернативную оксидазу АП (АОХ) и фермент ВКЦ – виолаксантиндеэпоксидазу (ВДЭ), соответственно, на изменение метаболических путей адаптации 4-х-недельных растений *Arabidopsis thaliana* при повышенной освещенности (400 мкмоль ФАР/м² с). Антисенсовые по *AOX1a* растения (AS-12) после 8 ч воздействия светового фактора демонстрировали более низкие уровни нефотохимического тушения (qN) и дезоксидации виолаксантина (DEPS) в сравнении с линией дикого типа (Col-0). Судя по количеству транскриптов *NPQ1*, белка ВДЭ и функционированию ВКЦ, снижение DEPS было связано с низкой активностью ВДЭ. При этом линия AS-12 проявляла компенсаторный эффект со стороны активации АФК-нейтрализующих систем. Линия *npq1*, как и следовало ожидать, характеризовалась самым низким уровнем DEPS и qN (≈ 0.3) и реагировала на стресс усилением дыхания за счет вовлечения АП. Активация АП коррелировала с увеличением транскриптов трех генов АОХ – *AOX1a,c,d*, а также генов других путей нефосфорилирующего дыхания. В линии AS-12 обнаружена высокая активность двух форм супероксиддисмутазы (Mn-СОД и Fe-СОД), а в линии *npq1* – превалировала Fe-СОД. После 8 ч действия стресса содержание супероксидрадикала в линии *npq1* было в два и пять раз выше, чем в линии Col-0 и AS-12 соответственно, что свидетельствовало о более стремительном развитии окислительного стресса в растениях с подавлением ВДЭ. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли АОХ в фотосинтезирующей клетке и взаиморегуляции ЭДС хлоропластов и митохондрий для защиты от фотоокисления.

Работа поддержана грантом РНФ № 22-24-01082.

Ключевые слова: энерго-диссипирующие системы, хлоропласты, митохондрии, виолаксантиновый цикл, альтернативная оксидаза, повышенная освещенность

FUNCTIONING OF ENERGY-DISSIPATING SYSTEMS IN MITOCHONDRIA AND CHLOROPLASTS IN *ARABIDOPSIS THALIANA* PLANTS UNDER HIGH LIGHT

Garmash E.V. *, Shelyakin M.A., Malyshev R.V., Silina E.V., Dymova O.V.

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar 167982, Russia

*E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Keywords: energy-dissipating systems, chloroplasts, mitochondria, violaxanthine cycle, alternative oxidase, light stress

ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Гераськин С.А., Битаршвили С.В., Васильев Д.В.

ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

E-mail: stgeraskin@gmail.com

Комплексные исследования эффектов хронического радиационного воздействия в естественной среде обитания растений предпринимаются крайне редко в силу сложности постановки такого рода экспериментов и интерпретации полученных результатов. Тем не менее, именно такие исследования создают реальную основу для прогноза отдаленных последствий хронического облучения. В сообщении представлены основные результаты многолетних наблюдений за популяциями сосны обыкновенной в разных радиоэкологических ситуациях и климатических зонах (30-км зоны Чернобыльской и Фукусимской АЭС, участки с повышенным уровнем естественной радиоактивности в Республике Коми). Развивающиеся в условиях хронического облучения популяции характеризуются повышенными уровнями мутагенеза и полногеномного метилирования, изменениями экспрессии генов, генетической структуры популяции и временной динамики цитогенетических нарушений. В условиях экологического стресса в популяциях растений происходит отбор на повышение устойчивости к действующему фактору. Но скорость и сама возможность осуществления этого процесса может существенно различаться в разных радиоэкологических условиях. Анализ транскриптома показал, что высокие мощности дозы хронического облучения ведут к отбору на эффективность систем репарации, а низкие – к поддержанию оксидативного баланса, экспрессии шаперонов и гистонов, а также контролю транспозиции МГЭ. Из представленных в докладе данных следует, что хроническое радиационное воздействие можно рассматривать как экологический фактор способный дестабилизировать временную динамику популяционных показателей, менять генетическую структуру популяций и модифицировать их гормональный статус. Причем в адаптивных реакциях растений на хроническое радиационное воздействие важную роль играют эпигенетические механизмы.

Материалы выступления подготовлены при поддержке гранта РФФ № 21-16-00004.

Ключевые слова: Сосна обыкновенная, хроническое облучение, метилирование, экспрессия генов, фитогормоны, эпигенетика

EFFECTS OF CHRONIC RADIATION EXPOSURE ON SCOTT PINE POPULATIONS

Geras'kin S.A., Bitarishvili S.V., Vasiliyev D.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

Keywords: Scots pine, chronic exposure, methylation, gene expression, phytohormones, epigenetics

НАКОПЛЕНИЕ БЕЛКОВ ТЕПЛОВОГО ШОКА В ХВОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЯ РОДА PINUS В ПОСТПИРОГЕННЫЙ ПЕРИОД

Гетте И.Г.^{1*}, Пахарькова Н.В.¹, Коротаева Н.Е.², Боровский Г.Б.², Косов И.В.³

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

² Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

³ Институт леса им В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия;

*E-mail: getteirina@yandex.ru

В настоящее время отмечается повышенный интерес к изучению современных адаптационных возможностей растений в условиях прогнозируемого изменения климата. К основным неблагоприятным последствиям климатических изменений в лесных экосистемах Сибири относят временное повышение температуры в зимне-весенний период, что вызывает ранее возобновление фотосинтетической активности, удлинение засушливых периодов и дефицит почвенной влаги, а так же увеличение продолжительности пожароопасного сезона и интенсивности горения, частоты пожаров и сокращения межпожарного интервала. Высокотемпературное воздействия при пожаре длится относительно недолго, но запускает изменения в физиологии и биохимии деревьев, что может быть отмечено и в последующий восстановительный период.

В исследовании в качестве биохимического маркера состояния растений представителей рода *Pinus* было определено содержание белков теплового шока (БТШ) в хвое, сформированной в постпирогенных условиях, то есть с древостоев, переживших низовой пожар, а так же испытавших смоделированный конвективный поток заданной температуры. Образцы хвои *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica* были отобраны на территории Красноярской леосостепи и Западного Саяна, соответственно.

В ответ на огневое воздействие в краткосрочном периоде в хвое происходит закономерное накопление БТШ. Так же было определено содержание стрессовых белков в хвое, сформированной в постпирогенных условиях. Отмечено, что у деревьев, переживших низовой пожар, происходят изменения в накоплении БТШ в ответ на повторное тепловое воздействие, а также их потенциальные способности к защите от стресса могут быть повышены по сравнению с контрольными деревьями. Выявлена возможность использования изучаемого параметра как индикатора наличия и продолжительности сохранения акклимационных эффектов в период восстановления после низовых пожаров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24 00251, <https://rscf.ru/project/23-24-00251/>

Ключевые слова: стрессовые белки, пожары, постпирогенный период, *Pinus*

ACCUMULATION OF HEAT SHOCK PROTEINS IN THE NEEDLES OF THE PINUS GENUS IN THE POST-FIRE PERIOD

Gette I.G.¹, Pakharkova N.V.¹, Korotaeva N.E.², Borovskii G.B.², Kosov I.V.³

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

² Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Irkutsk Science Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

³ Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk Science Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

Keywords: stress proteins, fires, post-fire period, *Pinus*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФИТОПАТОГЕННОЙ БАКТЕРИИ *BACILLUS PUMILUS*, ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ ГУСЕНИЦ ОХРИДСКОГО МИНЕРА

Глинская Е.В.*, Тарасова А.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

*E-mail: elenavg-2007@yandex.ru, nastyusha.tarasova.01@gmail.com

Каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986) является основным насекомым-вредителем конских каштанов (*Aesculus hippocastanum* L., 1753). Помимо ущерба, наносимого гусеницами листьям деревьев, охридский минер служит также переносчиком фитопатогенов, являющихся возбудителями различных заболеваний конского каштана.

Работа проводилась на базе кафедры микробиологии и физиологии растений СГУ имени Н. Г. Чернышевского в 2022 году. Пробы гусениц, мин и здоровых листьев были собраны в скверах г. Саратова. За период исследования было изучено три поколения гусениц. Из проб здоровых листьев и гусениц I поколения каштановой моли был выделен 1 вид фитопатогенных бактерий – *Bacillus pumilus*.

Для определения факторов патогенности проводилось исследование ферментативной активности бактерий. Липолитическую активность определяли путем посева бактерий на питательные среды, содержащие различные растительные масла: оливковое, подсолнечное, рыжиковое, горчичное, льняное. Пектолитическую активность исследовали, определяя способность бактерий мацерировать растительные ткани различных культур, таких как морковь, свекла, картофель, капуста и редис. Целлюлолитическую активность изучали на среде Хетчинсона-Клейтона.

Из исследуемых растительных масел бактерии *Bacillus pumilus* были способны использовать подсолнечное и рыжиковое. Мацерирующий эффект исследуемой фитопатогенной бактерии наблюдали на корнеплодах моркови и свеклы, клубнях картофеля. Целлюлолитической активностью бактерии не обладали.

Проведенное исследование показало, что бактерии *Bacillus pumilus* обладают пектолитической и липолитической активностью, что свидетельствует о проявлении ими фитопатогенных свойств. Бактерии *Bacillus pumilus* были обнаружены как в гусеницах охридского минера, так и в листьях конского каштана. На основании этих данных можно сделать вывод, что каштановая минирующая моль может являться резервуаром фитопатогенных видов, что в свою очередь может приводить к развитию бактериозов деревьев.

Ключевые слова: *Cameraria ohridella*, *Aesculus hippocastanum*, фитопатогенные бактерии, *Bacillus pumilus*.

BIOLOGICAL PROPERTIES OF PHYTOPATHOGENIC BACTERIA *BACILLUS PUMILUS*, ISOLATED FROM THE CATERPILLARS OF THE OHRID MINER

Glinskaya E.V., Tarasova A.V.

Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia

Keywords: *Cameraria ohridella*, *Aesculus hippocastanum*, phytopathogenic bacteriums, *Bacillus pumilus*.

КРУГОВОРОТ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ НОВЫЙ ПУТЬ МЕТАБОЛИЗМА АБК У РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ

Гоголев Ю.В.^{1,2*}, Юзихин О.С.³, Шапошников А.С.³, Коннова Т.А.¹, Хамо Х.²,
Ермекалиев Т.С.², Гоголева Н.Е.^{1,2}, Камнев А.А.⁴, Белимов А.А.³

¹ Казанский институт биохимии и биофизики, ОСП ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия;

² Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань, Россия;

³ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия;

⁴ Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, Россия

*E-mail: gogolev.yuri@gmail.com

Абсцизовая кислота (АБК) известна как стрессовый фитогормон. Однако, обнаружение этого соединения у бактерий, водорослей, грибов, морских губок и млекопитающих, расширило сферы исследований метаболизма и функций АБК. Большинство сообщений по химии АБК посвящено ее синтезу. Что касается катаболизма, известно, что растения, помимо образования конъюгатов, ограничиваются модификацией циклогексеновой части молекулы. При этом, АБК постоянно вносится в почву через корневую экссудацию, с отмершими тканями, а также в результате продукции бактерий, грибов и водорослей. Несмотря на значительную биологическую активность экзогенной АБК, растения не обладают способностью контролировать концентрацию этого фитогормона в почве или иным образом снижать его активность в окружающей среде. Вероятно, в ходе эволюции растения делегировали эту функцию ассоциированным микроорганизмам. В серии работ нами показано, что ризосферные бактерии, относящиеся к родам *Rhodococcus* и *Novosphingobium* способны к утилизации АБК с образованием дегидровомифолиола и далее нового соединения, определенного как 1-гидрокси-2,6,6-триметил-4-оксо-2-циклогексен-1-уксусная (родококковая) кислота. Таким образом, нами описан новый катаболический путь, который отличается от известных превращений АБК у растений.

Выделенные бактерии способны снижать концентрацию АБК в корнях и листьях растений и увеличивать всхожесть семян при инокуляции. Полученные данные указывают на то, что АБК-утилизирующие бактерии выполняют функцию поддержания гормонального гомеостаза почвы, нормализуя регуляцию роста и процессы адаптации растений. Поскольку продукция АБК является фактором вирулентности многих фитопатогенов, АБК-деградирующие бактерии могут проявлять биоконтролирующие свойства, что делает их перспективным объектом для применения в сельском хозяйстве. Также обсуждается роль микробной деградации АБК в межвидовых взаимодействиях в различных экологических нишах, таких как пищеварительный тракт растительноядных животных и человека.

Ключевые слова: абсцизовая кислота, микробный путь деградации АБК, 1-гидрокси-2,6,6-триметил-4-оксо-2-циклогексен-1-уксусная кислота, ризосферные бактерии

CYCLE OF ABSCISIC ACID A NEW PATHWAY OF ABA METABOLISM IN RHISOSPHERE BACTERIA

Gogolev Y.V.^{1,2*}, Yuzikhin O.S.³, Shaposhnikov A.I.³, Konnova T.A.¹, Hamo H.²,
Ermeckaliev T.S.², Gogoleva N.E.^{1,2}, Kamnev A.A.⁴, Belimov A.A.³

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Russian Federation;

² Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation;

³ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Russian Federation;

⁴ Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Federal Research Center Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Saratov, Russian Federation

Keywords: abscisic acid, microbial ABA-degradation pathway, 1-hydroxy-2,6,6-trimethyl-4-oxo-2-cyclohexene-1-acetic acid, rhizosphere bacteria

СПЕЦИФИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ *LYCHNIS CHALCEDONICA*, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЭКСПЛАНТОВ РАЗНЫХ ОРГАНОВ

Головацкая И.Ф.* , Медведева Ю.В., Кадырбаев М.К.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: golovatskaya.irina@mail.ru

Растения характеризуются способностью синтезировать вторичные метаболиты, среди которых выделяют многочисленную группу флавоноидов (Фл). Фл выполняют защитную функцию от патогенов, УФ-излучения и света высокой интенсивности, осуществляют биологическую коммуникацию в ризосфере, регуляцию транспорта ИУК и его метаболизма, повышение эффективности извлечения питательных веществ во время старения растения, характеризуются антиоксидантной функцией.

Целью исследования явилось изучение роста и состава индивидуальных веществ флавоноидной природы каллусных культур, полученных на основе эксплантов разных органов *L. chalconica*. Изучены 4 линии 30-дневной каллусной культуры, эксплантами которой служили гипокотили (5-дневные проростки), корень, стебель и семядоли (14-дневные проростки). Проведен биохимический анализ (ВЭЖХ) образцов каллусных культур на содержание рутина (Р), кверцетина (КВ) и дигидрокверцетина (таксифолина) (ДКВ).

В результате показано, что в стеблевой и корневой линиях культуры 7-ого пассажа содержалось одинаковое количество Р, тогда как в семядольной линии его количество было в 2 раза меньше. Корневая линия содержала КВ, уровень которого был в 1,5 раза меньше по сравнению с уровнем Р. Содержание ДКВ было в 13 раз больше такового в семядольной линии и в 4 раза больше, чем Р в стеблевом каллусе. В других культурах обнаружены только следовые количества КВ. Наибольший ростовой индекс и обводненность клеток отмечены у гипокотильной линии, имеющей следовые количества изученных Фл. Наибольший прирост сухой массы семядольной культуры происходил на фоне меньшего содержания изученных групп Фл.

Таким образом, показано, что молодая каллусная культура *L. chalconica* способна синтезировать биологически активные вещества, содержащиеся как в побеге, так и в корне интактных растений. На уровень Фл влияет возраст проростков, с которых взяты экспланты. Установлена органная специфика в накоплении Р, КВ и ДКВ.

Работа выполнена при поддержке Программы развития ТГУ (Приоритет 2030).

Ключевые слова: *Lychnis chalconica*, каллусная культура, ВЭЖХ-хроматография, рутин, кверцетин, дигидрокверцетин

SPECIFICS OF FLAVONOID ACCUMULATION IN CALLUS CULTURES OF *LYCHNIS CHALCEDONICA* DERIVED FROM EXPLANTS OF DIFFERENT ORGANS

Golovatskaya I.F.* , Medvedeva Y.V., Kadyrbaev M.K.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Keywords: *Lychnis chalconica*, callus culture, HPLC-chromatography, rutin, quercetin, dihydroquercetin

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОВАЛЕНТНЫХ ПЕПТИДНЫХ АДДУКТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОДЕЛЬНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДЕКАПЕПТИДОВ С ВТОРИЧНЫМИ МЕТАБОЛИТАМИ РАСТЕНИЙ

Голушко Н.И.^{1*}, Билова Т.Е.^{1,2}, Ерофеева Н.О.¹, Алхаже К.², Соболева А.В.², Фролов А.А.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.

*E-mail: st078415@student.spbu.ru

В изучении сложных взаимодействий белков и вторичных метаболитов растений ключевым фактором является анализ образования потенциальных продуктов. Этот подход позволяет более точно определить влияние аминокислотных остатков на формирование аддуктов с конкретными метаболитами. Применение программы MS-DIAL существенно обогатило наши данные, обеспечивая как качественную, так и количественную информацию о кинетике образования белковых аддуктов вторичных метаболитов культурных растений в модельных реакциях с синтетическими пептидами.

В настоящем исследовании были обнаружены и аннотированы белковые аддукты, возникающие в результате взаимодействия синтетических декапептидов с различными индивидуальными очищенными вторичными метаболитами растений. Эти результаты согласуются с предыдущими исследованиями, подчеркивающими возможность формирования белковых аддуктов из данных метаболитов. Особо важно отметить, что данный подход позволяет точно идентифицировать молекулярные связи и взаимодействия между пептидами и метаболитами. Построение графиков кинетики выявило динамику образования аддуктов в зависимости от времени и температуры, что открывает новые возможности для будущих исследований.

Таким образом, были определены ключевые значения времени, связанные с наибольшей интенсивностью детектора. Дальнейший MS/MS анализ позволит подтвердить и составить список пептидных аддуктов, углубляя наше понимание сложных механизмов взаимодействия белков и вторичных метаболитов в растениях.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-00383

Ключевые слова: вторичные метаболиты, аддукты, кинетика, MS-DIAL

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF COVALENT PEPTIDE ADDUCTS FORMED BY THE INTERACTION OF MODEL SYNTHETIC DECAPEPTIDES WITH PLANT SECONDARY METABOLITES

Golushko N.I.¹, Bilova T.E.^{1,2}, Erofeeva N.O.¹, Alhaje K.², Soboleva A.V.², Frolov A.A.²

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

² Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Keywords: secondary metabolites, adducts, kinetics, MS-DIAL

ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ПЛОДОНОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ

Гончарова Э.А.

Федеральный исследовательский центр "Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова", Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: e.goncharova@vir.nw.ru

Результаты изучения эколого-физиологических механизмов адаптации различных сельскохозяйственных культур показали, что компоненты урожая в разной степени изменяются в одних и тех же неблагоприятных условиях. Однако следует отметить, что различные экстремальные факторы (засуха, жара, дефицит питания и т.д.) оказывают на структуру урожая однотипное по своему характеру воздействие. Отмеченные закономерности изменения структуры урожая и экстремальных условий среды генетически обусловлены и имеют большую целесообразность с точки зрения сохранения вида как эволюционирующей биологической единицы. При образовании плодов между ними и вегетативными органами устанавливаются специфические донорно-акцепторные взаимодействия, которые определяют транспорт ассимилятов и гормональных факторов. Такие взаимодействия (особенно степень аттракции генеративных органов) определяют не только продуктивность растений в процессе вегетации, но и стресс-устойчивость растений. Применение радиоизотопных и биофизических методов позволило впервые установить, что в системе плодоносящего растения транспорт веществ осуществляется в направлении корень (стебель)-лист-плод. Барьерную (но функционально значимую) роль перед плодом на этом пути выполняют наиболее близко расположенные к нему «питающие» листья. Ключевую роль в регуляции донорно-акцепторных отношений играют гормоны, которые представляют собой специализированные регуляторные молекулы. В экстремальных условиях гормональный баланс в плодах в период их интенсивного роста сдвигается в сторону усиления аттрагирующей способности плодов. Недостаток ассимилятов и воды при стрессе приводит, как правило, к жесткой конкуренции между плодами.

Ключевые слова: урожай, донорно-акцепторные отношения, гормоны, стресс

HORMONAL REGULATION OF PLANT BEARING

Goncharova E.A.

Federal Research Center "N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources",
St. Petersburg, Russia

Keywords: harvest, donor-acceptor relationships, hormones, stress

НАКОПЛЕНИЕ ФЕНИЛПРОПАНОИДОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Гончарук Е.А.^{1*}, Казанцева В.В.¹, Катанская В.М.¹, Тайрекбяров Т.Х.²,
Назаренко Л.В.²

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, г. Москва, Россия

² Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

*E-mail: goncharuk.ewgenia@yandex.ru

Одной из перспективных агрокультур является лен посевной (*Linum usitatissimum* L.), успешно используемый в пищевой и текстильной индустрии, а также как лекарственный и нутрицевтический компонент функционального питания. В последнем случае это обусловлено накоплением биологически активных веществ, в том числе соединений фенольного метаболизма – фенилпропаноидов (ФП). Режим питания растений, особенно на начальных этапах онтогенеза, влияет на процессы первичного метаболизма, а также на вторичный метаболический профиль. Впервые для изучения этого вопроса использовали проростки льна сорта «Ленок». Их выращивали в присутствии или отсутствии макро- и микронутриентов (среда Хогланда-Арнона или вода – ПМП, ДМП, соответственно). Анализировали морфометрические характеристики проростков и накопление ФП на начальных этапах роста (7-14 сутки). При ДМП прирост их биомассы был в 1,5-2 раза ниже, а суммарное накопление фенольных соединений и ФП в 1,5 раза выше такового у проростков при ПМП. Следовательно, ДМП можно рассматривать в качестве фактора активации накопления ФП - нутрицевтиков функционального питания.

Работа выполнена в рамках гос. задания МИНОБРНАУКИ РОССИИ (121050500047-5).

Ключевые слова: лен, проростки, фенилпропаноиды, нутрицевтические компоненты

THE ACCUMULATION OF PHENYLPROPANOIDS IN SPROUTS OF FLAX WITH DIFFERENT MINERAL NUTRITION LEVELS

Goncharuk E.A.¹, Kazantseva V.V.¹, Katanskaya V.M.¹, Tyrekbyarov T.H.²,
Nazarenko L.V.²

¹ Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

Keywords: flax, sprouts, phenylpropanoids, nutraceutical components

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ СПРУТ ЭКСТРА И ФОРВАРД НА РАЗВИТИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.)

Горшков А.П. *, Кусакин П.Г., Цыганова А.В., Цыганов В.Е.

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, г. Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: a.gorshkov@arriam.ru

В агротехнике гороха широко применяются коммерческий гербицид сплошного действия Спрут Экстра и послевсходовый системный гербицид Форвард. Известно, что гербициды могут оказывать негативное влияние на бобово-ризобийный симбиоз. Целью данной работы было изучить влияние гербицидов Спрут Экстра и Форвард на развитие клубеньков гороха сорта Frisson. Обработка растений производилась в концентрациях: рекомендованной производителем, двукратной (для обоих гербицидов) и десятикратной (для Форварда). Опрыскивание Форвардом проводилось на 10-й и 20-й дни после инокуляции, а Спрутом Экстра за день, во время и на следующий день после инокуляции. Растения гороха, обработанные Форвардом, в отличие от обработанных Спрутом Экстра, не проявляли видимых признаков угнетения роста. На ультраструктурном уровне при обработке обоими гербицидами в рекомендованных концентрациях обнаружены следующие аномалии: накопление полигидроксibuтиратов в бактериоидах, изменения перибактероидной мембраны, искривление клеточной стенки и конденсация хроматина. При повышенных концентрациях гербицидов аномалии были выражены сильнее. Транскриптомный анализ подтвердил, что изменения в клеточных стенках у растений, обработанных Спрутом Экстра, связаны со снижением синтеза полисахаридов и усилением их катаболизма. Таким образом, показано, что гербициды Спрут Экстра и Форвард негативно влияют на развитие симбиотических клубеньков гороха.

Работа поддержана Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2022-320 от «20» апреля 2022 г. грант НЦМУ «Агротехнологии будущего»).

Ключевые слова: симбиотический клубенек, гербициды, ультраструктура, клеточная стенка, бактериоид, транскриптомный анализ

INFLUENCE OF HERBICIDES SPRUT EXTRA AND FORWARD ON THE DEVELOPMENT OF SYMBIOTIC PEA NODULES (*PISUM SATIVUM* L.)

Gorshkov A.P., Kusakina P.G., Tsyganova A.V., Tsyganov V.E.²

All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

Keywords: symbiotic nodule, herbicides, ultrastructure, cell wall, bacteroid, transcriptomic analysis

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ЛЕКТИНЫ: РАЗНООБРАЗИЕ, ОСОБЕННОСТИ, ФУНКЦИИ

Горшкова Т.А.^{1,2}

¹ Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

² Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

*E-mail: gorshkova@kibb.knc.ru

15-20 лет назад исследования роли лектинов в растительном организме имели возможность исследовать единичные, в основном водорастворимые, лектины, используя в качестве основных инструментов реакцию агглютинации и (в редких случаях) иммунохимические подходы, и сопрягая содержание отдельных лектинов с воздействием различных факторов. Омиксные технологии выявили у растений сотни белков с лектиновыми доменами, относящиеся к десяткам семейств. Оказалось, что более половины белков с лектиновыми доменами содержат трансмембранные и киназные домены, причем лектиновые домены располагаются за пределами плазмалеммы и имеют доступ к гликанам клеточной стенки, а киназный домен локализован в цитоплазме. Именно такие лектиновые рецептор-подобные киназы особенно характерны для растений, что связано, вероятно, с исключительным разнообразием и многофункциональностью поли- и олигосахаридов, которые могут присутствовать в апопласте. В этой области экспериментальная фактология только начинает накапливаться, поскольку исследования сталкиваются с серьезными методическими сложностями. Для характеристики взаимодействия лектиновых белков с полимерами клеточной стенки сконструирован гликоэrray, содержащий около 200 полисахаридов, полученных из различных растений. Современные представления о работе лектиновых рецептор-подобных киназ констатируют, что формирование и передача сигнала связаны не просто с работой индивидуального белка, а с функционированием сложной сети партнеров, в которую могут входить гомо- и гетерологичные лектиновые киназы, разнообразные гликаны, белки клеточные стенки, каждый из которых кодируется, как правило, большим мультигенным семейством с ярко выраженной дифференциальной экспрессией отдельных представителей. Взаимодействия в этой сети зависят от присутствия ионов металлов и величины pH. Вся эта многовариантность, вероятно, и создаёт ту сложную систему связей, которая характерна для функционирования живого. Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 20-64-47036), а также Госзадания № АААА-А18-118022790083-9.

Ключевые слова: лектин, рецептор-подобная киназа, клеточная стенка, гликоэrray, сигнальная сеть

PLANT LECTINS: DIVERSITY, PECULIARITIES, FUNCTIONS

Gorshkova T.A.^{1,2}

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics FRC KazSC RAS, Kazan, Russia

² Institute of Physiology Komi SC UB RAS, Syktывkar, Russia

Keywords: lectin domain, receptor-like kinase, cell wall, glycoarray, signaling network

МИТОХОНДРИИ РАСТЕНИЙ ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ

Грабельных О.И.^{1,2*}, Яковенко К.В.², Скрыбыкина С.Р.², Полякова Е.А.¹,
Корсукова А.В.¹, Степанов А.В.¹, Федотова О.А.¹, Забанова Н.С.^{1,2},
Любушкина И.В.^{1,2}, Побежимова Т.П.¹, Боровский Г.Б.¹, Войников В.К.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия

*E-mail: grolga@sifibr.irk.ru

Для выживаемости растительных клеток при гипо- и гипертермии важную роль играет их способность ограничивать развитие окислительного стресса (образование АФК) и сохранять функциональную активность митохондрий. Энергорассеивающие системы митохондрий (альтернативная оксидаза – АО, ротенон-нечувствительные НАД(Ф)-Н-дегидрогеназы – NDex и NDin и разобщающие белки, подобные термогенину животных, – UCP) участвуют в регуляции образования АФК и реализации защитной программы при стрессе. В то же время, кратковременное увеличение содержания АФК, включая пероксид водорода (H₂O₂), вероятно, является сигналом для индукции экспрессии защитных генов и повышения устойчивости растений. С использованием нетрансформированного картофеля и картофеля, трансформированного вектором без целевого гена и векторными конструкциями, несущими нативный и модифицированный ген глюкозооксидазы *gox Penicillium funiculosum*, нами изучены устойчивость пробирочных растений и функциональная активность митохондрий из свежесобранных и хранящихся на холоде (при 4°C) клубней. Глюкозооксидаза (GOX) катализирует реакцию окисления глюкозы с образованием H₂O₂. Обнаружено, что трансформанты обладали более высокой устойчивостью к низкотемпературному стрессу. Одним из объяснений повышения холодоустойчивости растений могло быть участие H₂O₂ в механизмах регуляции энергетического метаболизма в митохондриях. Показано, что экспрессия *gox* вызывала изменения в скоростях окисления изучаемых субстратов и степени сопряжения окисления и фосфорилирования в митохондриях, ингибировала потенциальную активность АО и индуцировала при хранении на холоде синтез NDex и UCP. Наиболее значимые изменения наблюдали в митохондриях из клубней у линии с самой высокой активностью GOX. Обсуждается роль H₂O₂ в механизмах роста и стрессоустойчивости растений, и его участие в дыхательном метаболизме растительной клетки.

Ключевые слова: окислительный стресс, пероксид водорода, неблагоприятная температура, глюкозооксидаза, дыхание, митохондрии

PLANT MITOCHONDRIA UNDER OXIDATIVE STRESS

Grabelnykh O.I.^{1,2*}, Yakovenko K.V.², Skrybykina S.R.², Polyakova E.A.¹,
Korsukova A.V.¹, Stepanov A.V.¹, Fedotova O.A.¹, Zabanova N.S.^{1,2},
Lyubushkina I.V.^{1,2}, Pobeshimova T.P.¹, Borovskii G.B.¹, Voinikov V.K.¹

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

² Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Keywords: oxidative stress, hydrogen peroxide, unfavorable temperature, glucose oxidase, respiration, mitochondria

ВРЕМЯРАЗРЕШЕННОЕ КАРТИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭМИССИИ В ФИТОЦЕНОЗАХ: ОТ ФЕНОСПЕКТРАЛЬНОЙ ГХ-МС-АУКСАНОМЕТРИИ ДО СЕТИ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Градов О.В.

ФИЦ ХФ РАН, Отдел динамики химических и биологических процессов, Москва, Россия

E-mail: o.v.gradov@gmail.com

Биология растений в эпоху глобальных изменений климата предполагает учёт не только экологического влияния последних, но и смещения феноспектральных стадий и ритмов / феноритмотипов растительности. Глобальный характер проблемы требует, как минимум, регионального, как максимум - распределенного сетевого анализа смещений феноспектров и феноритмотипов. Решение этой проблемы на уровне наблюдательной и описательной ботаники и фитоценологии не представляется возможным или же требует привлечения труда тысяч специалистов по всему миру, что невозможно по финансовым причинам и по причине отвлечения множества специалистов от содержательной науки, по сути, к задаче рутинного обеспечения мониторинга. Тем не менее, угрозы сельскому хозяйству и экологии человека (такие, как смещение во времени сезонов аллергических реакций и т.д.) требуют решения данной проблемы, в том числе, и для принятия мер по минимизации ущерба изменений климата народному хозяйству в целом. Поэтому надо использовать человеконезависимые инструментальные методы мониторинга, которые требуют привлечения лишь ограниченного числа инженеров / специалистов data mining

Нами предлагается использовать для этого подходы ГХ-ауксанометрии и ГХ-МС-ауксанометрии, обеспечивающие возможность феноспектрального мониторинга на базе флейво- и газохимических принципов с динамической автоматической идентификацией (распознаванием образов) молекулярной эмиссии, свойственной растениям в различные периоды или сезоны. В отличие от подхода, предлагавшегося в 2013-2015 гг., теперь является возможным создание полностью автоматизированных и управляемых по сети, передающих телеметрические данные на сервера станций феноспектрального анализа с высокой степенью независимости от оператора. Учитывая удешевление хроматографов и простых масс-спектрометров до сотен и тысяч долларов (с десятков и сотен тысяч), а также их микроминиатюризацию, представляется возможным создание сети подобных датчиков в боксах типа метеорологических телеметрических станций, распределенных по территориям, передающих феноспектральную информацию с координат для синтеза динамических феноспектральных карт. Также возможно создание автолабораторий или иных мобильных лабораторий для времяразрешенного анализа в отдельных пунктах.

Ключевые слова: феноспектральная динамика, феноритмотипы, ГХ-МС-ауксанометрия, ауксанометрия, глобальные изменения климата.

FROM PHENOSPECTRAL GC-MS-AUXANOMETRIC MONITORING TO THE NETWORK OF STATIONARY AND MOBILE MS-AUXANOMETRIC STATIONS

Gradov O.V.

FRC CP RAS, CHEMBIO Dept., Moscow, Russia

Keywords: phenospectral dynamics, phenorythmotype, auxanometry, GC-MS-auxanometry, global climate change.

РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ РАСТЕНИЕМ-ФИТОРЕМЕДИАНТОМ И МИКРООРГАНИЗМАМИ БИОПРЕПАРАТА В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Григориади А.С.^{1*}, Зобкова Н.В.², Сотникова Ю.М.¹

¹ Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

² Оренбургский государственный медицинский университет, г. Оренбург, Россия

*E-mail: GrigoriadiAS@uust.ru

Нефтяное загрязнение относится к одной из частых причин потери плодородия почвы. Несмотря на большой арсенал способов и приемов очистки земель, подвергнутых влиянию нефтяных углеводородов, вопрос возврата нарушенных территорий в хозяйственный оборот остается открытым из-за неполной ликвидации поллютанта. Одним из перспективных направлений является использование комплексных технологий, включающих специализированные биопрепараты и растения-фиторемианты. Такой комплекс позволяет дополнительно стимулировать в прикорневой зоне развитие микроорганизмов-деструкторов. В нашем исследовании проводилась оценка микробиологической активности в ризосфере растений *Helianthus annuus* L., произрастающих в условиях нефтяного загрязнения после обработки биопрепаратом «Ленойл». Модельный опыт проводили на образцах южного чернозема Оренбургской области и выщелоченного чернозема Республики Башкортостан с массовой долей нефти 4%. Для обработки почвы использовался препарат на основе углеводородокисляющих бактерий *Pseudomonas turukhanskensis* ИБ 1.1. (титр не менее $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г). Через 30 суток после обработки засеивали семена подсолнечника. Численность микроорганизмов разных эколого-физиологических групп определяли в зоне ризосферы 30-тисуточных растений.

В результате было показано, что Ленойл стимулировал рост микроорганизмов в ризосфере растения-фиторемианта в опыте с обоими типами почвы. Однако были выявлены отличия в активации разных экологических групп. Под влиянием препарата численность гетеротрофных и целлюлозоразрушающих микроорганизмов увеличилась в 3 раза, а число азотфиксаторов и микроскопических грибов снизилось в 1,5 и 5,5 раз по сравнению с загрязненными пробами чернозема южного соответственно. В тоже время обработка чернозема выщелоченного способствовала увеличению численности азотфиксаторов в 2 раза по сравнению с загрязненными образцами и не влияла на микромицеты. Во всех вариантах опыта на несколько порядков возрастала численность углеводородокисляющих бактерий. Изменение численности микроорганизмов косвенно подтверждает протекание интенсивной биодеструкции загрязнителя в почве.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда № 23-24-00358, <https://rscf.ru/project/23-24-00358/>.

Ключевые слова: *Helianthus annuus*, нефтяное загрязнение, Ленойл, чернозем южный и выщелоченный, ризосфера.

PLANT-MICROBIAL INTERACTIONS BETWEEN PLANT-PHYTOREMEDIANT AND MICROORGANISMS OF BIOLOGICAL PREPARATION UNDER THE INFLUENCE OF OIL POLLUTION

Grigoriadi A.S.^{1*}, Zobkova N.V.², Sotnikova Yu.M.¹

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

² Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

*E-mail: GrigoriadiAS@uust.ru

Keywords: *Helianthus annuus*, oil pollution, Lenoil, southern and leached chernozem, rhizosphere.

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФОТОСИНТЕЗА БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ (*BETULA PLATYPHYLLA*) В ЯКУТИИ

Григорьев М.Р.*, Максимов Т.Х., Максимов А.П.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: idosmarat@mail.ru

Эколого-физиологическим особенностям процесса фотосинтеза древесных растений в Сибири посвящено немало работ. В то же время, исследования по фотосинтезу широколиственных деревьев, а именно березы плосколистной в Якутии, почти не проводились. В связи с этим, нами проведены исследования: в 2018 году на лесной научной станции «Эльгээйи» ИБПК СО РАН в Юго-Восточной Якутии и в 2021 году на лесной научной станции «Спасская Падь» ИБПК СО РАН в Центральной Якутии.

Для изучения углекислотных и световых кривых использовали инфракрасный газоанализатор LI-6400 с версией ОС Open 6.1.4 (LI-COR, США), а для измерения суточного хода фотосинтеза LCI-SD (ADC BioScientific Ltd. Англия).

По нашим данным, максимальная интенсивность фотосинтеза у березы в Юго-Восточной Якутии составила $31,2 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при концентрации CO_2 равной 1500 ppm, углекислотное насыщения наблюдается в интервале от 480 до 700 ppm. И напротив, обнаружены в 1,6 раз ниже значения в Центральной Якутии. Так, максимальная величина ассимиляции углекислого газа березы Центральной Якутии была равна $19,6 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при концентрации CO_2 1500 ppm и углекислотное насыщение отмечалось при 500-600 ppm.

Средняя максимальная интенсивность фотосинтеза у березы плосколистной в Юго-Восточной Якутии при ФАР равной $1500 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ составила $10,2 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, плато светового насыщения достигалось при $400 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Тогда как, в Центральной Якутии этот показатель был ниже в 1,2 раза при значении $8,2 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в условиях ФАР $1500 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, световое насыщение наблюдалось с $500 \text{ мМоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Сезонный максимум фотосинтеза листьев березы в Юго-Восточной Якутии наблюдается в конце второй декады июня, что хорошо согласуется со скоростью утилизации продуктов фотосинтеза – триозофосфатов. И в противоположность, в Центральной Якутии заметная взаимосвязь сезонного максимума интенсивности фотосинтеза березы со скоростью утилизации триозофосфатов не прослеживается.

В результате сравнительных исследований нами выявлены большие различия в интенсивности фотосинтеза и утилизации продуктов фотосинтеза у южных и центральных популяций березы в криолитозоне. Березовые растения Якутии, как пионерные виды, обладают большими физиологическим потенциалом для повышения фотосинтетической продуктивности растений мерзлотных экосистем в связи с изменениями климата.

Ключевые слова: фотосинтез, CO_2 , ФАР, береза, ассимиляция

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE PROCESS OF PHOTOSYNTHESIS OF ASIAN WHITE BIRCH (*BETULA PLATYPHYLLA*) IN YAKUTIA

Grigorev M.R., Maximov T.Chr., Maksimov A.P.

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: photosynthesis, CO_2 , PAR, birch, assimilation

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАМ-ФЛУОРИМЕТРИИ И HS-ИМИДЖИНГА В ДОСИМПТОМНОЙ ДЕТЕКЦИИ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ В РАСТЕНИЯХ *NICOTIANA BENTHAMIANA*

Гришина А.И.*, Жаворонкова А.С., Агеева М.Н., Брилкина А.А.,
Воденев В.А.

Университет Лобачевского, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

*E-mail: 79159532707@yandex.ru

Фитопатогены являются одной из существенных причин потерь урожая. Используя сразу несколько методов визуализации параллельно, можно обнаружить очаги заражения при отсутствии видимых симптомов и принять своевременные меры борьбы с патогенами.

Целью данной работы является сравнение эффективности методов РАМ-флуориметрии и HS-имиджинга в досимптомной детекции вирусных инфекций в растениях.

Исследования проводились на четырёхнедельных растениях *Nicotiana benthamiana*, в которых наблюдали распространение вируса PVX, имеющего сшитый с белком оболочки флуоресцентный белок GFP. В качестве методов обнаружения инфекции применяли РАМ-флуориметрию, гиперспектральный имиджинг и RGB-фотографии. Замеры производили каждый день в одно и то же время в течение 10 дней с помощью IMAGING-PAM M-Series MINI и гиперспектрального датчика Specim IQ.

В неинкубированном (10 листе) листе табака регистрировали вызванные инфицированием изменения параметров флуоресценции хлорофилла (квантовый выход фотосистемы II (YII) и нефотохимического тушения флуоресценции (NPQ)), а также спектры отражения в здоровых и инфицированных частях листа.

В отличие от стационарных показателей, динамика YII и NPQ, обусловленная включением актиничного света в здоровых и зараженных участках листа, существенно различалась, начиная со вторых суток после проникновения вируса в неинкубированный лист.

Анализ спектров отражения показал, что имеются различия между заражённой и здоровой областью листьев. Различия обнаружены в нескольких участках спектра. Представляется оптимальным использование нормализованного отражательного индекса, чтобы избежать различий в абсолютной величине интенсивности сигнала. Сопоставление методов выявило, что РАМ является более чувствительным методом и с его помощью обнаружить вирусную инфекцию можно уже на 1-2 день после прихода вируса в лист.

Работа выполнена в ходе выполнения проекта НЦМУ «Центр фотоники» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, договор № 075-15-2022-293.

Ключевые слова: биотический стресс, РАМ-флуориметрия, HS-имиджинг, досимптомная детекция.

COMPARISON OF RAM-FLUORIMETRY AND HS-IMAGING IN PRE-SYMPTOM DETECTION OF VIRAL INFECTION IN PLANTS *NICOTIANA BENTHAMIANA*

Grishina A.I.*, Zhavoronkova A.S., Ageeva M.N., Brilkina A.A., Vodenev V.A.

Lobachevsky University, 603022, Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23

*E-mail: 79159532707@yandex.ru

Keywords: biotic stress, PAM-fluorimetry, HS-imaging, pre-symptomatic detection.

ПРОТЕОМНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ РОЛИ РОСТ-СТИМУЛИРУЮЩИХ РИЗОБАКТЕРИЙ В УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICON*) К ЗАСУХЕ

Гурина А.К.^{1*}, Фролова Н.В.², Горбач Д.П.¹, Лукашева Е.М.¹, Кузнецова А.В.¹, Шумилина Ю.С.², Алхаже К.², Билова Т.Е.^{1,2}, Орлова А.А.², Силинская С.А.², Черевацкая М.А.¹, Шапошников А.И.³, Сырова Д.С.³, Фролов А.А.², Белимов А.А.³

¹ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Университетская наб, 7/9, Санкт-Петербург, Россия

² Институт Физиологии Растений им. К.А. Тимирязева, РАН, Ботаническая ул. 35, Москва, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, ш. Подбельского, 3, Пушкин, Россия

*E-mail: gnastyak0@gmail.com

Широко известно, что засуха является одним из самых распространенных природных стрессоров, вызывающих существенные потери урожая значимых для человека сельскохозяйственных культур по всему миру. Один из применяемых в биотехнологии подходов для поддержания растений при стрессе является использование рост-стимулирующих микроорганизмов, к которым относится, в том числе, особая группа ризобактерий (PGPR). В основе молекулярных механизмов наблюдаемого эффекта может лежать удаление предшественника в биосинтезе этилена – 1-амино-1-циклопропанкарбоксилата (АЦК) – из ризосферы и корней растений бактериальным ферментом АЦК-деаминазой, способствующего, как следствие, снижению ингибирующего воздействия гормона на рост растений в условиях засухи. Ранее показано, что среди исследуемых бактерий инокуляция именно штаммом *P. brassicacearum* Am3, но не T8-1, являющимся мутантом по гену фермента, способна снижать негативные эффекты засухи на биомассу растений.

Для установления потенциальных метаболических и регуляторных путей, участвующих в реализации наблюдаемого эффекта, исследовалась динамика протеома побегов томата в условиях засухи и присутствия или отсутствия инокулянтов с помощью bottom-up подхода. После выделения тотальной фракции белка полученные протеолитические пептиды были проанализированы с помощью нанопоточной обратнофазовой хроматографии совмещенной в режиме он-лайн с Orbitrap Fusion Tribrid масс-спектрометром. С помощью биоинформатических платформ проведен статистический анализ и выявлены основные функциональные классы дифференциально экспрессирующихся белков, потенциально вовлеченных в исследуемые явления.

Работа поддержана проектами РНФ (19-16-00097) и Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2922-320 от 20.04.2022).

Ключевые слова: протеомика, засуха, PGPR, масс-спектрометрия, симбиоз

PROTEOMIC APPROACH IN STUDYING THE ROLE OF GROWTH-STIMULATING RHIZOBACTERIA IN DROUGHT TOLERANCE OF TOMATO (*SOLANUM LYCOPERSICON*) PLANTS

Gurina A.K.^{1*}, Frolova N.V.², Gorbach D.P.¹, Lukasheva E.M.¹, Kuznetsova A.V.¹, Shumilina Y.S.², Alhaje K.², Bilova T.E.^{1,2}, Orlova A.A.², Silinskaya S.A.², Cherevatskaya M.A.¹, Shaposhnikov A.I.³, Syrova D.S.³, Frolov A.A.², Belimov A.A.³

¹ Saint Petersburg State University, Universitetskaya emb., 7/9, St. Petersburg, Russia

² K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, 35 Botanicheskaya str., Moscow, Russia

³ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Pushkin 8, hwy. Podbelsky, 3, St. Petersburg, Russia

Keywords: proteomics, drought, PGPR, mass spectrometry, symbiosis

АРХИТЕКТУРА МЕЛАНИНОВОГО СЛОЯ ТАЛЛОМОВ ЛИШАЙНИКОВ ПРИ УФ-ИЗЛУЧЕНИИ

Даминова А.Г.^{1,2*}, Рассабина А.Е.¹, Хабибрахманова В.Р.¹, Беккет Р.П.³,
Минибаяева Ф.В.¹

¹ КИББ-обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

² Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия

³ School of Life Sciences, University of KwaZulu-Natal, Скоттсвилл, Южная Африка

*E-mail: daminova.ag@gmail.com

Лишайники представляют собой симбиотические организмы, обладающие феноменальной устойчивостью к действию неблагоприятных факторов среды. Среди защитных механизмов особую роль играют вторичные метаболиты, в том числе темные пигменты меланины. Меланизация корового слоя таллома лишайников предотвращает повреждение внутриклеточных компонентов при воздействии УФ-радиации и света высокой интенсивности. Однако информация об архитектуре меланинового слоя талломов лишайников крайне ограничена. Целью данной работы было исследование морфологии и топографии меланизированного верхнего кортекса таллома *Lobaria pulmonaria*. На поперечных срезах талломов обнаружен слой пигментированных клеток, проявляющих чувствительность к качественным реакциям на меланин. С помощью СЭМ визуализированы грибные гифы с утолщенными клеточными стенками, содержащие в полости меланин-подобные гранулы. С помощью ТЭМ были обнаружены стадии меланизации клеток корового слоя таллома. Методом АСМ проанализированы топография и наномеханические свойства меланинсодержащего слоя кортекса талломов лишайников и обнаружено уменьшение уровня адгезивности меланинсодержащих клеток. С помощью биохимического анализа показана прочная связь меланинов с компонентами клеточной стенки грибных гиф, в особенности с хитином и 1,4-β-глюканами. Таким образом, комплексный подход позволил расширить представление о структуре и свойствах меланинов лишайников *in situ*.

Работа проведена в рамках выполнения госзадания Казанского института биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН.

Ключевые слова: лишайники, УФ-индуцированная меланизация, меланин, топография, микроскопия

ARCHITECTURE OF THE MELANIC LAYER OF LICHEN THALLI UNDER UV-RADIATION

Daminova A.G.^{1,2}, Rassabina A.E.¹, Khabibrakhmanova V.R.¹, Beckett R.P.³,
Minibayeva F.V.¹

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia

² Kazan Federal University, Kazan, Russia

³ School of Life Sciences, University of KwaZulu-Natal, PBag X01, Scottsville 3209, South Africa

Keywords: lichen, UV-induced melanization, melanin, topography, microscopy

ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ

Данилова Е.Д. *, Ефимова М.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: nusy.l.d@gmail.com

Одним из основных негативных факторов окружающей среды, подавляющих рост и продуктивность растений, является засоление почв. Наиболее распространено засоление почв, вызываемое хлоридом натрия; оно же оказывает выраженный негативный эффект на растения. Применение соединений гормональной природы для повышения продуктивности растений в условиях солевого стресса является эффективной и безопасной технологией. Особый интерес представляют brassinosteroids, обладающие рядом преимуществ перед другими фитогормонами. В литературе часто описывается применение 24-эпибрассинолида в качестве протекторного соединения, однако его синтетический предшественник 24-эпикастастерон также обладает защитными свойствами.

Исследования были проведены на растениях ячменя *Hordeum vulgare* L. сорта Биом. Растения выращивали в грунте с добавлением перлита в течение трех суток при температуре $19 \pm 2^\circ\text{C}$ в фитотроне с 16-ти часовым фотопериодом. Далее, растения переносили на жидкую питательную среду по Blamey (pH 5,5) с низким содержанием фосфора, разделяя на четыре варианта: (1) контроль, (2) 60 мМ NaCl, (3) 60 мМ NaCl+10 нМ 24-эпикастастерон (ЭПК), (4) 60 мМ NaCl+0,1 нМ ЭПК. Концентрации хлорида натрия и ЭПК были подобраны в предварительных экспериментах. Эффект гормона оценивали по его способности снижать негативное влияние NaCl на рост и накопление фотосинтетических пигментов.

Интенсивное засоление влияет на протекание всех основных физиологических процессов у растений. При воздействии 60 мМ хлорида натрия отмечено значительное снижение массы как надземной, так и подземной частей растений ячменя, уменьшение длины корня, а также падение уровня фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов).

Нами показано, что кетонсодержащий brassinosteroid ЭПК в питательной среде частично снижал негативное воздействие хлорида натрия на рост растений ячменя. Отмечено, что более эффективной была концентрация 0,1 нМ ЭПК.

Исследование поддержано проектом Российского научного фонда (№ 23-44-10019).

Ключевые слова: brassinosteroids, хлоридное засоление, ячмень.

INFLUENCE OF BRASSINOSTEROIDS ON THE SALT RESISTANCE OF BARLEY PLANTS

Danilova E.D. *, Efimova M.V.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

*E-mail: nusy.l.d@gmail.com

Keywords: brassinosteroids, chloride salinity, barley.

ЖАСМОНАТЫ ПОДАВЛЯЮТ УСТОЙЧИВОСТЬ ПШЕНИЦЫ К *BOTRYTIS CINEREA*

Дегтярёв Е.А.^{1*}, Пиголев А.В.¹, Мирошниченко Д.Н.^{1,2}, Савченко Т.В.¹,
Фролов А.А.^{3,4}

¹ Пушчинский научный центр биологических исследований, Институт фундаментальных проблем биологии, Российской Академии Наук», ул. Институтская 2, 142290, г. Пушкино, Московская область, Россия;

² Филиал Института биоорганической химии РАН им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова, Проспект Науки 6, 142290, г. Пушкино, Московская область, Россия;

³ Кафедра биоорганической химии, Лейбницкий институт биохимии растений, 06120 Галле (Заале), Германия;

⁴ Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений им. Тимирязева, Российская Академия Наук, 127276 Москва, Россия;

*E-mail: evkras99@yandex.ru

12-Оксофитодиеноатредуктаза — фермент, участвующий в биосинтезе фитогормонов жасмонатов, которые считаются основными регуляторами устойчивости растений к биотическим стрессовым факторам, особенно к некротрофным патогенам. В данной работе показано, что у трансгенных линий гексаплоидной хлебной пшеницы и тетраплоидной пшеницы эммер, сверхэкспрессирующих ген *12-ОКСОФИТОДИЕНОАТРЕДУКТАЗЫ-3* из *Arabidopsis thaliana*, снижена устойчивость к некротрофному фитопатогенному грибу *Botrytis cinerea*, в то время как у самих растений арабидопсиса эндогенно синтезируемые и экзогенно применяемые жасмонаты оказывают сильное защитное действие против *Botrytis cinerea*.

Метилжасмонат, добавленный в питательную среду оказал очень умеренное прямое влияние на рост *Botrytis cinerea* на картофельно-декстрозном агаре, и только очень высокая концентрация метилжасмоната — 10 мМ оказала сильное ингибирующее действие на рост патогена. Экзогенная обработка метилжасмонатом листьев гексаплоидной и тетраплоидной пшеницы подавляет устойчивость к *Botrytis cinerea* и индуцирует образование хлороза. Концентрация экзогенного метилжасмоната 100 мкМ и выше вызывает пожелтение листьев даже в отсутствие патогена, что согласуется с данными о роли жасмонатов в регуляции старения листьев.

На пятые сутки после заражения срезанных листьев пшеницы конидиями *Botrytis cinerea* в трансгенных линиях был выявлен повышенный уровень жасминовой кислоты. Причём уровень фитогормона в листьях гексаплоидного сорта Саратовская 60 и его трансгенных линиях был выше, чем в листьях тетраплоидного сорта Руно и трансгенных линиях, созданных на его основе.

Таким образом, данная работа демонстрирует негативную роль жасмонатной системы в устойчивости гексаплоидной и тетраплоидной пшеницы к *Botrytis cinerea* и выявляет ранее неизвестные реакции, опосредованные жасмонатами.

Ключевые слова: жасмонаты, 12-оксофитодиеноат редуктаза, хлебная пшеница, пшеница эммер, *Botrytis cinerea*, устойчивость

JASMONATES REDUCE WHEAT RESISTANCE TO *BOTRYTIS CINEREA*

Degtyaryov E.A.^{1,*}, Pigolev A.V.¹, Miroshnichenko D.N.^{1,2}, Savchenko T.V.¹,
Frolov A.A.^{3,4}

¹ Pushchino Scientific Center for Biological Research, Institute of Fundamental Problems of Biology, Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya St., 142290, Pushchino, Moscow Region, Russia;

² Branch of M.M. Shemyakin and Yu.A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Prospect Nauki 6, 142290, Pushchino, Moscow Region, Russia;

³ Department of Bioorganic Chemistry, Leibniz Institute of Plant Biochemistry, 06120 Halle (Saale), Germany;

⁴ Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science, 127276 Moscow, Russia

Keywords: jasmonates, 12-oxophytodienoate reductase, bread wheat, emmer wheat, *Botrytis cinerea*, resistance

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

Дейнеко Е.В.^{1,2*}

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

² ФГБНУ «Федеральный научный центр институт цитологии и генетики СО РАН»,

Новосибирск, Россия

E-mail: deineko@bionet.nsc.ru

С применением метода CRISPR/Cas9 геномного редактирования исследователи получили возможность не только целенаправленно модифицировать различные гены, определяющие хозяйственно-ценные признаки у растений, но и использовать этот подход в качестве инструмента для выявления вклада того или иного гена в проявление сложных признаков, таких как, например, устойчивость к стрессовым факторам. Приведены наиболее яркие примеры применения CRISPR/Cas9 подхода для улучшения тех или иных характеристик различных видов растений путем нокаутов генов-мишеней или нокинов касет экспрессии, включающих гены, изменяющие биосинтез важных растительных метаболитов, полученные зарубежными группами исследователей. Обсуждаются собственные результаты по направленному изменению функционирования генов, задействованных в передаче внешних сигналов, обеспечивающих ответные реакции растения на стрессовые воздействия с применением *Arabidopsis thaliana* в качестве модели. Основываясь на достаточно высокой степени гомологии ключевых генов, участвующих в обеспечении устойчивости растений к стрессовым факторам, полученные на модельном растении данные могут послужить основой для дальнейшего развития работ в этом направлении с привлечением важных сельскохозяйственных культур растений. Приведены примеры использования метода геномного редактирования для улучшения характеристик культур клеток растений как биопродукторов фармацевтически ценных рекомбинантных белков. Рассматриваются некоторые методические вопросы, связанные с геномным редактированием растений – проблемы химеризма, получение гомозигот и биаллельных нокаут-мутаций, нокаутирование регуляторных и структурных генов, а также особенности репарации в районах интеграции касет экспрессии при нокинах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет 2030, №НУ 2.1.22 ЛМУ).

Ключевые слова: геномное редактирование, CRISPR/Cas, нокауты генов-мишеней

MODERN METHODS OF GENOME EDITING IN SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF PLANT PHYSIOLOGY

Deineko E.V.^{1,2*}

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Keywords: genome editing, CRISPR/Cas, target gene knockouts

ИНДУЦИРОВАННЫЙ МОРФОГЕНЕЗ КЛЕЩЕВИНЫ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

Демиденко Д.В.*, Варламова Н.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ВНИИСБ), Москва, Россия

*E-mail: Frankenvini1998@mail.ru

Клещевина (*Ricinus communis* L.) – перспективная культура, которая может служить потенциально ценным кормовым объектом для сельскохозяйственных животных благодаря наличию целого ряда высокопитательных веществ. Однако ее использование ограничивается токсическими свойствами белка рицина, который является смертельно опасным при попадании в организм животного. В связи с этим возникает необходимость получения сортов с пониженным содержанием этого белка или с его полной редукцией как методами классической селекции, так и посредством генно-инженерных манипуляций.

В настоящей работе была проведена предварительная оценка регенерационной способности побегов из различных эксплантов растений клещевины сорта Занзибар Грин, что является обязательным подготовительным этапом для осуществления генетической трансформации. Для индукции процессов морфогенеза использовали три типа эксплантов, полученных от асептических ювенильных растений: черешки настоящих листьев, фрагменты стеблей и 7-ми суточных гипокотилей. Экспланты культивировали на питательной среде МС с добавлением 1 мг/л зеатина, 0,1 мг/л ИУК и 5 мг/л AgNO₃. Выбор состава среды был осуществлен на основании предварительных экспериментов. Частоту регенерации побегов оценивали после 42 суток культивирования эксплантов. Каждый вариант опыта был осуществлен в трехкратной повторности. В результате установлено, что образование побегов происходило из каллусной ткани, частота формирования которой варьировала от 81 до 100%. Наибольшая частота регенерации побегов (74,4%) была отмечена при культивировании 7-ми суточных гипокотилей. При этом частота регенерации побегов из других эксплантов была достоверно ниже (2,6 и 27,8% для черешков настоящих листьев и фрагментов стеблей соответственно). Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой регенерационной способности побегов из ювенильных фрагментов гипокотилей клещевины, эффективность которой позволяет перейти к следующему этапу – генетической трансформации.

Ключевые слова: клещевина, эксплант, непрямой органогенез побегов

IN VITRO MORPHOGENESIS OF CASTOR BEAN

Demidenko D.V., Varlamova N.V.

All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology (ARRIAB), Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow, Russia

Keywords: castor bean, explant, indirect shoot organogenesis

АФК/Ca²⁺-СИГНАЛЬНЫЙ ХАБ КЛЕТОК ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ: МЕХАНИЗМ РАБОТЫ И ФУНКЦИИ

Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Растения способны воспринимать внешние факторы посредством широкого спектра рецепторов, передающих информацию на систему вторичных посредников, таких как цитоплазматический Ca²⁺, циклические нуклеотиды и другие вещества. Некоторые рецепторы непосредственно сопряжены с Ca²⁺-проницаемыми ионными каналами и могут очень быстро кодировать информацию в форме мощных и разнообразных по форме флуктуаций цитоплазматического Ca²⁺. В то же время, практически любое внешнее воздействие, в особенности, стрессовое, не обходится без генерации активных форм кислорода (АФК). Этот процесс развивается также быстро, как и Ca²⁺-сигналы, в ответ на те же факторы, что наводит на мысль об их общей («единой») природе. Более того, АФК способны активировать повышение уровня Ca²⁺ в цитоплазме, а цитоплазматический Ca²⁺ стимулировать работу важнейших ферментов синтеза АФК – НАДФН-оксидаз. В течение последних двух десятилетий нами и другими авторами развивается концепция так-называемого АФК/Ca²⁺-хаба – распределительного сигнального центра в плазматической мембране растительной клетки, который управляет разнообразными по силе и качеству внешними сигналами. Данный хаб, вероятно, несет ответственность как за неспецифические, так и за специфические стрессовые ответы, а также за оплодотворение, включение комплексных программ развития и рост растительной клетки удлинением. В представленной презентации детально рассматриваются компоненты данного АФК/Ca²⁺-хаба, аспекты их работы и критические функции в клеточной сигнализации у растений.

Ключевые слова: АФК, ионные каналы, Ca²⁺-сигнализация, регуляция роста, стресс

ROS-Ca²⁺ SIGNALLING HUB OF PLANT CELLS: MECHANISM AND FUNCTIONS

Demidchik V.V.

Belarusian State University, Minsk, Belarus

Keywords: ROS, ion channels, Ca²⁺-signaling, growth regulation, stress

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ БЫСТРОГО ВЕТВЛЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ

Демченко К.Н.* , Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: demchenko@binran.ru

В ходе эволюции наземных растений, на протяжении более чем 450 миллионов лет, развивалась пластичность ветвления корневых систем, появлялись различные формы и стратегии ветвления корня. Способность корней к ветвлению в разнородной по своему составу почве в значительной степени определила успешность колонизации суши растениями, в том числе и в засушливых регионах. Несмотря на разнообразие и значительное различие в типах ветвления корневых систем, существует ряд общих молекулярных механизмов и регуляторных генетических модулей, определяющих компетенцию отдельных клеток корня к образованию бокового корня. В докладе будут рассмотрены пути формирования этих генетических модулей в ходе эволюции споровых и семенных растений, а также их становление у предковых форм. Особое внимание будет уделено роли ауксина в единой координации ветвления корня, а также малым сигнальным пептидам (RALF, CEP) в формировании системной регуляции этого процесса. У большинства растений боковые корни возникают выше зоны растяжения, однако существует группа семейств (Тыквенные, Гречишные, водные однодольные и др.), чьи представители инициируют примордии бокового корня непосредственно в меристеме родительского. Такой тип инициации бокового корня приводит к быстрому ветвлению корневых систем. Ключевым фактором при обоих типах инициации бокового корня является ауксин. На каждом этапе предопределения судьбы клеток корня он последовательно запускает различные регуляторные генетические модули. Состав этих генетических модулей и различия в регуляции при различных типах образования бокового корня будет критически рассмотрен. Кроме того, мы попытаемся определить, как эти знания могут способствовать направленному изменению сельскохозяйственных культур.

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания (№ 0126-2018-0025).

Ключевые слова: корневые системы, генетическое редактирование, огурец, транскрипционные факторы, тыквенные.

MOLECULAR MECHANISMS OF REGULATION OF FAST BRANCHING ROOT SYSTEMS

Demchenko K.N., Kiryushkin A.S., Ilyina E.L.

Komarov Botanical Institute, Saint Petersburg, Russia

Keywords: cucumber, cucurbits, gene editing, root system, transcription factors.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ СТРЕССА ЗАСУХИ *IN VITRO* ДЛЯ АССОЦИИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ И РИЗОБАКТЕРИЙ

Денисова А.Ю.^{1*}, Ткаченко О.В.¹, Евсеева Н.В.², Бурыгин Г.Л.^{1,2},
Каргаполова К.Ю.¹, Широков А.А.², Позднякова Н.Н.²

¹ ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

² Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия

*E-mail: alena.denisova1408@yandex.ru

Рост-стимулирующие ризобактерии способны оказывать протекторное действие на растения при различных видах стресса. Целью работы было исследование влияния комбинации двух штаммов ризобактерий на физиолого-морфологические и биохимические параметры микроклонов картофеля в условиях засухи, моделируемой *in vitro*. Микрорастения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский, культивируемые в условиях *in vitro*, инокулировали суспензией бактерий *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 в концентрации 10⁶ кл/мл. Стрессовые условия создавали путем добавления в жидкую питательную среду полиэтиленгликоля (Mг=6000 а.е.). Оценку параметров растений проводили на 7-ые сутки действия стресса и на 7-ые сутки репарации. Наличие бактерий на растениях определяли методом обрастания корней, иммунодиффузии и иммунофлуоресценции в сочетании с конфокальной микроскопией.

Инокуляция бактериями в оптимальных условиях способствовала увеличению длины побега и количества корней, а также сырой массы побегов. Стимулирующего действия бактерий на морфометрические показатели растений в условиях стресса установлено не было. После 7-и суток репарации инокулированные растения превысили контроль по длине побега и количеству корней. При этом в условиях отрицательного осмотического давления (-0,3 МПа) и на этапе репарации в микрорастениях отмечено снижение уровня малонового диальдегида (МДА), перекиси водорода, и повышение активности антиоксидантных ферментов (каталазы и пероксидазы). Бактерии обнаруживались на поверхности или внутри корней, в том числе после действия полиэтиленгликоля, что говорит об их способности выживать в ассоциации с растениями при осмотическом стрессе. Результаты проведенных исследований в модельных условиях показывают, что протекторная роль ризобактерий в условиях стресса засухи заключается в регулировании про/антиоксидантной системы растений, что способствует лучшему восстановлению растений после стресса.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, *in vitro*, стресс засухи, ризобактерии

MODELING OF DROUGHT STRESS CONDITIONS *IN VITRO* FOR THE ASSOCIATION OF POTATO PLANTS AND RHIZOBACTERIA

Denisova A.Yu.^{1*}, Tkachenko O.V.¹, Evseeva N.V.², Burygin G.L.^{1,2}, Kargapolova K.Yu.¹, Shirokov A.A.², Pozdnyakova N.N.²

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia

Keywords: *Solanum tuberosum*, *in vitro*, drought stress, rhizobacteria

ПЕПТИДНЫЕ ГОРМОНЫ РАСТЕНИЙ

Додуева И.Е.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: Wildtype@yandex.ru

Гены, кодирующие пептидные фитогормоны разных групп, выявлены у всех изученных растений начиная с зеленых водорослей. Как правило, пептидные фитогормоны транслируются в виде белка-предшественника, который в большинстве случаев состоит из N-концевой сигнальной последовательности, варибельного участка и функционального C-концевого домена, соответствующего последовательности зрелого пептида. Созревание сигнальных пептидов обычно включает в себя 1). протеолитический процессинг предшественника, в результате которого от него остается только основной функциональный домен, и 2). модификации определенных аминокислот в составе функционального домена. Зрелый сигнальный пептид обычно транспортируется в апопласт, где взаимодействует со своими рецепторами, которые, как правило, относятся к семейству серин-треониновых рецепторных киназ с лейцин-богатыми повторами, индуцируя внутриклеточный сигнальный путь. Пептидные фитогормоны выполняют разнообразные функции в развитии растений: от контроля деления клеток и органогенеза до регуляции ответов на факторы окружающей среды и защиты от патогенов. Пептидные фитогормоны, также выявлены за пределами растительного царства – у определенных бактерий и грибов (как правило, фитопатогенных), а также у нескольких групп нематод, паразитирующих на корнях (у них «нерастительные» пептидные фитогормоны были выявлены впервые и охарактеризованы лучше всего). Согласно имеющимся данным, способность синтезировать белковые эффекторы, имитирующие пептидные фитогормоны, развивалась независимо у разных групп организмов, взаимодействующих с растениями, при этом во многих случаях, вероятно, имел место горизонтальный перенос генов. В докладе мы постараемся охватить наиболее интересные примеры изученных на сегодняшний день пептидных фитогормонов.

Ключевые слова: пептидные фитогормоны, меристемы, органогенез растений, взаимодействие с фитопатогенами, молекулярная мимикрия

PLANT PEPTIDE HORMONES

Dodueva Irina

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Keywords: peptide phytohormones, meristems, plant organogenesis, plant interaction with phytopathogens, molecular mimicry

ВЫЯВЛЕНИЕ СПЕКТРА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОТИВОВ СВЯЗЫВАНИЯ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ В CHIP-SEQ ДАННЫХ *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

Долгих В.А.^{1,2*}, Землянская Е.В.^{1,2}, Левицкий В.Г.^{1,2}

¹ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

*E-mail: dolgikh@bionet.nsc.ru

Цис-регуляторный код – это набор правил, которые определяют взаимодействия транскрипционных факторов (ТФ) с ДНК и реализацию этих взаимодействий в регуляции транскрипции. Наряду с нуклеотидной последовательностью сайта связывания ТФ существуют дополнительные уровни регуляции транскрипции, что существенно усложняет реконструкцию цис-регуляторного кода. Развитие высокопроизводительных методов полногеномного профилирования регуляторных элементов и экспрессии генов позволяет продвинуться в решении этой задачи, при этом весьма востребованными оказываются методы анализа больших данных, получаемых с помощью рутинных техник, таких как ChIP-seq и RNA-seq. Несмотря на доступность инструментов для реконструкции отдельных аспектов регуляторных механизмов на основании таких данных, до сих пор не существует программных решений, позволяющих осуществлять комплексный анализ механизмов регуляции транскрипции одновременно на нескольких уровнях, что делает разработку таких средств актуальной задачей.

В данной работе нами разработан программный конвейер SFmotif для комплексного изучения механизмов регуляции активности генов транскрипционными факторами на основании анализа данных ChIP-seq и RNA-seq. Мы применили этот конвейер для исследования механизмов регуляции транскрипционного ответа на фитогормон этилен у модельного растения *Arabidopsis thaliana*. В результате были выявлены четыре структурных класса сайта связывания ТФ EIN3, ключевого регулятора транскрипционного ответа на этилен. Показано, что структурные варианты сайта связывания EIN3 по-разному влияют на функционирование этого ТФ. Предсказана роль транскрипционных факторов, связывающих G-бокс, в модуляции EIN3-зависимой транскрипции в ответе на этилен. Помимо этого, с помощью конвейера SFmotif выявлены несколько отличающихся стратегий, реализуемых различными фитогормонами для транскрипционной регуляции экспрессии генов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 20-14-00140.

Ключевые слова: EIN3, ChIP-seq, RNA-seq, транскрипционные факторы

IDENTIFICATION OF THE SPECTRUM OF FUNCTIONAL MOTIFS FOR TRANSCRIPTION FACTOR BINDING IN CHIP-SEQ DATA FROM *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

Dolgikh V.A.^{1,2*}, Zemlyanskaya E.V.^{1,2}, Levitsky V.G.^{1,2}

¹ Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Keywords: EIN3, ChIP-seq, RNA-seq, transcription factors

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НУТА И ЧИНЫ

Донская М.В.^{*}, Донской М.М.

ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур», г. Орел, Россия

*E-mail: nmaria_87@mail.ru

Разработка и применение приемов, ориентированных на получение экологически чистой продукции растениеводства, является важнейшей задачей современного сельского хозяйства. В отличие от минеральных удобрений, наносящих значительный вред окружающей среде, применение микробиологических препаратов позволяет реализовать потенциальную биологическую продуктивность сортов и снизить хемогенную нагрузку на окружающую среду. Предпосевная инокуляция семян препаратами на основе специфичных азотфиксирующих бактерий для нута *Mesorhizobium ciceri* (штамм 527) и для чины *Rhizobium leguminosarum* *bv. viciae* (штамм 2803), полученными из ВНИИСХ микробиологии (г. Санкт-Петербург), способствовала формированию активного симбиотического аппарата, увеличению биомассы растений, повышению содержания белка и урожайности зерна. Исследования, проведенные в 2020-2022 гг. в ФНЦ ЗБК, показали, что у сортов нута и чины в вариантах с микробными препаратами формировалось на 30 - 60 % больше клубеньков на корнях, чем в контроле. При этом их масса увеличилась на 28 - 68 % к контролю. Максимальное увеличение биомассы растений наблюдалось у сорта чины Славянка +35,1 % к контролю. Наибольшее повышение семенной продуктивности отмечалось у сорта нута Аватар + 25,9 % к контролю. В среднем за три года в вариантах с инокуляцией урожайность зерна нута была на уровне 2,16 - 2,72 т/га, прибавка составила 0,33-0,34 т/га. Применение микробиологических препаратов в разные годы повышало содержание белка в зерне изученных сортов нута и чины на 0,7 - 2,4 % по сравнению с контролем.

Ключевые слова: нут, чина, сорт, штамм, ризобии.

APPLICATION OF MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS IN CULTIVATION OF CHICKPEA AND GRASS PEA

Donskaya M.V., Donskoi M.M.

Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, Orel, Russia

Keywords: chickpea, grass pea, variety, strain, rhizobia.

ВОЗРАСТНЫЕ И АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИСТЬЕВ ЗИМНЕ-ЗЕЛЕННОГО ТРАВЯНИСТОГО РАСТЕНИЯ *AJUGA REPTANS* L. В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

Дымова О.В.^{*}, Захожий И.Г., Головки Т.К.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

*E-mail: dymovao@ib.komisc.ru

Формирование и функционирование фотосинтетического аппарата (ФСА) находится под общим контролем растительного организма и постоянно меняющихся условий среды. Исследовали возрастные и адаптивные изменения пигментного комплекса, спектральных свойств и состояния ФСII листьев парциальных побегов летне-зимне-зеленого травянистого многолетника *Ajuga reptans* L. (живучка ползучая) в связи с перезимовкой. Появляющиеся в мае-июне розеточные листья новой генерации быстро накапливали фотосинтетические пигменты и формировали ФСА с высокой потенциальной (F_v/F_m) и реальной квантовой эффективностью ФСII (Φ_{PSII}). Осенью (сентябрь-октябрь) содержание хлорофиллов составляло 10 мг/г сухой массы, величина F_v/F_m равнялась 0.8 отн.ед., а уровень Φ_{PSII} при ФАР 130 мкмоль квантов / (м²с) около 0.7 отн. ед. Перезимовавшие листья содержали вдвое меньше фотосинтетических пигментов, накапливали значительное количество антоцианов, характеризовались низкой фотохимической активностью и высоким уровнем дезоксидации пигментов виолаксантинового цикла. С возобновлением активной вегетации растений (май) отмечали частичное восстановление пигментного фонда и репарацию ФСА перезимовавших листьев, о чем свидетельствует увеличение показателей квантового выхода ФСII. Завершение жизненного цикла листьев сопровождалось снижением Φ_{PSII} до 0.5 отн. ед. и резким увеличением тепловой диссипации энергии возбуждения (NPQ) до 0.9 отн. ед. Сезонные изменения спектральных свойств листьев и индексов фотохимического отражения в целом соответствовали динамике содержания пигментов и эффективности использования света при фотосинтезе. Полученные результаты указывают на существенную трансформацию структурно-функциональной организации ФСА в онтогенезе зимующих листьев. Генетически закрепленное свойство зимне-зеленых растений сохранять листья основано на способности их ФСА к восстановлению функциональной активности после шокового воздействия перезимовки, чему способствует комплекс адаптивных и защитных механизмов.

Финансирование – из средств федерального бюджета (№№122040600021-4)

Ключевые слова: *Ajuga reptans* L., зимне-зеленые листья, фотосинтетические пигменты, антоцианы, спектральные индексы, фотосистема II

AGE AND ADAPTIVE CHANGES IN THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF LEAVES IN WINTER GREEN HERBACEOUS PLANT *AJUGA REPTANS* L. IN THE NATURAL CONDITIONS OF THE TAIGA ZONE

Dymova O. V.^{*}, Zakhochiy I. G., Golovko T. K.

Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia;

*E-mail: dymovao@ib.komisc.ru

Keywords: *Ajuga reptans*, winter-green leaves, photosynthetic pigments, anthocyanins, spectral indices, photosystem II

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКЛЕТОЧНЫХ БЕЛКОВ SVX44 И SVX45 *DICKEYA SOLANI* НА ИММУННЫЕ ОТВЕТЫ РАСТЕНИЙ

Дьяконова А.А., Тендюк Н.В., Петрова О.Е., Горшков В.Ю.

Казанский институт биохимии и биофизики - обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»,
ул. Лобачевского 2/31, г. Казань, РФ;
E-mail: diakonova27@mail.ru

Дикейи и пектобактерии являются опасными фитопатогенными пектолитическими бактериями, вызывающими такие заболевания растений как мягкая гниль и черная ножка. Основными факторами вирулентности этих микроорганизмов являются полисахарид-деградирующие ферменты, а также ряд других экстраклеточных белков, функции которых пока не охарактеризованы. К таким факторам вирулентности относятся Svх-подобные белки. В нашей лаборатории показано, что белок Svх пектобактерий является экстраклеточной цинк-зависимой металлопротеазой. Однако насколько схожи по свойствам и функциям эти белки у разных родов пектолитических бактерий оставалось неизвестным. Этот вопрос вызывает дополнительный интерес ввиду того, что у некоторых видов рода *Dickeya* в геномах присутствует сразу два гена, кодирующих Svх-подобные белки, в то время как у пектобактерий этот ген в геноме всегда присутствует в единственном экземпляре. В связи с этим целью данной работы было получить очищенные препараты двух рекомбинантных Svх-подобных белков *Dickeya solani* IPO2222 и оценить их влияние на иммунные ответы растения-хозяина. Так же как и Svх белок пектобактерий очищенные препараты обоих рекомбинантных Svх-подобных белков *Dickeya solani* обладали протеазной активностью. Данными белковыми препаратами обработали листья растений табака и выяснили, что инокуляция одного из Svх-гомологов *Dickeya solani* (Svх44), так же как и Svх белка пектобактерий, приводит к индукции восприимчивых этилен-опосредуемых ответов растений, а инокуляция второго гомолога (Svх45) – нет. При этом инфильтрация обоих рекомбинантных белков в листья растений табака, предобработанные элиситором хитооктаозой, приводит к снижению уровня перекиси водорода, что свидетельствует о иммуносупрессорных свойствах исследуемых белков.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-14-00194.

Ключевые слова: Svх-подобные белки, *Dickeya*, иммунные ответы, восприимчивые ответы

EFFECT OF EXTRACELLULAR PROTEINS SVX44 AND SVX45 OF *DICKEYA SOLANI* ON PLANT IMMUNE RESPONSES

Diakonova A.A., Tendiuk N.V., Petrova O.E., Gorshkov V.Y.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, 420111
Kazan, Russia

Keywords: Svх-like proteins, *Dickeya*, immune responses, susceptible responses

РОЛЬ ФИТОЦИАНИНА В РАЗВИТИИ ТАЛЛОМА *MARCHANTIA POLYMORPHA*: КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЕКТОРА ДЛЯ НОКАУТИРОВАНИЯ ГЕНА MPPC С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ CRISPR/CAS9

Дядькина И.В., Валеева Л.Р.*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

*E-mail: ilonadiadkina@gmail.com

Семейство генов фитоцианина (PC) представляет собой специфические для растений медьсодержащие белки бактерий и растений, основной функцией которых является участие в переносе электронов. Кроме того, показано, что PC также участвуют в других внутриклеточных процессах, таких как дифференцировка и реорганизация клеток, прорастание пыльцевых трубок, развитие органов верхушечных почек и соматический эмбриогенез. Однако эволюция регуляторных путей, в которые могут быть вовлечены PC, еще недостаточно изучена. Исследование PC как одних из факторов развития многоклеточных растений позволит обнаружить новые данные о системности и взаимосвязи регуляции роста, развития и метаболизма растений. Перспективной моделью для изучения молекулярной биологии, в частности, роли PC, является печеночник *Marchantia polymorpha* - растение из группы, занимающей важное место в эволюции наземных растений.

Долгосрочной целью данного исследования был анализ роли PC в развитии таллома мха-печеночника *Marchantia polymorpha*. Последовательности, кодирующие направляющую РНК, встраивали в вектор pMpGE_Ep03 под контролем промотора *M. polymorpha* MpU6-1pro. Полученную последовательность MpU6: sgRNA субклонировали в бинарный вектор pMpGE011 для трансформации растений. Полученные в результате клонирования рекомбинантные бинарные вектора с интегрированными последовательностями MpU6-pro: sgRNA далее трансформировали в *Agrobacterium tumefaciens* GV2660 методом химической трансформации.

Таким образом, мы получили 3 рекомбинантных штамма *A. tumefaciens* с интегрированными бинарными векторами MpU6-pro: sgRNA для нокаутирования гена PC (Mapoly0037s0115) с помощью метода редактирования генома CRISPR/Cas9. Последующая разработка нокаутных растений позволит выяснить роль PC в процессах развития у многоклеточных растений.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ ПС-3391.2021.4 по программе ПРИОРИТЕТ-2030 Казанского федерального университета.

Ключевые слова: фитоцианин, многоклеточная организация, *Marchantia polymorpha*, CRISPR/Cas9

THE ROLE OF PHYTOCYANIN IN THE DEVELOPMENT OF THE *MARCHANTIA POLYMORPHA* THALLUS: CONSTRUCTION OF A VECTOR TO KNOCKOUT THE MPPC GENE USING THE CRISPR/CAS9 SYSTEM

Diadkina I.V., Valeeva L.R.

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Keywords: phytocyanin, multicellular, *Marchantia polymorpha*, CRISPR/Cas9

РИЗОБАКТЕРИИ И ИХ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДЫ В РЕГУЛИРОВАНИИ ПРО/АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В РАСТЕНИЯХ *IN VITRO* И *IN VIVO*

Евсеева Н.В.^{1*}, Егоренкова И.В.¹, Ткаченко О.В.², Денисова А.Ю.²,
Трегубова К.В.¹, Позднякова Н.Н.¹, Бурьгин Г.Л.¹

¹ Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН» (ИБФРМ РАН), Саратов, Россия

² ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, инженерии и биотехнологии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

*E-mail: evseeva_n@ibppm.ru

Функционирование и регуляция про/антиоксидантных систем в растениях является одним из основных механизмов их стрессоустойчивости, в частности индуцируемой ризобактериями. Исследованы механизмы антиоксидантной защиты микроклонов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский из коллекции картофеля *in vitro* ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ при инокуляции консорциумом ризобактерий *Azospirillum baldaniorum* Sp245, *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 (10⁶ кл/мл) в условиях *in vitro*, и при обработке проростков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Саратовская 29 в лабораторных опытах *in vivo* ризобактериями *Paenibacillus polymyxa* ССМ 1465 и их экзополисахаридами (ЭПС) из коллекции ризосферных микроорганизмов ИБФРМ РАН (<http://collection.ibppm.ru>). Осмотический стресс создавали путем добавления в среду культивирования полиэтиленгликоля (М.м. ~6000 Да). Оценивали содержание малонового диальдегида (МДА), активность антиоксидантных ферментов (пероксидазы и каталазы) в листьях и морфологические параметры после стресса и репарации для микроклонов картофеля и проростков пшеницы. Показано, что бактериализация микроклонов картофеля приводила к повышению активности каталазы при стрессе и репарации. Обработка проростков пшеницы *P. polymyxa* ССМ 1465 (10⁶ кл/мл) и их ЭПС (0,2 мг/мл) сопровождалась усилением активности пероксидазы при стрессе и репарации. Это, по-видимому, способствовало снижению уровня МДА в листьях микроклонов картофеля и проростков пшеницы после стресса и репарации, что приводило к смягчению действия окислительного стресса на растения и их быстрому восстановлению после стресса. Полученные результаты расширяют представление об эффектах действия микросимбионтов и их ЭПС на растения в условиях осмотического стресса *in vitro* и *in vivo* и позволяют рекомендовать использование исследуемых нами бактерий и их метаболитов в составе комбинированных биоудобрений.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., *Triticum aestivum* L., фитостимулирующие ризобактерии, экзополисахариды, антиоксиданты, стресс

RHIZOBACTERIA AND THEIR EXOPOLYSACCHARIDES IN THE REGULATION OF THE PRO/ANTIOXIDANT SYSTEM IN PLANTS *IN VITRO* AND *IN VIVO*

Evseeva N.V.^{1*}, Yegorenkova I.V.¹, Tkachenko O.V.², Denisova A.Yu.²,
Tregubova K.V.¹, Pozdnyakova N.N.¹, Burygin G.L.¹

¹ Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the RAS (IBPPM RAS), Saratov, Russia

² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Keywords: *Solanum tuberosum* L., *Triticum aestivum* L., plant-growth-promoting rhizobacteria, exopolysaccharides, antioxidants, stress

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ *LILIUM PILOSIUSCULUM* (FREYN) MISCZ.

Егоров Ю.А. *, Охлопкова Ж.М.

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

*E-mail: egorov.y.a@s-vfu.ru

Исследование редких и исчезающих видов растений имеет теоретическое и практическое значение с точки зрения сохранения биоразнообразия и экологической стабильности локальных территорий. Одним из редких видов растений Якутии является лилия кудреватая (*Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz), которая представляет собой многолетнее травянистое луковичное растение семейства Лилейные (*Liliaceae*). Основной причиной сокращения популяций и численности данного вида растения является разрушение естественной среды обитания в результате вырубки лесов, промышленного освоения территорий, пожаров и неконтролируемого сбора ввиду декоративности растения.

К инновационным методам сохранения редких и исчезающих видов растений относится технология микроклонального размножения. Этот метод позволяет получить генетически идентичные растения из одной материнской растительной ткани. Однако, несмотря на преимущества и возможности микроклонального размножения возникает вопрос о генетической стабильности этих растений.

Целью исследования является изучение генетической стабильности полученных растений-регенерантов *Lilium pilosiusculum*. В качестве сравнительных образцов были отобраны листья микроклонов и дикорастущих растений лилии кудреватой, произрастающих на территории Нюрбинского района Якутии. Выделенные ДНК анализировали на спектрофотометре и флюориметре, RAPD-анализ проводили с неспецифическими праймерами, амплифицируемые образцы подвергали электрофоретическому разделению и анализу на гель-документирующей системе. Полученные данные подвергали программной обработке и оценивали путем сравнения.

Результаты исследования показали высокую генетическую стабильность лилии кудреватой в рассмотренных образцах дикорастущего растения и полученных микроклональным размножением растений-регенерантов. Это позволило перевести растения-регенеранты на следующий этап адаптации в условиях открытого грунта.

Исследование выполнено в СВФУ за счет гранта РНФ №22-14-20031, <https://rscf.ru/en/project/22-14-20031>.

Ключевые слова: *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz), микроклоны, ДНК, RAPD-анализ

STUDY OF THE GENETIC STABILITY OF REGENERATED PLANTS *LILIUM PILOSIUSCULUM* (FREYN) MISCZ.

Egorov Y.A., Okhlopkova Z.M.

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Keywords: *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz), microclones, DNA, RAPD analysis

САЛИЦИЛАТ-ИНДУЦИРУЕМЫЕ ХИТИНАЗА-ПОДОБНЫЕ БЕЛКИ КОРНЕЙ ГОРОХА

Егорова А.М.

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*E-mail: egorova@kibb.knc.ru

Защитные белки растений, главным образом, индуцируются в ответ на действие патогенов. Ранее нами было показано, что один из ключевых факторов системного иммунитета – салициловая кислота (СК) индуцирует в корнях гороха белки, относящиеся к гликозид-гидролазам сем. 18. В результате биоинформационного анализа в геноме гороха было обнаружено 15 последовательностей содержащих идентифицированные ранее в СК-индуцируемых белках пептиды и относящиеся к GH18- хитиназа-подобному суперсемейству белков. Все выявленные белки содержат замены аминокислот в консервативном DxDxE хитин-связывающем домене, важном для проявления хитинзной активности. Транскриптомный анализ показал, что через 12 ч. действия СК повышается экспрессия всех 15 выявленных генов и наиболее значительно индуцировалась экспрессия одного из них. Через 24 ч. экспрессия пяти генов продолжала повышаться, тогда как экспрессия других – снижалась, что наблюдалось и через 72 ч. действия СК. Это говорит о том, что данные гены и кодируемые ими белки являются белками раннего ответа и быстро индуцируются после начала действия СК. Оценка хитиназной активности на примере белков в кислой области, идентифицированных нами с использованием водорастворимого субстрата гликоль хитина показала, что они не гидролизуют хитин, но сохраняли способность связываться с ним. Кроме того, белки секретировались в апопласт. Анализ влияния очищенных СК-индуцируемых хитиназа-подобных белков на рост патогенного гриба *Fusarium oxysporum* показал, что на третьи сутки они ингибируют его рост на 20% по сравнению с контрольным вариантом. Именно экспрессия и синтез этих белков являлась наибольшей по сравнению с другими защитными белками, индуцируемыми в корнях гороха под действием СК, что наряду с данными об их секреции в апопласт и ингибирующем действии на рост патогенного гриба *Fusarium oxysporum* говорят об их роли в реализации защитного ответа корней растений гороха.

Идентификация белков проводилась при финансовой поддержке Гос. Задания ФИЦ КазНЦ РАН (№ 122011800135-6). Характеристика белков проводилась за счет гранта РФФИ 20-016-00238.

Ключевые слова: салициловая кислота, *Pisum sativum*, хитиназа-подобные белки, фитоиммунитет

SALICYLIC ACID INDUCED CHITINASE-LIKE PROTEINS IN PEA ROOTS

Egorova A.M.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics FRC KazSC of RAS, Kazan, Russia

Keywords: salicylic acid, *Pisum sativum*, chitinase-like proteins, phytoimmunity

ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕФИЦИТУ КИСЛОРОДА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕАЭРАЦИИ

Емельянов В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: bootika@mail.ru

В природных экосистемах и агроценозах растения часто оказываются в условиях избыточного увлажнения или затопления, которые приводят к дефициту кислорода (гипоксии), а длительное присутствие застойных вод способствует развитию полного отсутствия кислорода (аноксии). Возвращение нормальных условий аэрации, например при уходе паводковых вод, активизирует процессы постгипо/аноксического окисления. Подобное воздействие называется реаэрацией или реоксигенацией. Способность адаптироваться к кислородной недостаточности связана с наличием у растений различных приспособлений, многие из которых опосредованы существенными изменениями обмена веществ. Метаболическое профилирование с помощью ГХ-МС выявило существенные изменения в метаболомах исследованных растений при недостатке кислорода. У пшеницы (неустойчивое растение) аноксия приводила к уменьшению спектра дисахаридов и накоплению пирувата, лактата, пролина и ГАМК. У риса (устойчивое растение) накапливались сукцинат, fumarat, пролин, ГАМК и аланин, а также эфиры жирных кислот, что может быть следствием активации липидного обмена. Сукцинат, аланин и ГАМК являются важными анаэробными метаболитами, образующимися в анаэробных путях реокисления НАД(Ф)Н. Перераспределение значимости сахаров и органических кислот выявлено у обоих растений, что определялось активацией гликолиза, брожений и альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н. Краткосрочная реоксигенация почти не оказывала воздействия на метаболомы, которые группировались вместе с аноксическими, особенно при продолжительных сроках аноксии. Длительная реаэрация способствовала сдвигам метаболомов в сторону нормы, особенно у риса. Уровень сложных сахаров, аминокислот, стероидов и жирных кислот возрастал, а анаэробных метаболитов - уменьшался. Сходные с рисом изменения метаболома были продемонстрированы и для дикорастущих растений-гидрофитов, обитающих в условиях дефицита кислорода.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 22-24-00484).

Ключевые слова: метаболомика, кислородная недостаточность, реаэрация, пшеница, рис, гидрофиты

PECULIARITIES OF METABOLIC ADAPTATION OF PLANTS TO OXYGEN DEFICIENCY AND SUBSEQUENT REAERATION

Yemelyanov V.V.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Keywords: metabolomics, oxygen deficiency, re-aeration, wheat, rice, hydrophytes

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАННОЙ СРЕДЫ НА ПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ СУСПЕНЗИОННЫХ КУЛЬТУР КЛЕТОК РАСТЕНИЙ

Еремеева Е.А.¹, Носов А.В.^{1*}, Титова М.В.¹, Фоменков А.А.¹,
Клычников О.И.^{1,2}

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия;

*Email: alexv.nosov@mail.ru

Стимуляция кондиционированной средой (КС) пролиферации культивируемых *in vitro* клеток растений показана в ряде исследований. Данный эффект может быть обусловлен, в частности, белками и пептидами КС. В данной работе исследовали влияние белков и пептидов КС на пролиферацию суспензионных культур клеток растений.

Для оценки пролиферации суспензионных культур клеток была разработана тест-система, основанная на измерении флуоресценции анилинового синего, связанного с каллозой срединных пластинок. Метод окрашивания каллозы анилиновым синим ранее не применялся для определения пролиферативной активности.

Было показано, что добавление КС культур клеток *Medicago sativa* и *Arabidopsis thaliana* к культуре клеток *M. sativa* при пересадке приводит к повышению количества каллозы и, следовательно, к повышению уровня пролиферации. Эффект наблюдался при добавлении 20% и 40% КС и не зависел от вида культуры, от которой была получена КС.

Добавление КС после прогревания при 95°C ингибировало пролиферацию, в то время как диализованная КС и фракция пептидов с молекулярной массой менее 3 кДа активировали пролиферацию.

Масс-спектрометрический анализ КС суспензионных культур клеток *Solanum lycopersicum*, *Arabidopsis thaliana* и *Medicago sativa* показал, что значительная часть экзопротеома представлена белками клеточной стенки и внеклеточным белкам. Функциональная аннотация показала, что обнаруженные белки отвечают за перестройку клеточной стенки, поддержание редокс статуса и первичный метаболизм.

Ключевые слова: Пролиферация, культуры клеток растений, каллоза, тест-система, секретируемые белки, секретируемые пептиды

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CONDITIONED MEDIUM ON THE PROLIFERATIVE ACTIVITY OF PLANT CELL SUSPENSION CULTURES

Eremeeva E.A.¹, Nosov A.V.^{1*}, Titova M.V.¹, Fomenkov A.A.¹, Klychnikov O.I.^{1,2}

¹ Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, K.A. Timiryazev RAS, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia;

*Email: alexv.nosov@mail.ru

Keywords: Proliferation, plant cell suspension cultures, callose, test system, secreted proteins, secreted peptides

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У ТАБАКА ПРИ ЗАСОЛЕНИИ И В ПОСТСТРЕССОВЫЙ ПЕРИОД

Ермошин А.А.*, Тугбаева А.С., Галишев Б.А., Киселёва И.С.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Alexander.Ermoshin@urfu.ru

Особенностью солевого стресса является его двойственное действие – избыток NaCl является токсичным и вызывает осмотический стресс.

Модельные растения табака подвергали действию растворов 25 и 50 мМ NaCl в течение 20 дней, контроль – H₂O. Затем часть растений продолжали поливать раствором соли, другую – дистиллированной водой. На 40 день эксперимента оценивали показатели роста и состав фенольных соединений в разных органах.

NaCl вызывал уменьшение высоты растений на 35–43%, сырой массы на 20–49% в зависимости от действующей концентрации. В постстрессовый период происходило восстановление растений до размеров контрольной группы (96 и 84% от длины в контроле).

Наибольшее содержание фенольных соединений обнаружено в листьях табака в контроле (1,6 мг/г сыр веса), наименьшее – в стебле (0,3 мг/г). Обработка табака 25 мМ NaCl вызывала значительное повышение содержания фенольных соединений в корнях и стебле, но не влияла на их содержание в листьях, что является проявлением барьерной функцией корня и стебля. При 50 мМ NaCl содержание фенольных веществ в листе и корне ниже, чем в контроле и в варианте с 25 мМ NaCl. Вероятно, действие 50 мМ вызывает развитие стресса выше уровня, к которому могут адаптироваться растения. При снятии действия стрессора, не зависимо от концентрации соли и от органа растения, содержание фенольных соединений возрастало и превосходило уровень в контроле. Этот эффект является частью механизма восстановления растений.

Методом HPLC-MS проведен поиск 13 фенольных соединений, участвующих в процессах лигнификации или выполняющих антиоксидантную функцию. Показано, что во всех исследованных вариантах присутствует кверцитин и салициловая кислота. Рутин отсутствует в контроле и появляется в ответ на стрессовое воздействие. При засолении ресвератрол, галловая, феруловая, ванилиновая, сириговая и коричная кислоты не обнаружены.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-24-00817, <https://rscf.ru/project/22-24-00817/>.

Ключевые слова: табак, засоление, фенольные соединения

THE QUALITATIVE AND QUANTITATIVE COMPOSITION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN TOBACCO PLANTS UNDER SALINIZATION AND DURING POSTSTRESS PERIOD

Ermoshin A.A.*, Tugbaeva A.S., Galishev B.A., Kiseleva I.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: Alexander.Ermoshin@urfu.ru

Keywords: tobacco, salinity, phenolic compounds.

ФИТОГОРМОН КИНЕТИН И СВОБОДНЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА

Ершова А.Н.¹, Стерлигова И.А.²

¹ Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, Россия

² Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

E-mail: profershova@mail.ru

Образование свободных жирных кислот связано с превращением фосфолипидов в клетках растений. Накопление свободных жирных кислот отмечается при действии различных неблагоприятных факторов среды, включая и дефицит кислорода. Исследовали влияние кинетина на свободные жирные кислоты проростков кукурузы при действии условий кратковременной (3-24 час.) гипоксии и среды высоких концентраций диоксида углерода. Свободные жирные кислоты выделяли после перевода в калийные соли. Методом газожидкостной хроматографии было показано, что среди свободных жирных кислот проростков присутствуют практически те же, которые характерны и для фосфолипидов, за исключением олеиновой (C_{18:1}). Доминирующими среди насыщенных была пальмитиновая (C_{16:0}), а ненасыщенных - пальмитолеиновая (C_{16:1}) кислоты. Обработка кинетином вызывала изменения содержания, но не затрагивала качественного состава свободных жирных кислот. В условиях гипоксии и, особенно при действии CO₂-среды, наблюдали накопление ненасыщенных C_{16:1} и линолевой (C_{18:2}) кислот, что привело к увеличению уровня ненасыщенности (u/s) с 0,57 до 0,60 и 0,79. Предобработка растений кинетином препятствовала наблюдаемым изменениям и практически полностью предотвращала накопление C_{18:2} кислоты. При этом содержание моноеновой C_{16:1} кислоты увеличивалось, что восстанавливало показатель u/s до уровня аэрируемых растений. Отмечено, что стабилизирующее действие кинетина на содержание отдельных свободных жирных кислот проявлялось у проростков, находящихся как в условиях обычной гипоксии, так и среде высоких концентраций диоксида углерода. Это доказывает, что действие высоких концентраций CO₂ на растения является легко обратимым и снимается обработкой кинетином или возвращением в условия нормальной аэрации. Эти результаты подтверждают полученные нами ранее данные, что фитогормон кинетин способен тормозить распад фосфолипидов и их перекисное окисление, что повышает устойчивость проростков к действию гипоксии и CO₂-среды.

Ключевые слова: кинетин, свободные жирные кислоты, кукуруза, гипоксия, CO₂-среда

PLANT HORMONE KINETINE AND FREE FATTY ACIDS IN PLANTS UNDER OXYGEN DEFICIT

Ershova A.N.¹, Sterligova I.A.²

¹ Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia

² Voronezh State University, Voronezh, Russia

Keywords: kinetin, free fatty acids, maize, hypoxia, CO₂-media

СМЕЩЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ПУТИ ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА В РАДИАЛЬНОМ РЯДУ ЗАБОЛОННАЯ - ЯДРОВАЯ ДРЕВЕСИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПРИМЕРЕ *PINUS SYLVESTRIS* L.

Ершова М.А. *, Галибина Н.А., Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Тарелкина Т.В., Афошин Н.В.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: maria_ershova_karnc@mail.ru

При формировании ядровой древесины (HW) у *Pinus* spp. паренхимные клетки заболонной древесины (SW) претерпевают различные изменения: исчезновение накопленного крахмала, снижение содержания влаги, отложение экстрактивных веществ и программируемую клеточную смерть (ПКС). Считается, что образование экстрактивных веществ сосны начинается в транзитной зоне (TZ), но может затрагивать и внутренние слои SW.

В период камбиального роста и в период покоя мы изучили ферменты вторичного метаболизма, катализирующие ключевые реакции фенилпропаноидного пути, биогенеза лигнина, образования гидролизуемых и конденсированных танинов, образования стильбенов в градиенте климатических условий (средняя подзона тайги – северная подзона тайги – граница тайги и лесотундры). В TZ мы обнаружили экспрессию генов, кодирующих фенилаланинаммиаклиазу (*PAL*), халконфлавоноизомеразу (*CHI1-3*), флаванон-3-гидроксилазу (*F3H*) и стильбенсинтазу (*STS*). У растений сосны из зоны перехода тайги в лесотундру, по сравнению с северной подзоной тайги, не все из перечисленных генов экспрессировались, и уровень их экспрессии был ниже. В SW были обнаружены транскрипты только для генов *PAL*, *CHI1*, *STS*, количество их было существенно ниже, по сравнению с TZ. Фенилаланинаммиаклиаза является ключевым ферментом фенилпропаноидного пути, преобладающего в период подготовки к покою. Халконизомераза и стильбенсинтаза – ферменты фенилпропаноидного пути, первый обеспечивает образование гидролизуемых и конденсированных танинов, второй – биосинтез основного компонента экстрактивных веществ сосны стильбена – пиносильвина. В период активного камбиального роста мы не обнаружили в «SW – TZ» паттерны экспрессии вышеперечисленных генов. Что, вероятно, объясняется тем, что синтез экстрактивных веществ – энергоемкий процесс, чье начало связано с прекращением камбиального роста, в ходе которого основная часть сахаров тратится на флоэмо- и ксилогенез.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-14-00204.

Ключевые слова: ядровая древесина, *Pinus sylvestris*, фенилпропаноидный путь, фенилаланинаммиаклиаза, халконфлавоноизомераза, стильбенсинтаза

THE CHANGE OF BIOCHEMICAL PROCESSES ON THE SECONDARY METABOLISM WAY IN THE RADIAL SERIES OF SAPWOOD - HEARTWOOD DEPENDING ON THE GROWING CONDITIONS FOR *PINUS SYLVESTRIS* L.

Ershova M.A., Galibina N.A., Nikerova K.M., Moshchenskaya Ya.L., Korzhenevsky M.A., Tarelkina T.V., Afoshin N.V.

Forest Research Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: Heartwood, *Pinus sylvestris*, phenylpropanoid pathway, phenylalanine ammonia lyase, chalconflavonoid isomerase, stilbensintase

АНТИОКСИДАНТЫ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

Жигачева И.В.¹, Генерозова И.П.²

¹ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва Россия

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва Россия

E-mail: zhigacheva@mail.ru

В условиях стресса наблюдается избыточная генерация АФК, которая может привести к перекисидации липидов мембран и набуханию митохондрий. Следствием такого набухания является высвобождение апоптогенных белков из межмембранного пространства в цитоплазму и активация митохондриального пути апоптоза. Предполагается, что антиоксиданты, снижая интенсивность ПОЛ, могут играть роль адаптогенов (регуляторов роста и развития растений). Объектом исследования были выбраны N- 2-этил-6-метил-3-гидроксипиридин ацетилцистеинат, калий фенозан (3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил пропионат калия) и натрий анфен (1-карбокси-1 - (N-метиламид) - 2- (3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил пропионат натрия). Целью исследования являлось изучение эффектов исследуемых антиоксидантов на функциональное состояние митохондрий проростков гороха (*Pisum sativum* L), сорт Флора-2 в условиях дефицита воды (ДВ). ДВ имел следствием 1,5-3-кратный рост интенсивности перекисного окисления липидов в мембранах митохондрий, 25-28% снижение максимальных скоростей окисления НАД-зависимых субстратов и 30% снижение эффективности окислительного фосфорилирования. Обработка семян 10^{-6} М натрий анфена, 10^{-13} М калий фенозана или 10^{-6} М N-2-этил-6-метил-3-гидроксипиридин ацетилцистеината предотвращала изменения функционального состояния митохондрий и предупреждала угнетение роста корней и побегов в условиях ДВ. Предотвращая активацию ПОЛ, антиоксиданты, по-видимому, способствовали сохранению функционального состояния митохондрий, что, вероятно, обеспечивало устойчивость растений к действию стрессовых факторов.

Ключевые слова: стресс, антиоксиданты, митохондрии, ПОЛ, АФК.

ANTIOXIDANTS AS PLANT GROWS REGULATORS

Zhigacheva I.V.¹, Generozova I.P.²

¹ N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow Russia

² Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow Russia

Keywords: stress, antioxidants, mitochondria, LPO, ROS.

НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА КАК АДАПТОГЕНЫ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ ПШЕНИЦЫ

Жукова К.В.* , Дерябин А.Н., Соколов А.О., Венжик Ю.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук,
Москва, Россия.

*E-mail: kabardaewa@yandex.ru

Поиск адаптогенов, повышающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды, представляет большой интерес как для фундаментальной науки, так и для сельскохозяйственной практики. В этом направлении могут быть использованы наночастицы золота (ЗНЧ), которые быстро и легко синтезируются химическим способом, и в микродозах нетоксичны для растений, животных и людей. В данном исследовании мы оценили влияние ЗНЧ на холодоустойчивость, а также ряд биохимических и молекулярных параметров, важных для ее формирования, на примере пшеницы.

В качестве объекта исследования использовали 10-дневные проростки яровой пшеницы сорта Злата, выращенные при температуре 22°C в контролируемых условиях среды и затем закаленные при 4°C в течение 7 сут. Коллоидные растворы ЗНЧ средним диаметром 15 нм получали цитратным методом (Дыкман, Хлебцов, 2019). Семена замачивали в растворе ЗНЧ в концентрации 10 мкг/мл на 24 ч, после чего выращивали на дистиллированной воде. Холодоустойчивость оценивали методом прямого промораживания. Фотосинтетические пигменты определяли по Wellburn (1994). Содержание растворимых сахаров рассчитывали по общепринятым методикам (Nasamiga, 1967). Уровень экспрессии генов измеряли методом ПЦР в режиме реального времени.

В результате исследования установлено, что ЗНЧ усиливают холодоустойчивость как незакаленных, так и закаленных проростков. При этом отмечена интенсификация роста, увеличение содержания хлорофиллов, каротиноидов и сахарозы в листьях пшеницы. Одновременно зафиксировано увеличение уровня экспрессии ряда генов, участвующих в работе фотосинтетического аппарата, а также генов холодового ответа. Сделан вывод, что ЗНЧ могут быть использованы как адаптогены, способствующие повышению стрессоустойчивости растений.

Работа поддержана грантом РФФИ № 23-26-00054 (<https://rscf.ru/project/23-26-00054/>).

Ключевые слова: *T. aestivum*, холодоустойчивость, наночастицы золота, фотосинтетический аппарат, растворимые осмолиты, *Cor*-гены.

GOLD NANOPARTICLES AS ADAPTOGENS INCREASING THE COLD TOLERANCE OF WHEAT

Zhukova K.V., Deryabin A.N., Sokolov A.O., Venzhik Yu.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Keywords: *T. aestivum*, cold tolerance, gold nanoparticles, photosynthetic apparatus, compatible osmolytes, *Cor*-genes.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РОСТИНГИБИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЦИНКА У ГИПЕРАККУМУЛЯТОРА *NOCCAEA CAERULESCENS* И ИСКЛЮЧАТЕЛЯ *MICROTHLASPI PERFOLIATUM*

Жуковская Н.В.^{*}, Иванов В.Б., Кожевникова А.Д., Лунькова Н.Ф.,
Лыкова Т.Ю., Серегин И.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений
им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: nataliazhukovskaya@mail.ru, ecolab-ipp@yandex.ru

Изучено действие сульфата цинка (Zn) в концентрациях 2000, 3000, 4000 мМ у гипераккумулятора *Noccaea caerulescens* и 5, 10, 20 и 40 мМ у исключателя *Microthlaspi perfoliatum* на рост главного корня в течение 3, 6 и 9-ти суток инкубации на растворе цинка. В присутствии Zn рост главного корня ингибировался у обоих видов. Сходное примерно 50%-ное ингибирование роста корня наблюдалось при концентрации Zn в среде в 150 раз более высокой для *N. caerulescens*, чем для *M. perfoliatum*. Клеточный анализ показал, что ингибирование роста корня было обусловлено как замедлением деления клеток, так и растяжения. Уже через 3 суток после начала воздействия Zn наблюдалось уменьшение митотического индекса (МИ) у обоих видов. За счет снижения относительной скорости растяжения клеток длина закончивших рост клеток у обоих видов существенно уменьшалась, тогда как число растягивающихся клеток практически не изменялось. Нарушение митотической активности со временем приводило к значительному уменьшению числа клеток в меристеме в ряду и уменьшению длины меристемы. При сходном ингибировании роста корня продолжительность клеточных циклов и продолжительность роста клеток растяжением была примерно одинакова у обоих видов и существенно выше, чем в контроле. В совокупности полученные данные свидетельствуют о том, что у гипераккумулятора Zn в большей степени влияет на деление клеток, а у исключателя в ингибирование роста больший вклад вносит торможение растяжения клеток корня. Несмотря на то, что Zn в разной степени может влиять на деление и растяжение клеток у разных видов, специфического торможения деления или растяжения клеток нами не наблюдалось, что согласуется с данными, полученными нами ранее на проростках *Zea mays* при действии разных металлов, за исключением Ni [Иванов и др., 2003].

Исследования выполнены за счет средств РФФИ (проект № 21-14-00028).

Ключевые слова: цинк, рост, *Noccaea caerulescens*, *Microthlaspi perfoliatum*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANISM OF ZINC-INDUCED GROWTH INHIBITION IN HYPERACCUMULATOR *NOCCAEA CAERULESCENS* AND EXCLUDER *MICROTLASPI PERFOLIATUM*

Zhukovskaya N.V., Ivanov V.B., Kozhevnikova A.D., Lunkova N.F., Lykova T.Y.,
Seregin I.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Keywords: zinc, growth, *Noccaea caerulescens*, *Microthlaspi perfoliatum*

ПРОЯВЛЕНИЕ НУКЛЕОТИПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ РОСТЕ И РАЗВИТИИ РАСТЕНИЙ

Жуковская Н.В., Лунькова Н.Ф., Иванов В.Б.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: Ivanov_vb@mail.ru

Нуклеотипическим эффектом называют зависимость протекания разных процессов от содержания ДНК в геноме. Имеется много данных о том, что существенен не только набор генов, кодируемых ДНК, но и эффект других фракций ДНК, которые не кодируют гены, но влияют на их активность. В докладе обсуждается зависимость от голоплоидного содержания ДНК (C_{val}) продолжительности митотических циклов (T) в меристемах корней и минимальной продолжительности жизненного цикла. Нами были проанализировано 207 видов растений. Зависимость T от C_{val} по-разному проявляется у большинства видов и представителей порядков *Asparagales* и *Liliales*, у которых C_{val} и T много выше, чем у остальных видов. У последних зависимость T от C_{val} резко проявляется у диплоидов с числом хромосом <17 и не проявляется у видов с числом хромосом >17 и у полиплоидов. В порядках *Asparagales* и *Liliales* эта зависимость более резко проявляется у диплоидов с числом хромосом <17 (более заметно, чем в основной группе) и значительно слабее у диплоидов с числом хромосом >17 и у полиплоидов. Также нами были проанализированы данные для 5038 видов трав, собранные в последнем издании базы Plant C-values. Было проанализировано, как зависит доля однолетников от суммы однолетних и многолетних видов от C_{val} , плоидности и числа хромосом. C_{val} в среднем ниже у однолетников, чем многолетников, что рассматривается как одно из проявлений нуклеотипического эффекта. Впервые было изучено как эти зависимости проявляются с повышением плоидности и числа хромосом, в том числе и у диплоидов. У однодольных, в отличие от двудольных, нуклеотипический эффект ослабевает с увеличением плоидности. С увеличением числа хромосом доля однолетних диплоидных видов уменьшается, причем у однодольных гораздо более резко, чем у двудольных. При разных значениях плоидности максимум отношения числа однолетников к числу многолетников наблюдается при разных значениях C_{val} . Остается неясным, почему эти проявления различаются у однодольных и двудольных. Таким образом, однолетность коррелирует с особенностями генома и имеет значение не только величина C_{val} , но также плоидность и число хромосом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания (номер темы №122042700044-6).

Ключевые слова: растение, рост, развитие, нуклеотипический эффект

NUCLEOTYPIC EFFECT DURING GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS

Zhukovskaya N.V., Lunkova N.F., Ivanov V.B.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Keywords: plants, growth, development, nucleotypic effect

РОЛЬ ГЕНОВ *TADREB* И *TAWRKY* В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ

Заикина Е.А. *, Кулуев Б.Р.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

*E-mail: evisheva@yandex.ru

Абиотические стрессы являются ключевыми факторами, влияющими на урожай сельскохозяйственных культур. Экспрессия генов *TaDREB1* и *TaWRKY19* индуцируются низкими температурами, засолением и засухой. Целью работы было изучение влияния генов мягкой пшеницы *TaDREB1* и *TaWRKY19* в формировании засухо- и холодоустойчивости. Для этого определяли уровни экспрессии генов при воздействии засухи и гипотермии у образцов мягкой пшеницы, используемых в селекции в условиях Предуральской степной зоны. Растения подверглись засухе – 5 и 10 суток и гипотермии при +5°C 20 часов, а также 0°C - 4 часа. Тотальная РНК из молодых листьев пшеницы была выделена при помощи тризола. В работе были использованы следующие сорта мягкой пшеницы: Зауральская жемчужина, Архат, Тулайковская 108, Башкирская 28, Омская 36, Экада 113, а также две линии местной селекции Л43706 и Л43466. Растения выращивали в теплице при +18°C при естественном освещении. Через 30 суток выращивания опытные образцы подверглись стресс-обработке. Высокая транскрипционная активность гена *TaDREB1* сохранялась в течение всего эксперимента. При засухе наибольший рост транскрипционной активности гена *TaDREB1* наблюдался у образцов Л43706, Л43466 и Башкирская 28. В образцах Л43706, Архат, Экада 113, Омская 35 уровень экспрессии *TaDREB1* достоверно возрастал в опыте с низкой температурой от +5°C к 0°C. Длительная засуха оказывала стимулирующее действие на транскрипционную активность гена *TaWRKY19*, так в образцах Л43706, Зауральская жемчужина, Тулайковская 108, Омская 36, Экада 113 исследуемый ген экспрессировался интенсивнее по сравнению с нормальными условиями. При снижении температуры в образцах Л43466, Зауральская жемчужина, Тулайковская 108, Омская 36, Экада 113, Омская 35 происходило увеличение уровня экспрессии гена *TaWRKY19*. При воздействии низких положительных температур *наиболее активно экспрессировался* ген *TaDREB1*, а при воздействии засухи *TaWRKY19*.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, транскрипционные факторы, засуха, гипотермия.

THE ROLE OF THE *TADREB* AND *TAWRKY* GENES IN FORMING THE RESISTANCE OF BREAD WHEAT PLANTS TO ABIOTIC STRESS

Zaikina E.A. *, Kuluev B.R.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa, Russia

*E-mail: evisheva@yandex.ru

Keywords: *Triticum aestivum*, transcription factors, drought, hypothermia.

СОМАКЛОНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОРФОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ ЛИСТОВЫХ ЭКСПЛАНТОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА RHODODENDRON ПРИ НЕПРЯМОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ.

Зайцева Ю.Г.* , Асбаганов С.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

*E-mail: ulianna_zaitseva@mail.ru

Культура листовых эксплантов – это уникальная модель для решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач. Иницилируя процессы морфогенеза, в зависимости от поставленных задач, можно сохранить исходный генотип растения или, наоборот, способствовать возникновению соматоклональной изменчивости, тем самым расширяя возможности для селекции. При этом известно, что синтетические регуляторы роста, такие как тидиазурон (ТДЗ), способны индуцировать не только различные морфогенные реакции, но и соматоклональную изменчивость. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния ТДЗ, генотипа на процессы регенерации и соматоклональную изменчивость регенерантов, полученных из листовых эксплантов декоративных морозостойких сортов рододендронов 'Helsinki University' и 'Haaga', а также дикорастущего вида *Rhododendron mucronulatum* Turcz.

В качестве индукторов морфогенеза использовали ТДЗ и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2.4-Д) в разных концентрациях. Исследования соматоклональной изменчивости проводили на основе ISSR, RAPD анализа и проточной цитометрии (CyFlow® Space). Гистологический анализ хронологической последовательности морфогенеза проводили по общепринятой методике.

Под действием 2.4-Д и ТДЗ у листовых эксплантов 'Helsinki University' наблюдали одновременно каллусогенез и прямую регенерацию побегов. При культивировании листовых эксплантов *R. mucronulatum* на всех таких же средах отмечали только каллусогенез. Морфогистологический анализ подтвердил параллельное развитие процессов не прямой и прямой регенерации побегов 'Helsinki University', при этом начальные деления клеток при прямой регенерации локализовались в эпидермальном слое, а при каллусогенезе – в паренхиме. Молекулярный анализ и проточная цитометрия показали генетическую однородность каллусов и регенерантов 'Helsinki University' и 'Haaga'. Однако, на электрофореграммах каллусов *R. mucronulatum* выявлено около 50% полиморфных бандов, размер генома таких клеток так же отличались между собой и контролем.

Ключевые слова: листовые экспланты, не прямой морфогенез, размер генома соматоклональная изменчивость, тидиазурон

SOMACLONAL VARIABILITY AND HISTOLOGICAL ANALYSIS OF INDIRECT MORPHOGENESIS IN THE LEAF EXPLANT CULTURE OF THE RHODODENDRON GENUS

Zaytseva Y.G., Asbaganov S.V.

Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation 630090

Keywords: leaf explants, indirect morphogenesis, genome size, somaclonal variability, thidiazuron

БИОТЕХНОЛОГИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ *HYDRANGEA PANICULATA* SIEBOLD.

Зарипова А.А.

Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, Уфа, Россия

E-mail: zaripova.al@mail.ru

Объектом нашего исследования являлась гортензия метельчатая *Hydrangea paniculata* 'Samarskya Lydia'. 'Самарская Лидия' ® 'Rensam' – это новый, но довольно популярный сорт, который был выведен французским селекционером Жаном Рено. Сорт является лидером продаж не только в России, но и по всему миру, относится к группе сортов, которые дают самую яркую рубиновую окраску.

В качестве эксплантов для введения в культуру *in vitro* использовали фрагменты стебля побегов текущего года вегетации с апикальными и пазушными почками. Поверхностную обработку эксплантов проводили растворами 0,1 %-ного диоксида, 70%-ного этанола, 3%-ой перекисью водорода, 7%-ным гипохлоритом натрия. Результаты опытов показали, что максимального числа жизнеспособных (92%), минимального числа некротизированных (2%) эксплантов удалось достичь при последовательном выдерживании эксплантов в стерилизующих растворах.

Для изучения способности эксплантов гортензии к побегообразованию испытаны 3 питательные среды. Показатели средней длины побега, числа листьев на побеге и дополнительного побегообразования выше на модифицированной среде Anderson. Murashige & Skoog модифицированная вдвое уступает по перечисленным показателям.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, *Hydrangea paniculata* 'Samarskya Lydia', пазушное побегообразование *in vitro*

BIOTECHNOLOGY OF *HYDRANGEA PANICULATA* SIEBOLD. PROPAGATION

Zaripova A.A.

South-Ural Botanical Garden-Institute, Ufa Federal Research Centre, RAS, Ufa, Russia

Keywords: clonal micropropagation, *Hydrangea paniculata* 'Samarskya Lydia', axillary shoot formation *in vitro*

ЦИТОКИНИНЫ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР ГАМЕТОФИТНОЙ САМОНЕСОВМЕСТИМОСТИ У SOLANACEAE

Захарова Е.В.^{*}, Ханина Т.П.

ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

*E-mail: zakharova_ekater@mail.ru

Исследования молекулярных механизмов самонесовместимости у растений активно проводятся на представителях различных семейств, включая Solanaceae. В предыдущих исследованиях механизма S-РНКазной самонесовместимости у петунии (*Petunia hybrida* E. Vilm.) были установлены два важнейших факта: (1) программируемая клеточная смерть (ПКС) как фактор механизма самонесовместимости; (2) гормональная регуляция как фактор ПКС. Проведенные ранее исследования дали основание предполагать, что фитогормон цитокинин (ЦК) является активатором каспазо-подобных протеаз. В нашей работе на двух модельных объектах (петуния и томат: 6 представителей Solanaceae) получены данные, подтверждающие эту гипотезу. Методом прижизненной визуализации активности каспазо-подобных протеаз показано, что экзогенная обработка зеатином рылец томатов и петунии за 2 ч до совместимого опыления в концентрации 10 мкМ вызывает их активацию в пыльцевых трубках *in vivo*. ЦК в любых концентрациях тормозили прорастание и рост мужского гаметофита петунии и томатов как *in vitro*, так и *in vivo*. Установлено, что ЦК является детерминантом ПКС в мужском гаметофите петунии и томатов (*P. hybrida*, *S. pennellii*, *S. habrochaites*, *S. chilense*, *S. lycopersicum*).

Мы предполагаем, что данный эффект связан с тем, что ЦК снижают pH цитоплазмы в кислую среду, создавая тем самым оптимальные условия для функционирования каспазо-подобных протеаз, которые ингибируют образование F-актина и (или) разрушают цитоскелет пыльцевых трубок, до точечных очагов в ходе ПКС. Следовательно, ЦК являются участниками самонесовместимости, накапливаются (синтезируются) в тканях столбика в момент прохождения реакции самонесовместимости. Все это дает основание полагать, что ЦК играют решающую роль в функционировании механизма гаметофитной самонесовместимости.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-24-01148.

Ключевые слова: цитокинин, гаметофитная самонесовместимость, программируемая клеточная смерть, каспазоподобные протеазы, рост трубок *in vivo* и *in vitro*

CYTOKININS AS A DETERMINING FACTOR OF GAMETOPHYTE SELF-INCOMPATIBILITY IN SOLANACEAE

Zakharova E.V., Khanina T.P.

All-Russia Research Institute of Agricultural, Moscow, Russia

Keywords: cytokinin, RNase-based SI-induced PCD, caspase-like proteases, pollen tube growth *in vivo* and *in vitro*

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ КАСКАДОВ, ИНДУЦИРУЕМЫХ ФИТОГОРМОНАМИ

Землянская Е.В.^{1,2*}, Омелянчук Н.А.¹, Лавреха В.В.^{1,2}

¹ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

*E-mail: ezemlyanskaya@bionet.nsc.ru

Реконструкция иерархических транскрипционных каскадов, запускаемых фитогормонами, является ключом к пониманию молекулярных механизмов, контролируемых различными признаками растений. Несмотря на существенный прогресс последнего времени в создании методов для автоматического построения генных регуляторных сетей, ощущается недостаток компьютерных подходов для широкомасштабной реконструкции транскрипционных каскадов, которые определяют архитектуру генных регуляторных сетей. В данной работе мы представляем оригинальную трехстадийную процедуру для реконструкции запускаемых фитогормонами транскрипционных каскадов на основании интегрированного анализа списков дифференциально экспрессирующихся генов и репрезентативной коллекции профилей связывания транскрипционных факторов. С использованием этой процедуры нами были реконструированы транскрипционные каскады, индуцируемые фитогормонами ауксином и этиленом у модельного растения *Arabidopsis thaliana*. Для каждого гормона мы выявили по две регуляторные подсети, из которых первая действует в растении до его обработки и подавляется фитогормоном, а вторая, наоборот, активируется. Мы также исследовали функционирование транскрипционного каскада, индуцированного ауксином, в регуляции биосинтеза хлорофилла. Наши результаты демонстрируют хорошие перспективы использования нового подхода для компьютерной реконструкции транскрипционных каскадов. Работа поддержана грантом РФФИ № 20-14-00140.

Ключевые слова: транскрипционный фактор, регуляция, транскрипция, *Arabidopsis thaliana*

COMPUTATIONAL RECONSTRUCTION OF TRANSCRIPTIONAL CASCADES INDUCED BY PLANT HORMONES

Zemlyanskaya E.V.^{1,2*}, Omelyanchuk N.A.¹, Lavrekha V.V.^{1,2}

¹ Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Keywords: transcription factor, regulation, transcription, *Arabidopsis thaliana*

ВКЛАД ФЛОЭМНЫХ ВОЛОКОН В РЕАЛИЗАЦИЮ ГРАВИТРОПИЧЕСКОГО ОТВЕТА

Ибрагимова Н.Н. *, Сибгатуллин Т.А., Сауткина О.В.

ФГБУН КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия;

*E-mail: nibra@yandex.ru

Растения постоянно приспосабливают форму своего тела к окружающей среде. Это часто включает в себя сгибание их органов, таких как, например, стебли. Так как растительные клетки окружены жесткими клеточными стенками, растения используют для сгибания своих органов другие механизмы, которые отличаются от механизмов сгибания мягких тканей животных. Считается, что на клеточном уровне растения имеют два основных двигателя: осмо-гидравлический реализуется в клетках с первичными клеточными стенками и двигатель, «работающий» за счет набухания/сжатия полимеров утолщенных вторичных клеточных стенок, которые формируются в клетках механических и проводящих тканей (главным образом, ксилемы). Мы предполагаем, что есть механизм, связанный с функцией флоэмных волокон и их уникальными особенностями. В этой связи, мы предлагаем подход, который показал, что основной вклад в реализацию гравитропического ответа растений льна (фаза быстрого роста), вносят флоэмные волокна, а не ткани с характерным ростом растяжением и не желатинозные волокна ксилемы. Основным принципом данного подхода заключался в разделении фрагментов стебля гравистимулированных растений в продольном направлении на две половины: рассчитывали кривизну на разных сторонах стебля до удаления флоэмы и после. Методами микроскопии на поперечных срезах проводили сравнение площади желатинозных слоев флоэмных и ксилемных волокон. Поскольку развивающиеся органы всегда демонстрируют градиент дифференцировки тканей, возможно, что искривление в пределах одного органа может регулироваться различными механизмами: с чистым ростом в самых молодых частях и сжатием волокон в самых зрелых. Однако следует отметить, что при удалении части стебля, где клетки растут растяжением, растения льна не менее эффективно восстанавливали вертикальное положение. Это показывает, что рост растяжением не вносит основной вклад при гравитоответе быстро растущих растений льна.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-24-00612

Ключевые слова: флоэмные волокна, изгиб, гравитропизм

CONTRIBUTION OF PHLOEM FIBERS TO THE REALIZATION OF THE GRAVITROPIC RESPONSE

Ibragimova N.N. *, Sibgatullin T.A., Sautkina O.V.

KBB FIC Kazan SC of RAS, Kazan, Russia

Keywords: phloem fibers, bending, gravitropism

НАКОПЛЕНИЕ ПРОЛИНА В ЛИСТЬЯХ ПШЕНИЦЫ КАК СЛЕДСТВИЕ НАРУШЕНИЯ С/N-БАЛАНСА ПОСЛЕ ИНКУБАЦИИ РАСТЕНИЙ В ТЕМНОТЕ

Иванов А.А.

ФГБУН Институт фундаментальных проблем биологии, РАН, Пушкино, Россия;

E-mail: demfarm@mail.ru

Данная работа посвящена исследованию физиолого-биохимических изменений во втором листе проростков пшеницы после нарушения баланса С/N-метаболизма в результате ограничения поглощения CO₂. С этой целью 10-дневные проростки помещали в темноту на 10 суток. В качестве контроля использовали растения, находящиеся при полном освещении. Каждые 2-е суток инкубации в темноте проводили тестирование параметров роста, транспирации, активности ферментов азотного метаболизма и антиоксидантной защиты, а также содержания хлорофилла, пролина, H₂O₂ и МДА. После окончания инкубации в темноте растения помещали на полный свет и продолжали измерение параметров в течение 2-х суток. В условиях темноты наблюдалась приостановка накопления сухой биомассы, резкое замедление скорости транспирации и снижение содержания фотосинтетических пигментов. В темноте не наблюдалось изменения активности глутамандегидрогеназы и пролиндегидрогеназы. Однако резко снижалась относительная активность этих ферментов азотного метаболизма в сравнение с растениями при полном освещении. В темноте заметно увеличивалась пероксидазная активность, однако не наблюдалось увеличения уровней H₂O₂ и МДА, что свидетельствует об отсутствии окислительного стресса у растений в темноте. В темноте происходило постепенное накопление пролина, количество которого затем уменьшалось до исходного уровня после повторного освещения растений. Предполагается, что аккумуляция пролина в темноте не связана с развитием окислительного стресса, а является следствием увеличения количества азотсодержащих соединений при дефиците углеродных скелетов. Проллин может выступать в качестве средства вывода излишка азота из сферы метаболических реакций, тем самым предотвращая накопление аммиака в токсичных концентрациях.

Ключевые слова: С/N-метаболизм, пролин, рост, темнота, окислительный стресс

ACCUMULATION OF PROLINE IN WHEAT LEAVES AS A RESULT OF C/N BALANCE DISTURBANCE AFTER PLANTS INCUBATION IN THE DARK

Ivanov A.A.

Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Keywords: C/N metabolism, proline, growth, darkness, oxidative stress

НЕБЛАГОПРИЯТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ КОРНЕЙ И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ СМЯГЧАЕТСЯ ПРИ ИХ ЛОКАЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ

Иванов И.И.* , Коробова А.В., Ахиярова Г.Р., Кудоярова Г.Р.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
Уфа, Россия

*E-mail: i_ivanov@anrb.ru

Сравнивали урожайность девяти сортов пшеницы, выращенных с обычным внесением удобрений и без внесения удобрений в засушливые и влажные годы. Результаты показали, что внесение удобрений увеличивало процент снижения урожайности сельскохозяйственных культур, вызванного засухой. Этот неблагоприятный эффект от внесения удобрений смягчается за счет локального внесения удобрений, что, вероятно, связано с более глубокой и разветвленной корневой системой растений, удобряемых локально: увеличенное ветвление корней на участках с богатой питательными веществами почвой и их интенсивное удлинение за пределами таких участков. Эффект локального внесения удобрений на развитие корневой системы воспроизводили в культуре на гидропонике с разделением корней (split root culture), при этом корневая система одних и тех же растений была разделена между контейнерами с высокой и низкой концентрацией питательных веществ. Увеличение концентрации питательных веществ в обоих контейнерах уменьшало соотношение массы корней и побегов, в то время как при добавлении удвоенного количества питательных веществ в один из контейнеров соотношение массы обеих корневых прядей и побега оставалось высоким. В экспериментах с разделёнными корнями увеличению количества примордиев на корнях, контактирующих с высокой концентрацией питательных веществ, предшествовал пик ауксинов, а пик АБК в корнях совпадал, что позволяет предположить участие ауксинов в инициации зачатков корней, а АБК в их дальнейшем росте. Присутствие ауксина и АБК в примордиях было подтверждено иммулокализацией соответствующими антителами. В целом, проведенные эксперименты показали, что неравномерное внесение элементов минерального питания смягчает негативные последствия применения удобрений на рост корней и повышает относительную засухоустойчивость растений.

Работа выполнена по теме № 123020800002-2 в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-01134-23-00.

Ключевые слова: *Triticum*, сорта, локальное внесение удобрений, засухоустойчивость, примордии, рост боковых корней, ауксин, абсцизовая кислота

UNFAVOURABLE EFFECTS OF CONVENTIONAL FERTILIZER BROADCASTING ON ROOT GROWTH AND SENSITIVITY TO DROUGHT ARE MITIGATED BY ITS LOCALIZED APPLICATION

Ivanov I.I.* , Korobova A.V., Akhiyarova G.R., Kudoyarova G.R.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russia

Keywords: *Triticum*, cultivars, local nutrient application, drought resistance, primordia, lateral root growth, auxin, abscisic acid

РОЛЬ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В РЕГУЛЯЦИИ АКТИВНОСТИ АКВАПОРИНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АБК

Иванов Р.С.¹, Шарипова Г.В.¹, Ахиярова Г.Р.¹, Шишова М.Ф.², Нужная Т.В.¹, Веселов Д.С.¹

¹ Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450054, просп. Октября, 69, Уфа, Россия

² Кафедра физиологии растений и биохимии, Биологический факультет Санкт-Петербургского государственного университета, 199034 Университетская наб. 7–9, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: ivanovirs@mail.ru

Накопление различных форм активных форм кислорода (АФК) вызывается широким спектром факторов, включая гормональные сигналы и сигналы окружающей среды. Многие исследовательские группы неоднократно сообщали об индуцированном абсцизовой кислотой (АБК) повышении АФК и предположили, что оно связано с активацией НАДФН-оксидазы, локализованной в плазматической мембране. Важную роль в АБК-зависимых изменениях активности ионных каналов, приводящих к закрытию устьиц, играет индуцированная генерация H_2O_2 (наиболее стабильная и распространенная форма АФК). По аналогии можно предположить, что АФК участвуют в регуляции других АБК-индуцированных процессов, в том числе в повышении гидравлической проводимости. На корнях растений ячменя изучали однократное применение АБК или ее сочетание с манипуляторами АФК (акцептор АФК - аскорбиновая кислота и ингибитор НАДФН-оксидазы - дифениленйодония хлорид (DPI)). Мы измерили скорость осмотического потока ксилемного сока и рассчитали гидравлическую проводимость корня. Параллельно проводили иммунолокализацию АБК и аквапоринов HvPIP2;2 соответствующими специфическими антителами. Обработка АБК увеличивала скорость потока ксилемы, гидравлическую проводимость корня и иммуноокрашивание для АБК и HvPIP2;2, в то время как добавление антиоксидантов приводило к отсутствию влияния этого гормона на содержание аквапоринов в корнях и водный обмен растения. Полученные результаты выявили участие АФК в действии АБК на гидравлическую проводимость и содержание аквапоринов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 21-14-00070).

Ключевые слова: активные формы кислорода (АФК), абсцизовая кислота (АБК), аквапорин HvPIP2;2, аскорбиновая кислота, дифениленйодония хлорид (DPI)

THE ROLE OF REACTIVE OXYGEN SPECIES IN THE REGULATION OF AQUAPORIN ACTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF ABA

Ivanov R.S.¹, Sharipova G.V.¹, Akhiyarova G.R.¹, Shishova M.F.², Nuzhnaya T.V.¹, Veselov D.S.¹

¹ Ufa Institute of Biology of Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences 450054, pr. Otyabrya, 69, Ufa, Russia

² Department of Plant Physiology and Biochemistry, Faculty of Biology, Saint Petersburg State University, 199034 Universitetskaya nab. 7–9, St. Petersburg, Russia

Keywords: reactive oxygen species (ROS), abscisic acid (ABA), aquaporin HvPIP2;2, ascorbic acid, diphenyleneiodonium chloride (DPI)

МЕЗОФИЛЛ ЛИСТА КАК СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЙ ФОТОСИНТЕЗА В ЛИСТЯХ ИНВАЗИОННЫХ C₃-РАСТЕНИЙ

Иванова Л.А.^{1,2*}, Иванов Л.А.^{1,2}, Валиева П.К.¹, Юдина П. К.^{1,2},
Мигалина С.В.^{1,2}, Журавлев А.С.¹, Хапугин А.А.¹, Кузьмин И.В.¹, Ронжина Д.А.^{1,2}

¹ Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

² Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: ivanova.larissa@list.ru

Необходимость приспособления физиологии чужеземных растений к новому климату является основой растительных инвазий. Важную роль при этом играет успешная адаптация фотосинтетической функции, которая позволяет инвайдерам поддерживать углеродный баланс и побеждать в конкурентной борьбе с местными видами. При этом достижение необходимого уровня фотосинтеза в новых условиях ограничивается комплексом структурных и физиологических особенностей мезофилла листа. Нами изучены некоторые виды инвазионных растений, которые распространены в Зауралье пока не так широко, как в средней полосе Европейской России, и представляют потенциальную опасность для местных экосистем. Для прогнозирования фотосинтетической способности и углеродного баланса листьев инвазионных видов мы исследовали количественные показатели мезофилла, разработали трехмерную модель структуры мезофилла и применили технологию гидродинамического моделирования диффузии углекислого газа внутри листа. Результаты показали, что к наиболее важным характеристикам мезофилла, ограничивающими фотосинтез данных видов, являются: величина свободной поверхности мезофилла (например, у *Bidens frondosa* и *Impatiens parviflora*), объем и форма воздушного межклеточного пространства (*Echinocystis lobata*, *Impatiens glandulifera*), анизотропия структуры мезофилла в направлении, ортогональном поверхности листа (*Heracleum sosnowskyi*), и скорость переноса CO₂ через единицу поверхности мезофилла (*Calystegia inflata*). Соотношение этих величин формирует диффузионную проводимость мезофилла и градиент концентрации CO₂ внутри межклеточного пространства, что определяет фотосинтетическую способность листа в данных экологических условиях.

Ключевые слова: проводимость мезофилла, межклеточное пространство, размеры клетки, адаптация фотосинтеза, градиент концентрации CO₂, трехмерное моделирование листа

LEAF MESOPHYLL AS A SYSTEM OF CONSTRAINTS FOR PHOTOSYNTHESIS INSIDE LEAF OF INVASIVE C₃-PLANT

Ivanova L.A.^{1,2*}, Ivanov L.A.^{1,2}, Valieva A.K.¹, Yudina P.K.^{1,2}, Migalina S.V.^{1,2},
Zhuravlev A.S.¹, Khapugin A.A.¹, Kuzmin I.V.¹, Ronzhina D.A.^{1,2}

¹ Tyumen state university, Tyumen, Russia

² Institute Botanic Garden UB RAS, Ekaterinburg, Russia

*E-mail: ivanova.larissa@list.ru

Keywords: mesophyll conductance, intercellular airspace, cell size, photosynthesis adaptation, CO₂ concentration gradient, leaf three-dimensional modelling

ВЛИЯНИЕ НАНОКРЕМНИЯ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗ И КАТАЛАЗ ПРОРОСТКОВ СОИ

Иваченко Л.Е.^{1,2*}, Цыцеева М.О.¹, Терехова О. А.¹, Кузнецова В.А.³

¹ Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск, Россия

³ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, г. Владивосток, Россия;

*E-mail: ivachenko-rog@yandex.ru

Соя – важнейшая белково-масличная культура. Для увеличения урожайности, улучшения продуктивности и плодородия почв в растениеводстве применяют цеолиты, компонентом которых является кремний. Ферменты пероксидаза (К.Ф. 1.11.1.7) и каталаза (К.Ф.1.11.1.6) являются антиоксидантами и определяют устойчивость растений к абиотическим факторам. Ранее нами было изучено влияние внесения в почву для выращивания сои цеолитов на активность ее ферментов. Установлено снижение действия окислительного стресса и повышение урожайности сои.

Цель работы – изучить влияние препарата «НаноКремний» различной концентрации на активность пероксидазы и каталазы проростков сои.

В работе использовались семена сои, выращенные в течении 10 дней в лаборатории искусственного климата (при температуре 20-25 °С, влажности 70 %, 16-часовой фотопериод). Минеральное удобрение с микроэлементами «НаноКремний» (кремний 50-60 %, производство ООО «Вектор» г. Москва) вносили в почвогрунт в концентрациях 200 г/т и 400 г/т. Контролем являлись образцы, выращенные на почве без внесения добавок. Биохимические исследования проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях. Из проростков сои готовили экстракты белков, в которых содержание белка определяли методом Лоури, удельную активность ферментов – фотоколориметрическим, множественные формы – методом электрофореза в 8% ПААГ. Выявлено, что при добавлении «НаноКремния» в концентрациях 400 г/т происходит увеличение высоты и вегетативной массы проростков сои (на 20 % и 10 % соответственно), снижается активность каталазы и пероксидазы, но увеличивается число множественных форм пероксидаз с 2 до 4, что, возможно, связано с улучшением условий выращивания. Таким образом, изучение влияния препарата «НаноКремний» на активность исследуемых ферментов проростков сои, позволило выявить его концентрацию для более эффективного воздействия на метаболизм сои.

Ключевые слова: *Glycine max*, каталаза, пероксидаза, НаноКремний, множественные формы.

INFLUENCE OF NANOSILICON ON BIOMETRIC INDICATORS AND ACTIVITY OF PEROXIDASES AND CATALASES OF SOYBEAN SEEDERS

Ivachenko L.E.^{1,2*}, Tsytsseeva M.O.¹, Terekhova O.A.¹, Kuznetsova V.A.³

¹ Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

² All-Russian Soybean Research Institute, Blagoveshchensk, Russia

³ All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. N.I. Vavilov, Vladivostok, Russia;

Keywords: *Glycine max*, catalase, peroxidase, NanoSilicon, multiple forms.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЛАКОВ К ДЕФИЦИТУ ЦИНКА

Игнатенко А.А.* , Батова Ю.В., Холопцева Е.С., Таскина К.Б., Казнина Н.М.

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия;

*E-mail: angelina911@ya.ru

Одним из возможных способов повышения устойчивости растений к дефициту микроэлементов является их обработка регуляторами роста. Нами изучено влияние обработки салициловой кислотой (СК) семян или растений двух видов злаков – *Hordeum vulgare* L. (с. Нур) и *Triticum aestivum* L. (с. Злата) – на их устойчивость к дефициту цинка. Использовали предпосевную обработку семян в растворе СК (10 мкМ) в течение 24 ч и разовое опрыскивание растений раствором СК (100 мкМ) через 21 сут после посева. Растения выращивали в песчаной культуре в течение 28 сут. Дефицит цинка в субстрате создавали поливом растений питательным раствором без добавления соли металла.

Установлено, что у необработанных СК растений дефицит цинка вызывает уменьшение высоты побега только у ячменя. Вместе с тем у обоих злаков в этих условиях отмечалось снижение скорости фотосинтеза и активности карбоангидразы (КА), а у пшеницы также и супероксиддисмутазы (СОД). У пшеницы помимо этого возрастал уровень пролина.

У растений, семена которых были обработаны СК, при дефиците цинка наблюдалось увеличение (по сравнению с необработанными растениями) высоты побега (ячмень, пшеница) и его сухой биомассы (пшеница), а после опрыскивания СК – высоты побега, содержания хлорофиллов *a* и *b* (ячмень), сухой биомассы побега и корня, а также уровня каротиноидов (пшеница). Оба способа обработки СК повышали устьичную проводимость и скорость фотосинтеза у злаков, а у ячменя – активность КА. Кроме того, у ячменя и пшеницы после обработки семян СК увеличивалась активность СОД, а после опрыскивания СК снижалась активность пероксидазы в листьях.

Сделан вывод о способности СК повышать устойчивость яровых злаков к дефициту цинка за счет поддержания ростовых и фотосинтетических процессов, а также участия СК в регуляции работы антиоксидантной системы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-26-00168, <https://rscf.ru/project/22-26-00168/>).

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L., дефицит цинка, салициловая кислота, антиоксидантная система, фотосинтез

INFLUENCE OF TREATMENT BY SALICYLIC ACID ON TOLERANCE OF CEREALS TO ZINC DEFICIENCY

Ignatenko A.A., Batova Yu.V., Kholoptseva E.S., Taskina K.B., Kaznina N.M.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia;

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L., zinc deficiency, salicylic acid, antioxidant system, photosynthesis

ОСОБЕННОСТИ СОМАТИЧЕСКОГО ЭМБРИОГЕНЕЗА *PINUS SYLVESTRIS* И *PICEA ABIES*

Игнатенко Р.В.^{1*}, Галибина Н.А.², Ершова М.А.¹, Чирва О.В.¹,
Тихомирова С.И.², Померанец А.К.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

² Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

*E-mail: ocean-9@mail.ru

С целью получения растений-регенерантов основных лесообразующих хвойных видов на территории Европейского Севера России проведены исследования по использованию соматического эмбриогенеза (СЭ) для *Pinus sylvestris* и *Picea abies*.

Эксплантами служили мегагаметофиты *P. sylvestris*, содержащие незрелые зародыши, собранные с клонов плюсовых деревьев на Петрозаводской лесосеменной плантации (возраст деревьев 40 лет), с плантации испытательных культур (10 лет) и с деревьев в парке г. Петрозаводска (20 лет). Экспланты стерилизовали и помещали на разные варианты питательных сред 1/2LV, MSG и DCR, отличающиеся содержанием фитогормонов (2.4-Д, 6-БАП) и источников углеводов (сахароза, мальтоза). Зиготические зародыши *P. abies*, отобранные на Петрозаводской ЛСП (20-40 лет), размещали на 2 типа субстрата – LM и DCR.

В результате в культуру *in vitro* было введено 3260 эксплантов *P. sylvestris*. Установлено, что зиготические зародыши чаще всего экструдировали на питательных средах 1/2LV с разным содержанием фитогормонов, а каллус формировался на субстратах MSG. Из экспланта клона плюсового дерева (№864-2) была получена длительно пролиферирующая клеточная линия, иницированная на среде MSG с повышенным содержанием стимуляторов роста (18 мкМ 2.4-Д, 9 мкМ 6-БАП), а дальнейшее культивирование проходило на среде с содержанием 9 мкМ 2.4-Д, 4.5 мкМ 6-БАП. Данные свидетельствуют о необходимости индивидуального подбора условий культивирования для инициации СЭ у эксплантов *P. sylvestris* из разных географических районов.

Эмбрионально-суспензорная масса (ЭСМ) у *P. abies* формировалась только на среде LM у ~80% введенных в культуру *in vitro* эксплантов. Были выявлены 3 генотипа *P. abies*, из зародышей, которых наиболее активно образуется ЭСМ. Растения-регенеранты получены из большинства клеточных линий. В дальнейшем, применение процесса СЭ позволит выращивать высокопродуктивные и устойчивые к различным стрессовым факторам генотипы *P. abies*.

Исследование выполнено при поддержке НОЦ «Российская Арктика».

Ключевые слова: культура клеток, хвойные растения, зародыш, фитогормоны, онтогенез.

PINUS SYLVESTRIS AND *PICEA ABIES* OF SOMATIC EMBRYOGENESIS FEATURES

Ignatenko R.V.¹, Galibina N.A.², Ershova M.A.¹, Chirva O.V.¹, Tikhomirova S.I.²,
Pomeranets A.K.¹

¹ Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: cell culture, conifers, embryo, phytohormones, ontogeny.

БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА BORAGINACEAE

Икконен Е.Н.^{1*}, Пустовойтов К.Е.², Гольева А.А.³, Мергелов Н.С.³,
Николаева Н.Н.⁴, Чаженгина С.Ю.⁵, Сибелев О.С.⁵

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия

² Югорский государственный Университет, Ханты-Мансийск, Россия

³ Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия

⁵ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия;

*E-mail: likkonen@gmail.com

Процесс минералообразования в растениях широко распространен, однако малоизучен. Помимо оценки физиологической роли в жизни растений, исследования биоминералов и процессов, сопутствующих их синтезу и формированию характерных свойств, перспективны для разработок новых технологий, включая критические. Задачей данной работы являлось выявление минералообразования в тканях семейства Boraginaceae, включающее идентификацию минералов, оценку их распределения, содержания и свойств. Методами рамановской спектроскопии, сканирующей электронной, оптической и поляризационной микроскопии определено, что у большинства исследованных видов формирование минеральных фаз осуществляется в перикарпии плодов и в клетках трихом листьев и стеблей. Минеральные фазы представлены кристаллическим карбонатом кальция в форме кальцита и аморфным диоксидом кремния (кремнезем). В перикарпии плодов синтез карбонатов происходит во внутриклеточном и поровом пространстве, а формирование кремнезема осуществляется в клеточных оболочках, хотя показано, что у ряда видов возможно полное заполнение объема клетки кремнеземом. Содержание и распределение минералов в перикарпии эрем варьирует между родами, при этом вариабельность элементного состава может быть обусловлена почвенно-климатическими условиями роста растений. Минерализация клеток перикарпия начинается на внешней оболочке эпидермы вершины и распространяется по направлению к цикатриксу, и далее по всей площади поверхности к внутренней эпидерме.

Работа поддержана ГЗ КарНЦ РАН (FMEN-2022-004).

Ключевые слова: аморфный кремнезем, карбонат кальция, перикарпий эрем

BIOMINERALIZATION IN PLANTS OF BORAGINACEAE FAMILY

Ikkonen E.N.¹, Pustovoitov K.E.², Golyeva A.A.³, Mergelov N.S.³, Nikolaeva N.N.⁴,
Chazhengina S.Y.⁵, Sibelev O.S.⁵

¹ Institute of Biology of the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Yugra University, Khanty-Mansiysk, Russia

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Forest Institute of the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

⁵ Institute of Geology of the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: amorphous silica, calcium carbonate, nutlet pericarp

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТРАДИЦИОННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Исламова З.М.* , Сергеев В.С.

ООО «НВП «БашИнком», Уфа, Россия

E-mail: zarinaislamova@yandex.ru

В традиционной системе земледелия растительные остатки после уборки урожая на почве являются важным источником пополнения питательных веществ в почве. В результате их запахивания в почву возвращаются элементы питания: азот, фосфор, калий и др. Но разложение растительных остатков из-за низкой численности специфической микрофлоры происходит медленно, и питательные вещества мало поступают к растениям в первый год. В почве накапливаются лигнин и фенолы, которые тормозят рост культурных растений и замедляют минерализацию органических веществ, накапливаются возбудители болезней и токсинообразующие грибы.

С целью необходимости быстрого разложения пожнивных остатков в состав препарата «Стерня-12» производства ООО «НВП «БашИнком» введены штаммы грибов и бактерий с целлюлозолитической активностью, способных к быстрому разложению целлюлозы. Целлюлоза разлагается под действием ферментов бактерий *Bacillus subtilis* 3/28, а также грибов рода Триходерма: *Trichoderma reesei* 4К и грибов-сахаромицетов *Pichia deserticola* 2К.

В 2015-2016 гг. в условиях УНЦ ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ были проведены полевые испытания микробиологического препарата «Стерня-12» на посевах кукурузы. Применение препарата позволило получить прибавку урожая 3,8 ц/га зерна. Прибавка урожая в те же года в условиях экспериментальной базы ВНИИБЗР составила к контролю 8,2 ц/га.

Ключевые слова: Азотфиксация, фосформобилизация, калиймобилизация, гидролитические ферменты, биодеструктор, супрессивность почвы, микробиологическое удобрение, БашИнком

MICROBIOLOGICAL FERTILIZERS AS AN INTEGRAL ELEMENT OF TRADITIONAL AGRICULTURE

Islamova Z.M., Sergeev V.S.

LLC "NVP "BashInkom", Ufa, Russia

Keywords: Nitrogen fixation, phosphorimobilization, potassium immobilization, hydrolytic enzymes, biodestructor, suppressiveness of the soil, microbiological fertilizer, BashInkom

ПОИСК ГЕНОВ АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ *FILIPENDULA ULMARIA* МЕТОДОМ ТРАНСКРИПТОМНОГО АНАЛИЗА

Истомина Е.А.* , Одинцова Т.И.

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия;

*E-mail: mer06@yandex.ru

Антимикробные пептиды (АМП) обнаружены практически у всех живых существ. Наряду с сигнальными пептидами, они являются молекулярными компонентами наиболее древнего механизма защиты от патогенов – врожденного иммунитета. Значение биологического разнообразия АМП-подобных генов, а также генов сигнальных пептидов, активирующих иммунный ответ, остается практически неизученным, особенно у дикорастущих видов растений, которые обладают повышенной устойчивостью к патогенам.

F. ulmaria (таволга вязолистная) – многолетнее растение семейства Rosaceae, которое издавна применяется в народной медицине как общеукрепляющее и противовоспалительное средство.

Цель настоящей работы – изучение роли АМП и сигнальных пептидов в иммунном ответе таволги вязолистной на заражение патогенным грибом *Bipolaris sorokiniana*, вызывающим корневые гнили хлебных злаков. Методом глубокого секвенирования транскриптомов изучен ответ растений таволги на заражение *B. sorokiniana*, и выявлены гены АМП-подобных и сигнальных пептидов. Обнаруженные пептиды относятся к семействам дефензинов, снакинов, липид-переносящих белков, пептидов семейств MEG, Ole, RALF и PER. В семействе дефензинов выявлено 8 пептидов, которые относятся к дефензинам класса 1. Среди них 2 пептида несут γ -кор, обладающий высокой антимикробной активностью. В семействе снакинов выявлено 9 пептидов, в семействе ЛПБ – 34 пептида, в семействе Ole – 7 пептидов и в семействе MEG – 2 пептида. Из сигнальных пептидов обнаружено 10 пептидов семейства RALF и 4 пептида семейства PER. Подавляющее число пептидов относятся к новым пептидам. Анализ дифференциальной экспрессии генов АМП и сигнальных пептидов позволил выявить как те из них, которые активируются при заражении грибом, так и те, экспрессия которых подавляется патогеном. Полученные результаты проливают свет на разнообразие молекулярных форм АМП и сигнальных пептидов таволги и их роль в иммунном ответе на заражение фитопатогенным грибом *B. sorokiniana*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-16-00010.

Ключевые слова: антимикробные пептиды (АМП), транскриптомный анализ, *Filipendula ulmaria*, *Bipolaris sorokiniana*

SEARCH FOR ANTIMICROBIAL PEPTIDE GENES OF *FILIPENDULA ULMARIA* BY TRANSCRIPTOME ANALYSIS

Istomina E.A., Odintsova T.I.

Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: antimicrobial peptides (AMPs), transcriptome analysis, *Filipendula ulmaria*, *Bipolaris sorokiniana*

РОЛЬ МЕЛАТОНИНА И ИУК В ФОРМИРОВАНИИ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ РЕГЕНЕРАНТОВ КАРТОФЕЛЯ

Кадырбаев М.К., Бойко Е.В., Лаптев Н.И. *, Головацкая И.Ф.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия;

*E-mail: experteco@mail.ru

Картофель является одной из наиболее важных продовольственных культур. Она подвержена негативному воздействию низких возвратных температур, что ставит вопрос о степени холодоустойчивости картофеля и способах повышения толерантности к этому стресс-фактору. Устойчивость растений к негативным факторам обусловлена особенностью ростовых процессов и систем защиты от действия стрессоров, регулируемых фитогормонами. К числу последних относятся индолил-3-уксусная кислота (ИУК) и мелатонин (Мел), имеющие общего предшественника триптофан. В связи с этим целью данного исследования было изучение роли предварительной обработки корней Мел и ИУК в регуляции процессов, повышающих регенеративную способность растений картофеля к отложенному действию гипотермии.

Объектом исследования служили 28-дневные регенеранты картофеля (*Solanum tuberosum* L.) среднеспелого сорта Луговской, полученные методом микроклонирования при культивировании на 75% МС-среде апикальных и средних однопочковых клонов. Растения обрабатывали 4 ч 0.1 мкМ Мел или 0.1 мкМ ИУК (опыт), или 50% МС-средой (контроль). После обработки растения культивировали 7 сут при 20-22°C. Затем половину растений из каждой группы охлаждали (4 °С 3 сут) и на 10 сут возвращали в оптимальные условия, затем измеряли ростовые и биохимические параметры. Величина исследуемого негативного фактора не позволяла регенерировать растениям в благоприятных условиях. Однако корневая обработка Мел и ИУК оказывала защитную роль, регулируя рост, окислительный статус листьев и корней, накопление осмотически активных веществ и антиоксидантов (пролина, аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, супероксиддисмутазы и гваякол-зависимой пероксидазы). Показаны различия фенотипов роста и защитных ответов апикальных и средних регенерантов в ответ на обработку гормонами в оптимальных условиях и в условиях гипотермии, которые могли быть связаны с различиями в гормональном балансе растений.

Работа выполнена при поддержке Программы развития ТГУ (Приоритет 2030).

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, гипотермия, пролин, аскорбиновая кислота, фенольные соединения, супероксиддисмутазы, гваякол-зависимая пероксидаза

THE ROLE OF MELATONIN AND IAA IN THE FORMATION OF COLD TOLERANCE IN POTATO REGENERANTS

Kadyrbaev M.K., Boyko E.V., Laptev N.I., Golovatskaya I.F.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Keywords: *Solanum tuberosum*, hypothermia, proline, ascorbic acid, phenolic compounds, superoxide dismutase, guaiacol-dependent peroxidase

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСТАКТОВ РАСТЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ НИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Казантаева М.^{1*}, Мешалкина Д.А.^{1,2}, Силинская С.А.³, Орлова А.А.³, Сухих С.А.⁴, Бабич О.О.⁴, Фролов А.А.³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений им.

К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

⁴ ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта», Институт живых систем, Калининград, Россия

*E-mail: mansya01@mail.ru

Несмотря на внушительные достижения синтетической химии в области создания новых лекарственных средств, природные соединения растительного происхождения в настоящее время являются неотъемлемой частью медицинской практики. Именно поэтому изучение лекарственных растений с точки зрения доказательной медицины является несомненно актуальной задачей. С помощью метилтетразолиевого теста (МТТ) был установлен профиль противоопухолевой и цитотоксической активности в отношении опухолевых клеток HeLa экстрактов десяти видов растений (в диапазоне от 1 до 200 мкг/мл), распространенных на территории Калининградской области, в частности - синеголовника приморского, копеечника забытого, тысячелистника обыкновенного, солодки голой, пижмы обыкновенной, вербейника обыкновенного, донника лекарственного, каштана конского и живокости полевой, а также ряда метаболитов, полученных из изучаемых видов растений в индивидуальном виде.

В ходе работы наиболее высокую цитотоксическую активность в отношении клеток HeLa продемонстрировали экстракты вербейника обыкновенного (LD50 10 мкг/мл), донника лекарственного (LD50 4.8 мкг/мл) и плоды каштана конского (LD50 39 мкг/мл).

Анализ цитотоксических свойств индивидуальных выделенных вторичных метаболитов, взятых в концентрации, выделенных из экстрактов исследуемых растений, показал сравнительно высокий эффект производные кемпферола (LD50 10 мкмоль/л), и 3,4-дигидроксibenзойной кислоты, выделенного из экстракта каштана (плоды) (LD50 при 20 мкмоль/л). Производное апигенина, полученное из тысячелистника обыкновенного (LD50 200 мкмоль/л), и гиперозид в исследовании показали очень низкую цитотоксичность – выживаемость клеток HeLa (LD50 180 мкмоль/л). Таким образом, было показано, что экстракты из растений вербейника обыкновенного и каштана конского, а также метаболиты, а именно кемпферол из экстракта синеголовника и 3,4-дигидроксibenзойная кислота из экстракта каштана конского обладают выраженной цитотоксической активностью и могут рассматриваться как перспективные лекарственные кандидаты с противоопухолевой активностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 21-76-10055).

Ключевые слова: цитотоксичность, противоопухолевая активность, метилтетразолиевый тест (МТТ), природные соединения, растительные экстракты, вторичные метаболиты растений

STUDY OF CYTOTOXIC PROPERTIES OF EXTRACTS OF PLANTS OF THE KALININGRAD REGION AND INDIVIDUAL BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ISOLATED THEREFROM

Kazantaeva M.^{1*}, Meshalkina D.A.^{1,2}, Silinskaya S.A.³, Orlova A.A.³, Sukhikh S.A.⁴, Babich O.O.⁴, Frolov A.A.³

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

² I. M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, St. Petersburg, Russia

³ Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, K.A. Timiryazev Plant Physiology Institute, Moscow, Russia

⁴ FGAU VI «BFU them. I. Kant», Institute of Living Systems, Kaliningrad, Russia

*E-mail: mansya01@mail.ru

Keywords: cytotoxicity, antitumor activity, methyltetrazolium test (MTT), natural compounds, plant extracts, secondary plant metabolites

ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ НА РОСТ И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ *TRITICUM AESTIVUM* (L.)

Каменева И.А.* , Якубовская А.И., Смирнова И.И., Гритчин М.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Российская Федерация

*E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru

Взаимодействие ризобактерий и растений, как фактор формирования эффективного агроценоза, являются актуальными в агробиотехнологии. Цель исследований – изучить влияние новых штаммов ризобактерий *Phyllobacterium ifriqiense* 6, *Agrobacterium radiobacter* 204, *Azotobacter* sp.3 и комплексов микробных препаратов (КМП-st и КМП-new) на рост растений, активность ферментов оксидоредуктаз в листьях, численность diaзотрофов и нитрогеназную активность в ризосфере/ризоплане *T. aestivum*. В условиях вегетационного опыта на вермикулите инокуляция способствовала повышению всхожести семян озимой пшеницы сорта Борвий до 86,7-100% (при 66,7% в контроле), увеличению длины надземной части растений на 16,8-22,2%. В вариантах с *Ph. ifriqiense* 6, *A. radiobacter* 204 и КМП-st в листьях отмечено снижение активности каталазы и полифенолоксидазы. КМП стимулировали развитие diaзотрофных бактерий: их численность в ризоплане растений в варианте с КМП-new на 77,8, 14,3, 52,4% превышала варианты с инокуляцией *Azotobacter* sp.3, *Ph. ifriqiense* 6, *Ag. radiobacter* 204 соответственно; с КМП-new – на 161,1, 67,9, 123,8% соответственно. В этом же варианте была самая высокая азотфиксация в опыте. На субстрате чернозем южный всхожесть инокулированных семян увеличилась до 46,7-86,7%. Отмечено повышение активности полифенолоксидазы в листьях в 3,3 -18,4 раза в сравнении с контролем. Штаммы *A. radiobacter* 204 и *Azotobacter* sp. 3 стимулировали активность трех исследуемых ферментов в листьях пшеницы. В ризосфере *T. aestivum* в варианте с *A. radiobacter* 204 при максимальной в опыте численности diaзотрофов азотфиксирующая активность была на уровне контроля. КМП-new, КМП-st и *Ph. ifriqiense* 6 способствовали повышению активности ассоциативной азотфиксации в 1,5, 1,9 и 2,7 раз относительно контроля. Таким образом, установлено положительное влияние ризобактерий на рост, ферментативную активность *T. aestivum*, а также численность и активность diaзотрофных бактерий в ризоплане и ризосфере.

Ключевые слова: ферментативная активность, азотфиксация, diaзотрофы, ризобактерии, *Triticum aestivum* (L.).

INFLUENCE OF RHIZOBACTERIA ON THE GROWTH AND ENZYMATIC ACTIVITY OF *TRITICUM AESTIVUM* (L.)

Kameneva I.A., Yakubovskaya A.I., Smirnova I.I., Gritchkin M.V.

Federal State Budgetary Institution of Science "Research Institute of Agriculture of the Crimea", Simferopol, Russian Federation

Keywords: enzyme activity, nitrogen fixation, diazotrophs, rhizobacteria, *Triticum aestivum* (L.).

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРАЙМИНГА ЛАКТОН- И КЕТОНСОДЕРЖАЩИМИ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ НА ОБРАЗОВАНИЕ КЛУБНЕЙ И СТОЛОНОВ КАРТОФЕЛЯ СОРТА ЛУГОВСКОЙ

Каретников А.И.* , Дорофеев В.Ю., Медведева Ю.В., Ефимова М.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: arsenicum03@yandex.ru

Получение семенного картофеля биотехнологическими методами является важным направлением в сельском хозяйстве. Микро- и миниклубни получают как *in vitro*, так и *ex vitro* (в гидропонике, аэропонике или защищенном грунте). В гидропонной культуре эффективным инструментом для повышения продуктивности растений и усиления клубнеобразования могут служить фитогормоны. Для проверки этой гипотезы нами было оценено влияние лактон- (24-эпибрассинолид, ЭБЛ) и кетонсодержащих (24-эпикастастерон, ЭПК) стероидных фитогормонов на клубне- и столонообразование растений картофеля среднераннего сорта Луговской. Многие лактонсодержащие брассиностероиды входят в состав запатентованных препаратов сельскохозяйственного назначения. Кетонсодержащие брассиностероиды менее изучены.

Растения картофеля (25 сут), полученные в условиях *in vitro*, путем микроклонального размножения на среде Мурасиге-Скуга (0,75) адаптировали *ex vitro* в течение 14 суток и распределили по четырём группам (контроль и растения, подвергнутые прикорневой гормональной обработке ($1 \cdot 10^{-10}$ М)). Через сутки корни растений промыли в дистиллированной воде и пикировали в гидропонную установку «Картофельное дерево» (КД-10). Для ирригации использовали среду Прянишникова с рН~ 6,7. В течение 10 недель регистрировали выживаемость растений, образование столонов и клубней, их размер, плотность.

Наиболее раннее появление клубней отмечено у растений, обработанных ЭПК, затем в хронологическом порядке: ЭБЛ, контроль. По интенсивности образования столонов и клубней статистически значимой разницы не установлено. Наиболее крупные клубни формировались у растений, обработанных ЭПК. Максимальная выживаемость растений показана при обработке ЭПК, минимальная – ЭБЛ.

Полученные результаты показывают, что кетонсодержащий брассиностероид эффективнее, чем лактонсодержащий при стимуляции столоно- и клубнеобразования картофеля сорта Луговской.

Исследование поддержано проектом Российского научного фонда (№ 23-44-10019).

Ключевые слова: брассиностероиды, картофель, прайминг, гидропоника

RESEARCH ON LACTONE- AND KETONE CONTAINING BRASSINOSTEROIDS PRIMING INFLUENCE TO FORMATION OF TUBERS AND STOLONS OF POTATO VARIETIES LUGOVSKOY

Karetnikov A.I., Dorofeev V.Yu., Medvedeva Yu.V., Efimova M.V.

National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk

Keywords: brassinosteroids, potato, priming, hydroponics

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА

Катаева М.Н.* , Беляева А.И.

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

*E-mail: mkmariakat@gmail.com

В регионе северо-запада европейской части недостаточно изучен уровень загрязнения эпифитных лишайников. Для его оценки необходимы данные по элементному составу лишайников в естественных условиях лесных сообществ. Определяли содержание микроэлементов в талломах эпифитных лишайников в сообществах средней тайги на юге Ладожско-Онежского перешейка, северо-восток Ленинградской области. Цель работы – оценка особенностей аккумуляции тяжелых металлов эпифитными лишайниками сем. *Parmeliaceae* (*Hypogymnia physodes*, *Pseudevernia furfuracea*, *Platismatia glauca*, *Bryoria fuscescens*), произрастающими в разных ландшафтных условиях на двух видах форофитах – сосне обыкновенной и можжевельнике обыкновенном. Разнообразие видов лишайников связано с распространением здесь массивов малонарушенных хвойных лесов. Содержание Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Cd и Pb в образцах лишайников и их субстратов (корки) определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре КВАНТ-АФА.

Выявлено, что содержание микроэлементов в лишайниках на побережье Ладожского озера отличается от концентраций в них в сосновых сообществах. На химический элементный состав эпифитных лишайников влияют особенности редких ландшафтов и сообществ – микроклимат побережья Ладожского озера, перенос осадков и ветровой режим. В регионе северо-запада европейской части состояние лесных сообществ, загрязнение их компонентов определяются расположением вблизи крупных промышленных центров. В результате анализов получены фоновые концентрации тяжелых металлов в лишайниках – Ni (0,78–2,7 мг/кг), Cu (2,1–6,2 мг/кг), Pb (1,9–8,3 мг/кг) и Cd (0,14–0,77 мг/кг). В микроместообитаниях различаются концентрации Mn, Fe, Pb и Cd. Металлы Ni, Co, Cu поступают в воздушную среду с выбросами металлургии. Вследствие атмосферного переноса примесей в этот фоновый район в лишайниках содержится кобальт (Co) (<1 мг/кг). Сообщества можжевельника на побережье Ладоги – ценные природные объекты, не загрязнены тяжелыми металлами.

Работа выполнена по госзаданию плановой темы НИР 2021–2023 гг. 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации».

Ключевые слова: эпифитные лишайники, средняя тайга, сосна, можжевельник

INFLUENCE OF LANDSCAPE-CLIMATIC AND PHYTOCENOTIC FACTORS ON CONCENTRATIONS OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHENS OF MIDDLE TAIGA FORESTS OF THE NORTHWEST

Kataeva M.N., Belyaeva A.I.

Komarov Botanical Institute of the RAS, Saint Petersburg, Russia

Keywords: epiphytic lichens, middle taiga, *Pinus sylvestris*, *Juniperus communis*

СИНХРОННЫЕ БИОРИТМЫ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИСТОВОЙ КРОНЫ РАСТЕНИЙ

Кашулин П.А., Калачева Н.В.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт, Кольский НЦ РАН, 184209 Апатиты, РФ
E-mail: falconet1@yandex.ru

Листовые пластинки древесной кроны находятся в разных температурно-световых режимах. При неблагоприятных локальных воздействиях быстрая адаптивная перестройка остальных частей дерева позволяет оптимизировать физиологическую реакцию всего организма. Для выяснения механизмов координации фотосинтетической активности листовых пластинок исследовали многодневную динамику флуоресценции хлорофилла *in situ* в зависимости от их положения в кроне и номера пластохрона. На базе “Dual PAM-100 P700”, Heinz Walz GmbH, ФРГ измеряли параметры флуоресценции хлорофилла, импульсно-модулированную флуоресценцию листьев при полностью открытых или закрытых реакционных центрах - F_0 и F_m , а также - F_v/F_m отражающий эффективность фотохимической конверсии ФС II. При многодневных измерениях флуоресценции хлорофилла в листьях видов *Ficus benjamina* и *Hibiscus rosa-sinensis*, была выявлена динамическая синхронность и цикличность параметра F_v/F_m с периодом 3-4 суток. Измерения проводили ежесуточно при стабильной температуре и освещенности. Такие ритмы «циркасемисептанные» обнаружены в разных организмах, включая млекопитающих. Они близки к полупериоду циркасемисептанных ритмов, происхождение которых связывают с секторной структурой ММП. Локальное облучение листьев УФ-А (“Camelion” WL-3016, $1,4 \div 1,6 \cdot 10^{-6}$ Вт · м⁻²) вызвало доза-зависимую десинхронизацию ритмов параметров флуоресценции листьев в облученной части кроны и быстрое убывание соответствующих парных корреляций временных рядов. В контрольной части кроны сохранялась высокая корреляция динамики параметров флуоресценции у соседних листьев. Через пять суток происходило восстановление синхронности динамики облученных листьев. Старение и видимое пожелтение листьев приводило к утрате ими синхронности и ритмичности.

Ключевые слова: флуоресценция хлорофилла, биоритмы, синхронность, ультрафиолетовая радиация

SYNCHRONOUS BIORHYTHMS OF PHOTOCHEMICAL ACTIVITY IN PLANT FOLIAGE CANOPY

Kashulin P.A., Kalacheva N.V.

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Centre, RAS, 184209
Apatity, Russian Federation
E-mail: falconet1@yandex.ru

Keywords: chlorophyll fluorescence, biorhythms, synchronism, UV radiation

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВАРИИРОВАНИЕ И КОЭВОЛЮЦИЯ БОБОВЫХ РАСТЕНИЙ ГАЛЕГОИДНОГО КОМПЛЕКСА И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С НИМИ ВИДОВ РИЗОБИЙ

Кимеклис А.К., Андронов Е.Е. *, Хосид С.Л., Иголкина А.А., Карасев Е.С.,
Онищук О.П., Курчак О.Н., Проворов Н.А.

ФГБНУ ВНИИСХМ, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

*E.mail: eeandr@gmail.com

Бобовые растения являются основным фактором эволюции клубеньковых бактерий, генетическую изменчивость которых мы изучали на примере политипических видов *Neorhizobium galegae* и *Rhizobium leguminosarum* – симбионтов растений галегоидного комплекса, включающего трибы Galegae, Fabeae и Trifolieae. Штаммы *N. galegae* биовара *orientalis*, вступающего в симбиоз с козлятником восточным (*Galega orientalis*), более полиморфны по коровым и симбиотически специализированным генам, чем штаммы *bv. officinalis* – симбионты козлятника лекарственного, *G. officinalis*, что соответствует более высокой морфологической и генетической изменчивости *G. orientalis* по сравнению с *G. officinalis*. Штаммы *R. leguminosarum* *bv. trifolii* – симбионты бобовых рода *Trifolium*, более полиморфны, чем штаммы *bv. viciae*, которые являются симбионтами 5 родов бобовых (*Lathyrus*, *Lens*, *Pisum*, *Vavilovia*, *Vicia*) из трибы Fabeae. Для выяснения причины несоответствия между генетической изменчивостью двух биоваров *R. leguminosarum* и их растений-хозяев мы сравнили полиморфизм локуса ITS у 178 видов бобовых из трибы Fabeae и у 102 видов *Trifolium*. Для разных видов *Trifolium* средняя величина *p*-distance равна $0,0592 \pm 0,0049$, а для трибы Fabeae – $0,0437 \pm 0,0039$ ($t_{st} = 2,48$; $P_0 < 0,05$). Таким образом, генетический полиморфизм растений-хозяев вида *R. leguminosarum*, как и в системе “*Galega* spp. – *N. galegae*”, соответствует полиморфизму микросимбионтов. Важно, что полиморфизм биоваров *R. leguminosarum* коррелирует с геномной диверсификацией растений-хозяев (ITS), а не с их таксономической (фенотипической) диверсификацией, указывая на то, что коэволюция партнеров происходит на уровне их геномов. Об этом свидетельствует также высокая корреляция между полиморфизмом компонентов сигнально-рецепторного комплекса: гена *nodA*, определяющего синтез Nod-факторов у *R. leguminosarum* и гена *NFR5*, кодирующего узнавание этих факторов растениями-хозяевами штаммов *bv. trifolii* (клевер) или *bv. viciae* (вика, чина).

Работа поддержана грантом РФФ № 19-16-00081-П

Ключевые слова: бобовые, ризобии, симбиоз, эволюция

PARALLEL VARIATION AND CO-EVOLUTION OF PLANTS OF THE GALEGOID COMPLEX AND RHISOBIAL SPECIES INTERACTING WITH THEM

Kimeklis A.K., Andronov E.E. *, Khosid S.L., Igolkina A.A., Karasev E.S.,
Onishchuk O.P., Kurchak O.N., Provorov N.A.

ARRIAM, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

*E.mail: eeandr@gmail.com

Keywords: legumes, rhizobium, symbiosis, evolution

СИМБИОТЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС В КЛУБЕНЬКАХ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.), СФОРМИРОВАННЫХ “НОВЫМ” СИМБИОНТОМ *RHIZOBIUM LAGUERREAE*

Киричек Е.А.* , Цыганова А.В., Цыганов В.Е.

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: e.kirichek@arriam.ru

Клеточные стенки Бобовых и ризобий, а также внеклеточный матрикс составляют симбиотический интерфейс, необходимый для взаимодействия, координации развития и обмена питательными веществами между партнерами в симбиозе. Ремоделирование симбиотического интерфейса в ходе взаимодействия гороха посевного (*Pisum sativum*) сорта Rondo с шестью штаммами *Rhizobium laguerreae* изучали с помощью иммуно- и цитохимических методов флуоресцентной микроскопии.

Локализация метил-этерифицированного гомогалактуронана (ГГ), выявляемого с помощью антител JM7 и LM20 (высокий уровень метилирования) и JM5 и LM19 (низкий уровень метилирования), а также димера ГГ, сшитого ионами кальция, меченного антителом 2F4, была характерной для клубеньков гороха во всех вариантах. Метку наблюдали в клеточных стенках, в том числе в стенках инфекционных нитей.

Арабиногалактанпротеин-экстенсин матрикса инфекционных нитей, распознаваемый MAC265, показал различную локализацию в зависимости от использованного штамма. В норме метка присутствует в матриксе инфекционных нитей и капель, однако для клубеньков, сформированных штаммами AMPS04, AMPS17 и AMPS23, метку наблюдали в цитоплазме, а в клубеньках, сформированных AMPS34, метка обильно присутствовала в межклеточном пространстве.

В клубеньках, образованных штаммом AMPS34, в стенках недавно инфицированных клеток в зоне инфекции наблюдали отложение каллозы, что свидетельствует об активации защитных реакций в этих клубеньках.

Суберин откладывался в клетках клубеньков, сформированных штаммом AMPS23 в виде капель в вакуолях. В клубеньках, сформированных штаммом AMPS04, в вакуолях наблюдали отложения неизвестной природы.

Таким образом, выявлены общие и штаммоспецифичные черты ремоделирования клеточной стенки при формировании и функционировании клубеньков гороха, инокулированного *R. laguerreae*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-16-00090.

Ключевые слова: бобово-ризобийный симбиоз, *Pisum sativum*, *Rhizobium laguerreae*, симбиотический интерфейс, клеточная стенка, иммунолокализация

SYMBIOTIC INTERFACE IN PEA (*PISUM SATIVUM* L.) NODULES FORMED BY THE “NEW” SYMBIONT *RHIZOBIUM LAGUERREAE*

Kirichek E.A., Tsyganova A.V., Tsyganov V.E.

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

Keywords: legume-rhizobial symbiosis, *Pisum sativum*, *Rhizobium laguerreae*, symbiotic interface, cell wall, immunolocalization

РОЛЬ H^+ -АТФАЗЫ ПЛАЗМАЛЕММЫ В ПРОЦЕССЕ РОСТА КЛЕТОК КОЛЕОПТИЛЕЙ ПРОРОСТКОВ РИСА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА

Кирпичникова А.А.*, Бикташева М.О., Богданова Е.М., Бертова А.Д.,
Кондратьева А.В., Смирнов П.Д., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: nastin1972@mail.ru

Рост растяжением клеток coleoptилей злаков зависит от активности H^+ -АТФазы плазмалеммы (ПМ). Однако, данные о транскрипционной активности генов, кодирующих этот фермент-транспортёр, в условиях гипоксии полностью отсутствуют. Анализ экспрессии генов семейства H^+ -АТФаз ПМ (суммарно 10 генов) было проведено нами на модельных сортах, контрастных по скорости роста coleoptилей на 3, 5 и 7 день развития, на этапах изменения интенсивности роста. Для медленно растущих проростков сорта Аметист накопление продуктов транскрипции в условиях нормоксии отмечено усиление экспрессии генов *OSA3*, 5 и 7. Наибольшие изменения (12 кратные) были характерны для гена *OSA3*. Тем самым, повышение экспрессии генов интереса соответствовало усилению роста coleoptилей. Однако при недостатке кислорода экспрессия всех тестируемых генов была практически недетектируемой. В coleoptилях быстрорастущего сорта Кубань 3 при нормоксии накопление продуктов на 5 день было детектировано для 7 из 10 генов семейства. Наибольшим накоплением продуктов экспрессии отличался ген *OSA3* (20-кратное). В условиях гипоксии для всех генов, за исключением *OSA3*, было зарегистрировано накопление продуктов транскрипции, причем в ряде случаев (*OSA7* и *OSA10*) это накопление было почти 30-кратным. Максимум был зарегистрирован на 7 сутки развития проростков. Полученные данные позволяют предположить, что недостаток кислорода вызывает различный адаптивный ростовой ответ у медленно- и быстрорастущего сорта, что опосредовано изменением профиля экспрессии генов, кодирующих H^+ -помпу ПМ.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 22-14-00096.

Ключевые слова: coleoptили риса, гипоксия, H^+ -АТФазы плазмалеммы.

THE ROLE OF PLASMA MEMBRANE H^+ -ATPASE DURING THE GROWTH OF COLEOPTILE CELLS IN RICE SEEDLINGS UNDER OXYGEN DEPRIVATION.

Kirpichnikova A.A., Biktasheva M.O., Bogdanova E.M., Bertova A.D.,
Kondratieva A.V., Smirnov P.D., Yemelyanov V.V., Shishova M.F.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Keywords: rice coleoptile, hypoxia, H^+ -ATPase plasma membrane.

МУЛЬТИГЕННОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ CRISPR/CAS9 В ИЗУЧЕНИИ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ АРХИТЕКТУРЫ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ

Кiryushkin A.S. *, Илина Е.Л., Кийкова Т.Ю., Демченко К.Н.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: akiryushkin@binran.ru

Формирование угла наклона боковых корней относительно продольной оси родительского корня – скоординированный процесс работы различных генов, в частности генов семейства *IGT (LAZY1/TAC1/DRO1)*. Целью данного исследования является выяснение роли гена *DRO1* огурца (*Cucumis sativus*) в регуляции изменения угла наклона боковых корней. С помощью филогенетического анализа у огурца было выявлено три предполагаемых ортолога – *CsDRO1a*, *CsDRO1b* и *CsDRO1c*. Известно, что ауксин играет важную роль в формировании угла наклона боковых корней. Результаты количественной ПЦР в режиме реального времени показали, что только один из них (ген *CsDRO1a*) был чувствителен к ауксину. Локализация активности промоторов трёх генов *DRO1* с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии показала, что гены экспрессируются в рядах клеток центрального цилиндра, эндодермы и коры. Таким образом эти гены демонстрируют частично перекрывающийся паттерн экспрессии в корнях огурца. С помощью системы редактирования CRISPR/Cas9 был проведён нокаут генов *CsDRO1 (CsDRO1a, CsDRO1b или CsDRO1c)* по отдельности. Также было проведено одновременное редактирование сразу трёх генов. В обоих вариантах нокаут не повлиял на изменение угла выхода боковых корней. Полученные данные свидетельствуют в пользу того, что данные гены не влияют на формирование угла наклона у боковых корней на этапе их выхода из тела родительского корня огурца. Работа выполнена в рамках темы Государственного задания (№ 0126-2018-0025).

Ключевые слова: CRISPR/Cas, корневые системы, генетическое редактирование, огурец, *DRO1*, тыквенные.

APPLICATION OF MULTIGENE CRISPR/CAS9-MEDIATED EDITING FOR STUDY THE REGULATORY MECHANISMS DURING ROOTS SYSTEM ARCHITECTURE FORMATION

Kiryushkin A.S., Ilina E.L., Kiikova T.Y., Demchenko K.N.

Komarov Botanical Institute, Saint Petersburg, Russia

Keywords: CRISPR/Cas, root system, gene editing, cucumber, *DRO1*, cucurbits.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОМОТОРНОЙ ОБЛАСТИ ГЕНОВ *PPD-1* НА ВРЕМЯ КОЛОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ *T. AESTIVUM*, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ

Киселёва А.А.^{*1,2}, Тимонова Е. М.^{1,2}, Бережная А.А.¹, Салина Е.А.^{1,2}

¹ ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН»,
Новосибирск, Россия

² Курчатовский геномный центр, Институт цитологии и генетики СО РАН,
Новосибирск, Россия

*E-mail: antkiseleva@bionet.nsc.ru

Для модификации времени колошения, признака, важного для увеличения адаптированности и урожайности сельскохозяйственных растений, мы выбрали гены *Ppd-1*. С использованием методов геномного редактирования CRISPR/Cas9, была получена коллекция растений с мутациями в промоторной области этих генов. На материале полученной коллекции, у растений, выращенных в условиях короткого светового дня, была проанализирована экспрессия генов *Ppd-1* в течение суток. Анализ показал, что большая часть растений, содержащих изменения в промоторной области генов *Ppd-1*, характеризуется разрегулированным паттерном экспрессии (присутствует экспрессия в ночной период, пики экспрессии днём сдвинуты). Этот результат подтверждает нашу гипотезу о роли сайтов связывания транскрипционных репрессоров в промоторной области *Ppd-1*. В дальнейшем мы планируем проверить эффект полученных мутаций на время колошения на материале растений Т1.

Данная работа выполнена при поддержке Курчатовского геномного центра ИЦиГ СО РАН (№075-15-2019-1662) и бюджетного проекта FWNR-2022-0041.

Ключевые слова: мягкая пшеницы, время колошения, фотопериод, геномное редактирование

THE ROLE OF REGULATORY ELEMENTS IN THE PROMOTER REGION OF *PPD-1* GENES ON THE HEADING TIME OF *T. AESTIVUM* PLANTS OBTAINED USING THE GENOME EDITING

Kiseleva A.A.^{1,2}, Timonova E.M.^{1,2}, Berezhnaya A.A.¹, Salina E.A.^{1,2}

¹ Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Kurchatov Genomic Center, Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Keywords: common wheat, heading time, photoperiod, genome editing

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС РАЗНОВОЗРАСТНЫХ КЛЕТОК ПЕРВОГО ЛИСТА ЯЧМЕНЯ

Киселева И.С. *, Синенко О.С., Тугбаева А.С., Ермошин А.А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Российская Федерация

*E-mail: irina.kiseleva@urfu.ru

Лист ячменя заканчивает апикальный рост по достижении 0,3 мм и переходит к интеркалярному, что обуславливает пространственное разграничение клеток разного возраста в первом листе. Микроскопические исследования позволили выделить в нем зоны деления, растяжения и дифференцированных клеток.

В онтогенезе клетки её объем возрастал в 17 раз. Число пластид в фазу растяжения росло быстрее, чем объем клетки. Объем пластид мало менялся в меристеме и зоне растяжения и сильно возрастал к концу растяжения и дифференцировки. Фотосинтез увеличивался более чем в 100 раз, гетеротрофная фиксация CO_2 – в 3,2 раза, содержание хлорофиллов – в 40 раз. Эффективность фотохимических процессов возрастала в разные фазы онтогенеза клетки, при этом максимальный квантовый выход ФСII не менялся.

С возрастом клетки росла доля углеводов продуктов, а неуглеводных снижалась, что свидетельствует об уменьшении доли гетеротрофной фиксации в общей фиксации CO_2 в процессе развития клетки и уменьшении доли альтернативных путей фотосинтеза. Активность РУБИСКО и НАДФ-ДГ ФГА возрастала в 53 и 49,5 раз, соответственно, а количество ферментов – в 20 и 3,2 раза. Активность ФЕПК уменьшалась в 2 раза. В зрелых клетках количество РУБИСКО, НАДФ-ДГ ФГА и ФЕПК составило, соответственно, 51%, 12% и 10% от растворимых белков клетки.

По мере развития клетки происходил переход от гетеротрофного метаболизма к автотрофному. Развитие фотосинтетической активности в онтогенезе клетки явилось интегральным результатом, включающим увеличение числа пластид, количества и активности ключевых ферментов фотосинтеза, накопления хлорофилла и дифференциальной экспрессии ядерных и пластидных генов, вовлеченных в фотоавтотрофную функцию листа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания FEUZ-023-0023.

Ключевые слова: онтогенез клетки, фотосинтетический аппарат, РУБИСКО, ФЕПК, продукты фотосинтеза.

PHYSIOLOGICAL STATUS OF BARLEY LEAF CELLS OF DIFFERENT AGE

Kiseleva I.S. *, Sinenko O.S., Tugbaeva A.S., Ermoshin A.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation

*E-mail: irina.kiseleva@urfu.ru

Keywords: cell ontogenesis, photosynthetic apparatus, Rubisco, PEPc, photosynthesis products

ВЛИЯНИЕ МЕМБРАН ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКОГО РЕТИКУЛУМА И ВАКУОЛЕЙ НА ИМПОРТ ДНК В МИТОХОНДРИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM*)

Клименко Е.С., Тарасенко Т.А., Тарасенко В.И., Шмаков В.Н.,
Нестеркина И.С., Озолина Н.В., Кулинченко М.В., Константинов Ю.М.*

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
Иркутск, Российская Федерация

*E-mail: yukon@sifibr.irk.ru

Молекулярная природа и физиологическое значение природной компетентности митохондрий к поглощению (импорту) ДНК остаются пока недостаточно изученными. Цель исследования - изучение роли взаимодействия митохондрий с мембранной фракцией эндоплазматического ретикулума (ЭР) и вакуолей в митохондриальном импорте ДНК в реконструированной системе. Впервые установлено, что в системе *in organello* добавление к митохондриям как микросомальной фракции, так и рафтов тонопласта приводит к значительному возрастанию активности импорта ДНК в эти органеллы. Обнаруженный эффект, по-видимому, связан с активирующим влиянием структурных компонентов рафтов на работу транспортных систем митохондрий, которые задействованы в импорте ДНК. Обнаружено, что добавление микросомальной фракции к митохондриям стимулирует в наибольшей степени импорт молекул ДНК с определенным диапазоном длин (700-3000 п.н.). Установлено, что стресс ЭР, вызванный обработкой проростков и протопластов арабидопсиса туникамицином, не имеет прямого отношения к процессу транспорта ДНК в митохондрии *in vivo*. При использовании мутантных линий арабидопсиса *om47* и *mic60*, в митохондриальных мембранах которых отсутствуют белки AtOM47 и AtMIC60, потенциально ответственные за образование межмембранных контактов, не обнаружено эффекта их отсутствия на импорт ДНК в двух системах, *in organello* и в протопластах. Использование в реконструированной системе основной микросомальной фракции (МФ) из мутантных линий *om47* и *mic60* приводило к снятию активирующего импорт ДНК эффекта МФ. Напротив, при использовании линий арабидопсиса, мутантных по изоформам порина (VDAC), в особенности *vdac1*, наблюдалось значительное усиление активирующего эффекта МФ. Обнаруженную с применением реконструированной системы модуляцию активности импорта ДНК в митохондрии можно объяснить участием в этом процессе белков мембранных контактных сайтов митохондрий и ЭР, выполняющих, вероятно, роль как компонентов ДНК-проводящего канала, так и регуляторов этого процесса.

Ключевые слова: митохондрии, импорт ДНК, эндоплазматический ретикулум, вакуоль, мембранные контактные сайты, липидные рафты

THE INFLUENCE OF ENDOPLASMIC RETICULUM AND VACUOLAR MEMBRANES ON DNA IMPORT INTO POTATO (*SOLANUM TUBEROSUM*) TUBERS MITOCHONDRIA

Klimenko E.S., Tarasenko T.A., Tarasenko V.I., Shmakov V.N., Nesterkina I.S.,
Ozolina N.V., Koulintchenko M.V., Konstantinov Yu.M.

The Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Keywords: mitochondria, DNA import, endoplasmic reticulum, tonoplast, membrane contact sites, lipid rafts

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИЙ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*Picea abies* (L.) H. Karst.) К ПОСЛЕДСТВИЯМ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Климова А.В.,* Галибина Н.А., Никерова К.М., Софронова И.Н.,
Новичонок Е.В., Пеккоев А.Н.

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия

*E-mail: anna-uspenskaya96anna@yandex.ru

С целью изучения влияния разного уровня освещения на фотосинтетический аппарат ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) был заложен эксперимент, в ходе которого была произведена рубка лиственных пород, образующих полог. Эта работа впервые освещает участие ферментов углеводного метаболизма, антиоксидантной системы и вторичного метаболизма в перераспределении кислорода при изменении донорно-акцепторных отношений листового аппарата и тканей ствола древесного растения в условиях рубки осветления – как одного из наиболее часто производимых лесохозяйственных мероприятий.

Хвоя первого (X1) и второго (X2) годов при её исследовании на активность ферментов и содержание метаболитов углеводной и фенольной природы показала отклик в течение одного вегетационного периода, что свидетельствует о её возможном использовании в качестве индикатора изучаемых процессов при формировании древесины в условиях измененных донорно-акцепторных отношений.

X1 в опыте содержала меньше хлорофилла, однако соотношение и доля пигментов в ССК не изменялась по отношению к контролю, при этом супероксиддисмутаза (СОД) и полифенолоксидаза (ПФО) возрастали, что показывало их участие в перераспределении кислорода и супероксидного радикала (O_2^-). В X2 СОД значительно возрастала в опыте уже через сутки после осветления, так как, вероятно, участвовала в перехвате O_2^- , что подтверждается понижением ПФО, предотвращая ингибирование фотофосфорилирования фенольными соединениями, используя их в качестве субстратов, о чем свидетельствует изменение их содержания.

Также, в опыте у X1 увеличивалось содержание сахарозы, которая активно метаболизировалась апопластной инвертазой, и фенольных соединений при возрастании фенилаланинаммак-лиазы. У X2 уже через сутки снизилось содержание фенольных соединений и последующая метаболизация за счет ПФО.

В целом, X2 характеризовалась откликом уже через сутки опыта с последующей стабилизацией показателей, а X1 постепенно адаптировала фотосинтетический аппарат к концу вегетационного периода.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по государственному заданию Института леса Карельского научного центра Российской академии наук. Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Ключевые слова: антиоксидантная система, вторичный метаболизм, супероксиддисмутаза, полифенолоксидаза, фенилаланинаммак-лиаза, полифенолоксидаза

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL MECHANISMS OF ADAPTATIONS OF EUROPEAN SPRUCE (*Picea abies* (L.) H. Karst.) TO THE CONSEQUENCES OF FORESTRY MEASURES

Klimova A.V., Galibina N.A., Nikerova K.M., Sofronova I.N., Novichonok E.V.,
Pekkoiev A.N.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Keywords: antioxidant system, secondary metabolism, superoxide dismutase, polyphenol oxidase, phenylalanine ammonia lyase, polyphenol oxidase

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПОСЕВОВ СОРТОВ РИСА

Ковалев В.С., Скаженник М.А.* , Григорьев А.О., Пшеницына Т.С.

ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», п. Белозерный, 3, Краснодар, Россия.

*E-mail: sma_49@mail.ru

Селекционерами «ФНЦ риса», с учетом особенностей донорно-акцепторных отношений, созданы новые поколения сортов риса, которые имеют высокую потенциальную урожайность и приспособленность к местным почвенным и климатическим условиям. Это Каурис, Престиж, Наутилус, Юбилейный 85, Рапан 2 и другие. В этом исследовании определяли количественные признаки связанные с формированием урожайности новых сортов риса. Рассмотрены результаты исследований по формированию элементов структуры урожайности сортов риса в зависимости от фона минерального питания. Установлен ряд количественных признаков сортов, имеющих тесную связь с их урожайностью. Полученные результаты показали, что повышение урожайности у сортов риса произошло за счет увеличения массы зерна с растения, приведшее к повышению числа зерновок на единице площади посева. Эти изменения в продукционном процессе у исследуемых генотипов риса возникли в соответствии с их генетической программой роста и развития и осуществляются в основном с помощью фитогормонов. Интегральным показателем данных изменений является величина коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{хоз}$), показывающая долю использования ассимилятов посева на формирование урожая зерна. Для изучения корреляционной взаимосвязи между количественными признаками были построены вариационные ряды семи признаков. При анализе результатов в матрице коэффициентов корреляции было обнаружено 8 пар коррелируемых признаков (урожайность и число продуктивных побегов на 1 м^2 ; урожайность и число зерен на 1 м^2 ; урожайность и масса зерна с растения; число продуктивных побегов и число зерен на 1 м^2 ; число продуктивных побегов и масса зерна с растения; число продуктивных побегов и коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза; число зерен на 1 м^2 и масса 1000 зерен; число зерен на 1 м^2 и масса зерна с растения) показавшие сильную связь, и 3 пары признаков показавшие среднюю (урожайность и масса 1000 зерен, число зерен на метелке и уборочный индекс; масса 1000 зерен и масса зерна с растения), которые нужно учитывать и необходимо использовать при создании новых высокопродуктивных сортов риса. Сделано заключение, что среди значительного числа признаков и показателей, характеризующих продукционную деятельность посевов сортов риса, наиболее важными являются: масса зерна с растения, число зерновок в метелке и на 1 м^2 , доля зерна в массе посева ($K_{хоз}$) и урожайность сорта в полную спелость.

Ключевые слова: рис, сорт, продукционный процесс, элементы урожая, урожайность

RESEARCH OF RICE CROPS IN RELATION TO THEIR STATE

Kovalyov V.S., Skazhennik M.A., Grigoriev A.O., Pshenitsyna T.S.

FGBNU «Federal Scientific Rice Centre», p/o Belozernoe, 3 Krasnodar, Russia

Keywords: rice, variety, production processes, yield elements, yield

РОЛЬ ГИСТИДИНА В ПОГЛОЩЕНИИ И ТРАНСПОРТЕ НИКЕЛЯ И ЦИНКА У ГИПЕРАККУМУЛЯТОРА *NOCCAEA CAERULESCENS* ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И КОМБИНИРОВАННОМ ДЕЙСТВИИ МЕТАЛЛОВ

Кожевникова А.Д.^{1*}, Серегин И.В.¹, Схат Х.²

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.

² Свободный Университет, Амстердам, Нидерланды

*E-mail: ecolab-ipp@yandex.ru

Свободный гистидин играет важную роль в детоксикации, транспорте и механизмах гипераккумуляции никеля (Ni) и цинка (Zn). Изучено влияние L-гистидина на поглощение и транслокацию Ni и Zn при раздельном и комбинированном действии у растений гипераккумулятора *Noccaea caerulescens* (популяции Monte Prinzera (MP), с серпентиновых почв и La Calamine (LC), St. Félix de Pallières (SF) и Durfort (Du) с каламиновых почв). Цинк в значительной степени ингибировал поглощение Ni у растений популяций Du, SF и MP, но не у LC, тогда как значительного влияния Ni на поглощение Zn не наблюдалось. В присутствии Zn существенно снижалось содержание Ni в корнях у MP, Du, SF и только у предобработанных L-гистидином растений LC при 200 мкМ Ni и Zn, а Ni в большинстве случаев не влиял на содержание Zn в корнях. Цинк в большинстве случаев не оказывал существенного влияния на загрузку Ni в ксилему, тогда как при 50 мкМ Ni/Zn у растений LC и SF уменьшалась загрузка Zn, хотя значительное снижение наблюдалось только у растений, предобработанных гистидином. У MP и Du Ni не влиял ни на загрузку Zn в ксилему, ни на концентрацию Zn в пасоке. Предобработка L-гистидином в основном не влияла на поглощение Ni и Zn, часто снижала содержание Ni в корнях, особенно у SF, уменьшала накопление Zn в корнях у SF, но увеличивала у MP, и не изменяла у LC и Du. Расчет эффективности загрузки металлов в ксилему в процентах от суммарного поглощения показал, что предобработка L-гистидином в большинстве случаев значительно увеличила загрузку Ni в ксилему у растений всех популяций, а загрузку Zn у LC при 200 мкМ Zn ± Ni и у SF при 50 и 200 мкМ Zn (-Ni), но не у Du или MP. Таким образом, высокая концентрация гистидина в корнях *N. caerulescens* может не только объяснить сохраняющуюся на уровне вида способность к гипераккумуляции Ni, но также может способствовать транслокации Zn, по крайней мере, у растений популяций, произрастающих не на богатых Ni почвах.

Исследования выполнены за счет средств РФФ (проект № 21-14-00028).

Ключевые слова: цинк, никель, гистидин, гипераккумуляция

THE ROLE OF HISTIDINE IN NICKEL AND ZINC UPTAKE AND TRANSLOCATION IN THE HYPERACCUMULATOR *NOCCAEA CAERULESCENS* UNDER SEPARATE AND COMBINED METAL TREATMENTS

Kozhevnikova A.D.¹, Seregin I.V.¹, Schat H.²

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands

Keywords: zinc, nickel, histidine, hyperaccumulation

ЭКСПРЕССИЯ РЕГУЛЯТОРНЫХ ГЕНОВ В ПРОЦЕССЕ ИНИЦИАЦИИ И РАЗВИТИЯ КЛУБНЕЙ

Колачевская О.О.* , Ломин С.Н., Дейграф С.В., Романов Г.А.

Институт Физиологии Растений им. К.А. Тимирязева Российской Академии Наук,
Москва, Россия

*E-mail: yatrushbox@mail.ru

Вопросы регуляции цветения и клубнеобразования давно находятся в центре внимания исследователей. И если в XX веке ключ к ним искали в гормональной регуляции, то сейчас уже очевидно, что наряду с ней и, по-видимому, в тесном взаимодействии, работает ряд негормональных стимулов, таких как транскрипционные факторы и сигнальные белки. Мы исследовали изменения в экспрессии генов гормонального сигналинга и связанных с клубнеобразованием транскрипционных факторов в наиболее важных органах растений картофеля (*Solanum tuberosum* L. cv. Désirée).

При сокращении длины дня, стимулирующей клубнеобразование, в листьях растений обнаружилось значительное повышение экспрессии ряда генов семейства *PEBP*: *StBEL5*, *StSP6A*, *StSP3D*, и снижение активности *StTFL1*, *StSP5G*. Широкий анализ экспрессии генов, связанных с клубнеобразованием в динамике развития клубней показал, что наибольшую активность многие из них проявляют в кончиках столонов и молодых терминальных клубнях. При этом, в ходе инициации клубней в кончике столона наблюдается значительное (в 2-10 раз) снижение активности большинства генов цитокининового сигналинга и негормональных факторов. Не изменяется экспрессия многих генов ауксинового сигналинга, генов *StGA2ox1*, *StDELLA* сигналинга гиббереллинов, но в 4.5 раза усиливается экспрессия гена *StBEL11*, считающегося антагонистом ключевого регулятора цветения и клубнеобразования *StBEL5*. В дальнейшем процессе развития клубней уровень транскриптов *StBEL5*, *StBEL11*, *StSP5G* в клубнях превышает таковой в столонах, в противоположность уровню *StBEL29*, *StSP6A*. Экспрессия большинства генов не отличается принципиально в терминальных и пазушных клубнях, однако, из 96 исследованных генов порядка десяти демонстрируют разный уровень транскрипции, что может приводить к различиям в развитии и/ или физиологии клубней.

Работа поддержана РФФ, гранты № 17-74-20181 и 22-14-00259.

Ключевые слова: клубнеобразование, гормональная регуляция, транскрипционный фактор

REGULATORY GENES EXPRESSION DURING TUBERS INITIATION AND DEVELOPMENT

Kolachevskaya O.O., Lomin S.N., Deygraf S.V., Romanov G.A.

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: tuber formation, hormonal regulation, transcription factor

ЦИТОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ *BETA VULGARIS* L. В СЕЛЕКЦИОННО-БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Колесникова Е.О.* , Пономарева С.В., Бердников Р.В.

Селекционно-генетический центр ООО «СоюзСемСвекла»,
пос. ВНИИСС, Рамонский район, Воронежская область, Россия

*E-mail: kolesnikovaeo@souzsemsvekla.ru

В селекционно-биотехнологическом процессе при получении микроклонов либо гаплоидов растений *in vitro* важной составляющей является отбор перспективных образцов по генотипу и фенотипу. Обязательным при этом является пыльцевой анализ. Качество пыльцевых зерен - один из важнейших факторов, определяющих способность к формированию полноценных семян у перекрестноопыляемых растений, к которым относится *Beta vulgaris* L. Цель работы - анализ препаратов пыльцы растений сахарной свеклы, отобранных для введения эксплантов *in vitro* при получении микроклонов селекционно-ценных генотипов. Материалом для исследования послужили соцветия растений МС формы, О-типа и ОП *Beta vulgaris* L. Работы проводились в отделе биотехнологии ООО «СоюзСемСвекла» с использованием микроскопа Zeiss AxioLab A1 (объектив с увеличением $\times 40$). В результате были получены данные о размере, строении, качестве, аномалиях и дефектах пыльцы растений, что позволило выявить перспективный селекционный материал. Размер зрелых хорошо окрашенных пыльцевых зерен *Beta vulgaris* составил 20–16 мкм, размер пыльцы с плазмолизом, пустой, стерильной и деформированной - 19–14 мкм. По степени фертильности было выделено две группы ОП и О-типов: фертильные (99–80% фертильных ярко окрашенных зерен одинакового размера) и полуфертильные (показатель фертильности ниже 80%, к ним же были отнесены образцы с пыльцевыми зернами, имеющими нарушения в развитии). Последние были отбракованы. Пыльца всех МС форм оказалась стерильной. Образцы с пыльцой соответствующего качества исследовались с помощью молекулярно-генетического анализа по типу цитоплазмы и ядра, после чего отбирались нужные селекционные формы – доноры эксплантов для введения *in vitro*. Исследования позволили оценить цитогистологический статус зрелых пыльников растений сахарной свёклы различных селекционных форм, что характеризовало их репродуктивный потенциал. Полученные данные были использованы при проведении отбора среди селекционного материала *Beta vulgaris* для дальнейшей работы.

Ключевые слова: пыльцевое зерно, сахарная свекла, МС-форма, О-тип, ОП, фертильность, стерильность.

CYTOLOGICAL STUDY OF *BETA VULGARIS* L. IN BREEDING AND BIOTECHNOLOGICAL WORK

Kolesnikova E.O.* , Ponomareva S.V., Berdnikov R.V.

Breeding and Genetic Center LLC «UnionBetaSeed»,
pos. VNISS, Ramonsky district, Voronezh region, Russia

*E-mail: kolesnikovaeo@souzsemsvekla.ru

Keywords: pollen grain, sugar beet, MS-form, O-type, OP, fertility, sterility.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ЗАСОЛЕНИЮ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ

Коломейчук Л.В. *, Воскобоев П.Д., Ефимова М.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия;

*E-mail: kolomeychuklil@mail.ru

Засоление является доминирующим стрессорным фактором, лимитирующим рост и продуктивность сельскохозяйственных культур. Экологически безопасных и экономически эффективных методов очистки загрязненных территорий в настоящее время не существует. В связи с этим следует разрабатывать технологии, повышающие устойчивость растений к повреждающему действию абиотических факторов. Брассиностероиды весьма перспективны для создания эффективных и экологически безопасных природных стресс-протекторных регуляторов.

Исследования проводили на растениях рапса сорта Вестар. Семена рапса стерилизовали 80% спиртом и проращивали в перлите в течение 7 суток. Далее проростки помещали в условия гидропоники на питательную среду Хогланда-Снайдерса. После этого 3-недельные растения рапса переносили на ту же среду с добавлением 24-эпибрасинолида (ЭБЛ), в концентрации 0,1 нМ на 4 часа. В дальнейшем растения помещали на 6 суток на питательную среду со 150 мМ NaCl.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях солевого стресса наблюдается падение показателей максимального (F_v/F_m) и эффективного ($Y(II)$) квантовых выходов фотосистемы II на 55 и 65% и увеличение квантового выхода нерегулируемой диссипации энергии ($Y(NO)$) в 2 раза относительно контроля. ЭБЛ оказывал выраженный протекторный эффект на фотохимическую активность фотосистемы II, поддерживая исследуемые показатели на уровне контрольных значений. Кроме того, хлоридное засоление снижало содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях на 35 и 20% соответственно относительно контроля. ЭБЛ способствовал частичному снятию отрицательного действия соли на содержание пигментов. Кроме того, добавление ЭБЛ на этапе стресса, приводило к увеличению содержания каротиноидов в листьях на 20% относительно контроля, что может способствовать повышению клеточного антиоксидантного потенциала, понижая, тем самым, интенсивность окислительного стресса при засолении.

Исследование поддержано проектом Российского научного фонда (№ 23-44-10019).

Ключевые слова: брассиностероиды, рапс, стресс, NaCl, пигменты, фотосинтез

INCREASING THE RESISTANCE OF PLANTS TO SALINIZATION BY BRASSINOSTEROIDS

Kolomeychuk L.V. *, Voskoboev P.D., Efimova M.V.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia;

*E-mail: kolomeychuklil@mail.ru

Keywords: brassinosteroids, rapeseed, stress, NaCl, pigments, photosynthesis

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА РАСТЕНИЙ

Кондратьева А.В.¹, Кирпичникова А.А.², Шаварда А.Л.¹, Шапиро А.С.¹,
Дубровский М.Д.¹, Шишова М.Ф.², Пузанский Р.К.^{1*}

¹ Ботанический Институт им. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: puzansky@binran.ru

Суспензионные культуры клеток уже несколько десятилетий успешно используются для изучения биологии растений. Они обрели высокую популярность благодаря возможности регуляции/синхронизации клеточного цикла, что открывает возможности изучения механизмов его регуляции. Известно использование суспензионных культур в качестве продуцентов вторичных метаболитов и даже белков. При этом первичный метаболизм обычно уходит из фокуса рассмотрения. Основой метаболизма гетеротрофных растительных культур, является усвоение экзогенного субстрата. Культуры клеток различаются по возможностям усваивать органические субстраты, например, сахару: мальтозу, фруктозу, глюкозу, маннит. Полученный углерод распределяется между синтезом, катаболизмом и депонированием, что определяется метаболическими особенностями клеточных линий.

Клетки ряда суспензионных культур, полученных на основе *Nicotiana tabacum*, проходят несколько фаз развития: деление, рост растяжением, старение и гибель. Каждая фаза развития клеток характеризуется особыми энергетическими и пластическими потребностями. На изменение энергетического статуса и уровня синтетических процессов указывает выявленная динамика содержания белка и нелинейное перераспределение активности протонных насосов плазмалеммы и тонопласта, основанное на изменении содержания пиррофосфата и АТФ. В ходе проведенного исследования методом ГХ-МС получены профили первичных метаболитов *N. tabacum* ВУ-2 на разных стадиях клеточного цикла и при изменении концентрации сахарозы в инкубационной среде.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 23-24-00393.

Ключевые слова: *Nicotiana tabacum*, суспензионная культура, первичный метаболизм.

APPLICATION OF CELL CULTURES IN PLANT PRIMARY METABOLISM STUDIES

Kondratieva A.V.¹, Kirpichnikova A.A.², Shavarda A.L.¹, Shapiro A.S.¹,
Dubrovskiy M.D.¹, Shishova M.F.², Puzanskiy R. K.¹

¹ Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Keywords: *Nicotiana tabacum*, suspension cell culture, primary metabolism.

РАЗРАБОТКА НАБОРОВ ПРАЙМЕРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГРИБОВ-ВОЗБУДИТЕЛЕЙ МУЧНИСТОЙ РОСЫ ИВЫ

Кондратьева А.М.* , Ржевский С.Г., Федулова Т.П.

Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Российская Федерация;

*E-mail: kondratyeva_anya@mail.ru

В настоящее время на территории Европы отмечено пять видов грибов из семейства Erysiphaceae, которые являются возбудителями мучнистой росы ивы (*Salix*): *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr., *E. capreae* DC. ex Duby, *E. pseudoregularis* U. Braun, *Phyllactinia populi* (Jacz.) Y. N. Yu., *Podosphaera schlechtendalii* Lév. Два вида зафиксированы на территории России: *E. adunca* (олигофаг, паразитирует на видах ив и тополей (*Populus*)) и *E. capreae* (узкий монофаг, на иве козьей (*Salix caprea*)). Вид *E. pseudoregularis* (узкий монофаг, на иве козьей) описан только в 2012 году, в связи с чем вероятны уточнения его распространения. Вид *P. schlechtendalii* (монофаг, на видах ивы) зарегистрирован в приграничных с Россией странах. На пораженных мучнистой росой листьях к началу лета появляется беловатый паутинистый налет мицелия, который к моменту созревания конидий становится мучнистым. Виды-возбудители мучнистой росы практически не отличаются морфологически, в связи с чем необходимо проводить молекулярно-генетическую диагностику. Целью работы было конструирование *in silico* праймеров к нуклеотидным последовательностям рДНК мучнисторосяных грибов, паразитирующих на видах ив. Для видов-возбудителей мучнистой росы ивы (кроме *P. schlechtendalii*, для которого отсутствуют данные в базе) на основе нуклеотидных последовательностей, взятых из The National Center for Biotechnology Information (NCBI), при помощи модуля Primer Blast были получены наборы праймеров. Специфичность праймеров была проверена также при помощи модуля Primer Blast.

Ключевые слова: *Salix*, ива, мучнистая роса, Erysiphaceae

DEVELOPMENT OF PRIMER SETS FOR THE DIAGNOSIS OF WILLOW POWDERY MILDEW

Kondratyeva A.M., Rzhevsky S.G., Fedulova T.P.

All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology Organisation,
Voronezh, Russian Federation

Keywords: *Salix*, willow, powdery mildew, Erysiphaceae

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ И УГЛЕВОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЕМЕНАХ ДВУХ ВИДОВ КЛЕНА: АБОРИГЕННОГО *ACER TATARICUM* L. И ИНВАЗИОННОГО *ACER NEGUNDO* L.

**Кондратьева В.В.* , Семенова М.В., Куклина А.Г., Олехнович Л.С.,
Воронкова Т.В.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, 127276, ул. Ботаническая 4, г. Москва, Россия

*E-mail: lab-physiol@mail.ru

Исследование физиологических процессов в отдельных органах инвазионных видов, их влияние на аборигенные виды одного таксона позволяет глубже понять особенности их метаболизма и доминирования в природных биоценозах. Изучали содержание фенолкарбоновых кислот (ФКК): хлорогеновой (ХК), кофейной (КК), феруловой (ФК), суммы флавоноидов и форм запасных углеводов в тканях семян аборигенного клена татарского (*Acer tataricum*), а инвазионного клена ясенелистного (*Acer negundo*) с октября по март при хранении семян в холодной камере ($t+5^{\circ}\text{C}$, влажность 80%). У аборигенного вида с длительным периодом покоя уровень ХК в декабре-январе возрастал в сотни раз по сравнению с исходным и снижался в марте, но, наиболее активная в регуляции метаболизма кофейная кислота (КК) не была идентифицирована. У инвазионного вида, не имеющего периода покоя содержание ХК, было в десятки раз ниже, чем у *A. tataricum*, при этом отмечен высокий уровень КК. Уровень ФК на порядок выше у аборигенного вида с максимумом в декабре-январе. Содержание суммы флавоноидов в тканях зародышей семян *A. tataricum* в десятки раз превосходило *A. negundo* в течение всего периода изучения. Содержание запасных сахаров, представленных в основном моносахарами, у *A. tataricum* было около 40% сухого веса, а у *A. negundo* - в среднем около 15%. Различия могут косвенно указывать на активацию ростовых и протекторных механизмов в зародышах семян *A. negundo*. При появлении благоприятных условий температуры и влажности семена *A. negundo* быстро прорастают, образуют дружныеходы и занимают свободные участки в биоценозе, препятствуя росту и развитию аборигенных растений.

Ключевые слова: *Acer tataricum*, *Acer negundo*, семена, инвазивные виды, фенолкарбоновые кислоты, флавоноиды, углеводы

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PHENOLIC AND CARBOHYDRATE COMPOUNDS CONTENT DYNAMICS IN THE SEEDS OF TWO SPECIES OF MAPLE: NATIVE *ACER TATARICUM* L. AND THE INVASIVE *ACER NEGUNDO* L.

**Kondratieva V.V.* , Semenova M.V., Kuklina A.G., Olekhovich L.S.,
Voronkova T.V.**

Federal State Budgetary Institution of Science N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4 Botanic Str., Moscow, 127276, Russia

*E-mail: lab-physiol@mail.ru

Keywords: *Acer tataricum*, *Acer negundo*, seeds, invasive species, phenol carboxylic acids, flavonoids, carbohydrates

ПРЕДОСВЕЩЕНИЕ СЕМЯН ARABIDOPSIS СТИМУЛИРУЕТ НАКОПЛЕНИЕ ПРОТОХЛОРОФИЛЛИДА В ПРОРОСТКАХ ПРИ УЧАСТИИ ФИТОХРОМА А

Коппель Л.А.^{1*}, Kim J-I.², Bolle C.³, Беляева О.Б.¹, Синещёков В.А.¹

¹ Биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия;

² Department of Biotechnology and Kumho Life Science Laboratory, Chonnam National University, Gwangju, Korea;

³ Biology Department, Ludwig Maximilian University, München, Germany;

*E-mail: koppellar@gmail.com

Биосинтез предшественника хлорофилла протохлорофилл(ид)а (П) в тканях растений обеспечивает эффективность фотосинтеза и продуктивность растений. В этиолированных растениях пул П состоит в основном из неактивного П633 и фотоактивного П655 в комплексе П+ПОР+NADPH, превращающегося в хлорофиллид под действием света. Роль фитохрома в темновой стадии синтеза хлорофилла мало изучена. В данной работе нами обнаружен и исследован новый эффект с участием phyA — светозависимое накопление П в этиолированных проростках *A. thaliana*, выращенных из предосвещенных белым светом (БС) семян. Использовали линии LER (WT), дефицитные по фитохромам линии (*phyA*-, *phyB*-), трансгенные линии *A. thaliana*, дефицитные по эндогенному phyA, экспрессирующие phyA (риса, овса) с заменами аминокислот S/A в N-терминальном конце молекулы phyA, повышающими стабильность и функциональный ответ phyA, и заменами T/V и K/R в центре молекулы, увеличивающими его киназную и физиологическую активность. Стратифицированные семена освещали 15 мин, 2, 3 или 6 часов БС, затем проращивали в темноте при 23°C. Методом спектрофлуорометрии при 77К определяли общее содержание П и отношение форм П633/П655 в 4-дневных проростках. В проростках WT синтез П возрастал вдвое после 15 мин освещения и мало изменялся с увеличением дозы БС. В мутанте *phyA*- уровень общего П слабо зависел от дозы БС. В мутанте *phyB*- уровень П рос с увеличением дозы БС. Замены аминокислот в phyA приводили к накоплению общего П в проростках выше, чем в WT. Для мутанта K/R характерно увеличение относительного содержания активного П655. Таким образом, предосвещение замоченных семян *Arabidopsis* стимулирует накопление Пхд в тканях этиолированных проростков, phyA играет в этом процессе ключевую роль. Точечные мутации в молекуле phyA снижают способность рецептора к регуляции накопления П, избыточное накопление которого может привести к фотодеструкции клеток. Увеличение киназной активности phyA стимулирует формирование фотохимического комплекса П655-ПОР-NADPH.

Ключевые слова: фитохром А, мутанты фоторецептора, протохлорофилл(ид), Арабидопсис

PREILLUMINATION OF ARABIDOPSIS SEEDS STIMULATES ACCUMULATION OF PROTOCHLOROPHYLLIDE IN SEEDLINGS WITH THE PARTICIPATION OF PHYTOCHROME A

Koppel L.A.^{1*}, Kim J-I.², Bolle C.³, Belyaeva O.B.¹, Sineshchekov V.A.¹

¹ Biological Department, Moscow State University, Moscow, Russia

² Department of Biotechnology and Kumho Life Science Laboratory, Chonnam National University, Gwangju, Korea;

³ Biology Department, Ludwig Maximilian University, München, Germany

Keywords: phytochrome A, photoreceptor mutants, protochlorophyllide, *Arabidopsis*

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЭКСПРЕССИЯ СЕМЕЙСТВ ГЕНОВ *SUT*, *SWEET*, *MST* В ТКАНЯХ СТВОЛА ДВУХ ФОРМ *BETULA PENDULA*

Корженевский М.А.^{1*}, Мощенская Ю.Л.¹, Тарелкина Т.В.¹, Галибина Н.А.¹, Горшков О.В.²

¹ Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

² Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия,

*E-mail: mkorz@krc.karelia.ru

Основными ассимилятами, получаемыми гетеротрофными тканями высших растений являются сахара. Благодаря радиальному транспорту сахаров из проводящей флоэмы происходит обеспечение дифференцирующихся клеток проводящих тканей, в том числе формирование вторичной клеточной стенки зрелой ксилемы. Выделяют три семейства транспортеров сахаров: *SUT* и *MST*, транспортирующих соответственно сахарозу и гексозы из апопласта/вакуоли в цитозоль, а также *SWEET* транспортирующие различные углеводы из цитозоли в апопласт или цитозоль. Несмотря на значительно влияние сахаров на рост и развитие растений, роль доступности сахаров при развитии сосудистых тканей в ходе дифференцировки камбия остается мало изученной. Карельская береза, благодаря формированию в рамках одного ствола типичной для вида (прямослойной) и узорчатой (аномальной) древесины, является уникальным объектом для изучения механизмов ксилогенеза. В этой работе мы сфокусировались на выявление путей транспорта сахаров в радиальном ряду «проводящая флоэма / камбиальная зона – дифференцирующаяся ксилема – зрелая ксилема» на примере обычной березы повислой (*Betula pendula* var. *pendula*) и карельской березы (*B. pendula* var. *carelica*). На основании опубликованных для березы повислой генома (2017 год) и данных транскриптома (2019) были отобрано 27 генов, предположительно участвующих в ксилогенезе в период камбиального роста. В качестве объектов исследования мы использовали две формы березы повислой, произрастающие на агробиологической станции КарНЦ РАН. Отбор тканей проводили в начале июля 2022 года. Для фракции «дифференцирующаяся ксилема» получены транскриптомные данные, для остальных фракций гены-интереса изучали методом количественной ПЦР. В результате проведенного исследования обнаружена дифференциальная экспрессия генов во всех семействах (*SUT*, *SWEET*, *MST*) при различных сценариях ксилогенеза.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось при поддержке гранта РФФИ № 22-74-00096.

Ключевые слова: углеводные транспортеры, ксилогенез, аномальная древесина

DIFFERENTIAL EXPRESSION OF CARBOHYDRATE TRANSPORTER GENES IN TWO FORMS OF *BETULA PENDULA*

Korzhenevsky M.A.¹, Moshchenskaya Yu.L.¹, Tarelkina T.V.¹, Galibina N.A.¹, Gorshkov O.²

¹ Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics of Kazan Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: sugar transporters, xylogenesis, abnormal wood

РОЛЬ ПЕРЕНОСЧИКОВ ЦИТОКИНИНОВ В КООРДИНАЦИИ РОСТА ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ

Коробова А.В.

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия;

E-mail: muksin@mail.ru

Цитокинины (ЦК) стимулируют рост побегов растений, но тормозят рост корней. Ингибирование роста корней происходило у растений ячменя при переносе с 1% на 300%-ный питательный раствор Хогланда-Арнона. При этом было зарегистрировано накопление ЦК в корнях, которое было связано со снижением их оттока в побеги. В результате уровень ЦК в побеге снижался, подавляя его рост. Таким образом, изменение распределения ЦК между побегом и корнем изменяет рост растений.

Обработка протонатором карбонилцианид-м-хлорфенилгидразоном увеличила отток ЦК из корней растений ячменя, получавших 300%-ный раствор. Протонатор также снижал накопление ЦК в клетках корней пшеницы, обработанных зеатином. При этом возрастало содержание ЦК в побеге. Поскольку протонатор подавляет работу переносчиков, например, пермеаз пуринов (PUP), способных транспортировать пуриновые основания свободных ЦК, то можно сделать вывод об участии этих переносчиков в распределении ЦК между побегом и корнями.

Переносчики рибозидов азотистых оснований ENT также могут транспортировать ЦК (например, зеатинрибозид). Однако у однодольных растений пшеницы ENT в меньшей степени влияют на поглощение ЦК клетками корней, чем PUP, поскольку уровень окрашивания клеток корней пшеницы на ЦК был ниже при обработке растений рибозидом зеатина по сравнению с обработкой зеатином. У арабидопсиса (двудольное) с использованием мутантных растений было выявлено участие ENT в распределении ЦК между органами: обработка рибозидом зеатина приводила к большему накоплению гормона в побегах и меньшему – в корнях мутантов по сравнению с исходной линией.

Наши данные позволяют объяснить разную реакцию растений пшеницы и салата на введение в ризосферу бактерий *B. subtilis*, выделяющих в среду зеатинрибозид. У растений пшеницы, гормон не задерживался в корнях, а поступал в побеги, у салата ЦК накапливались в подземных органах, и происходило ингибирование роста корней.

Вывод: рост корней и побегов растений во многом зависит от распределения ЦК между ними, устанавливаемым работой трансмембранных переносчиков.

Ключевые слова: цитокинины, мембранные переносчики, PUP, ENT, рост корней и побегов

ROLE OF CYTOKININ TRANSPORTERS IN COORDINATION OF GROWTH OF PLANT ORGANS

Korobova A.V.

Ufa Institute of Biology UFRS RAS, Ufa, Russia

Keywords: cytokinins, membrane transporters, PUP, ENT, growth of roots and shoots

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ТРАНСПОРТ АУКСИНОВ ИЗ ПОБЕГА В КОРНИ И ВЕТВЛЕНИЕ КОРНЕЙ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ

Коробова А.В.¹, Иванов Р.С.¹, Высоцкая Л.Б.¹, Тимергалина Л.Н.^{1*},
Нужная Т.В.¹, Ахиярова Г.Р.¹, Кузнецов В.В.², Веселов Д.С.¹, Кудоярова Г.Р.¹

¹ Уфимский Институт Биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: leinaz@mail.ru

В зависимости от условий обитания растения могут значительно изменять структуру распределения биомассы между различными органами. Так, недостаточное освещение подавляет рост корней, но в то же время растения продолжают рост побегов удлинением. Фитогормоны обеспечивают координацию процессов, происходящих в различных органах растения, за счет передачи сигналов об изменениях в окружающей среде. Они синтезируются как в корнях, так и в побегах. Транспорт гормонов от корней к побегам происходит по ксилеме, а в обратном направлении – по флоэме. Считается, что перенос ауксинов на большие расстояния важен для контроля роста корней в условиях низкой освещенности; однако механизм этих эффектов остается неясным. Было изучено влияние низкого уровня освещенности на содержание эндогенных ауксинов, их локализацию в листьях и транспорт от побегов к корням, связанное с боковым ветвлением корней растений ячменя. При понижении освещенности на два дня было обнаружено уменьшение появления боковых корней. Содержание ауксина (ИУК, индол-3-уксусной кислоты) снизилось в корнях и побегах, а иммулокализация выявила снижение уровня ИУК в клетках флоэмы срезов листьев. Пониженное содержание ИУК, обнаруженное в растениях при слабом освещении, свидетельствует об ингибировании выработки этого гормона в этих условиях. В то же время в корнях было обнаружено снижение экспрессии гена LAX3, способствующее притоку ИУК в клетки, а также снижение диффузии ауксина из побегов через флоэму. Было высказано предположение, что снижение появления боковых корней у ячменя при низком уровне освещенности связано с нарушением транспорта ауксина через флоэму и пониженной регуляцией генов, ответственных за транспорт ауксина в корнях растений. Результаты подтверждают важность переноса ауксинов на большие расстояния для контроля роста корней в условиях низкой освещенности. Требуется дальнейшее изучение механизмов, которые контролируют транспорт ауксинов от побегов к корням у других видов растений.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., стресс низкой освещенности, ауксин (ИУК), флоэма, ветвление корней, гены AUX1 and LAX3

EFFECT OF LOW LIGHT STRESS ON DISTRIBUTION OF AUXIN (INDOLE-3-ACETIC ACID) BETWEEN SHOOT AND ROOTS AND DEVELOPMENT OF LATERAL ROOTS IN BARLEY PLANTS

Korobova A.V.¹, Ivanov R.S.¹, Vysotskaya L.B.¹, Timergalina L.N.¹,
Nuzhnaya T.V.¹, Akhiyarova G.R.¹, Kusnetsov V.V.², Veselov D.S.¹, Kudoyarova G.R.¹

¹ Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre RAS, Ufa, Russia

² K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Keywords: *Hordeum vulgare* L., low light stress, auxin (IAA), phloem, root branching, AUX1 and LAX3 genes

ПАРАМЕТРЫ ОТБОРА ГЕНОТИПОВ *LINUM USITATISSIMUM* L. К ЗАСУХЕ

Королев К.П. *, Боме Н.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», г. Тюмень, Российская Федерация

*E-mail: corolev.konstantin2016@yandex.ru

Ускорение негативных климатических преобразований вызывает необходимость сохранения, расширения и эффективного использования биоразнообразия культурных растений как на мировом, так и локальных уровнях. В Тюменской области в последние годы участились засухи, в связи с чем, отбор устойчивых форм является важным аспектом при интродукции, в.т.ч. льна. Исследования выполнены в лабораторных (Институт биологии ТюмГУ) и полевых (биостанция «Озеро Кучак», Нижнетавдинский р-н, Тюменская область) условиях. Изучали 60 образцов льна-долгунца из генофонда кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры. Моделировали осмотический стресс, используя растворы сахарозы (5,0%, 8,0%, 15,0%). Контроль – проращивание семян в дистиллированной воде. В естественных условиях оценивали водоудерживающую и водопоглотительную способности (Полевой В.В и др., 2001). Достоверность различий между образцами по отдельным показателям подтверждена статистически при $p > 0,05$. Лабораторная всхожесть семян льна в вариантах с сахарозой изменялась от 50,3% до 80,2%. Расчет индекса стрессоустойчивости (ISI), позволил выявить устойчивые образцы при на 5,0% и 8,0% концентрации сахарозы. Согласно дисперсионному анализу, влияние на водоудерживающую и водопоглотительную способности оказывали среда (22,3-49,9%) и ее взаимодействие с генотипом (34,5-40,1%). У наиболее засухоустойчивых образцов отмечали формирование высокой урожайности соломы (>300 г/м²), семян (>90 г/м²), содержание волокна ($>30,0$ %). В засушливых условиях выращивания урожайность соломы и тресты связаны с высотой растений ($r=0,54^*$ и $r=0,51^*$). Максимальный выход волокна определялся урожайностью соломы ($r=0,68^*$), урожайностью тресты ($r=0,55^*$), индексом засухоустойчивости ($r=0,40^*$), высотой растений ($r=0,42^*$), водоудерживающей способностью ($r=0,33^*$). Содержание хлорофилла в листьях растений льна зависело от индекса засухоустойчивости ($r=0,33^*$). В качестве исходного материала для селекции на устойчивость к засухе можно рекомендовать образцы Печерский кряж, Hermes, Ярок, Грант, Мара, Bertelsdorfer.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зуралья» (№ FEWZ-2021-0007).

Ключевые слова: лен, генотип, засуха, дисперсионный анализ, корреляция

PARAMETERS OF SELECTION OF *LINUM USITATISSIMUM* L. GENOTYPES TO DROUGHT

Korolev K.P., Bome N.A.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University", Tyumen, Russian Federation

Keywords: flax, genotype, drought, analysis of variance, correlation

МИКРОБНО-РАСТИТЕЛЬНЫЕ АССОЦИИАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ

Коршунова Т.Ю. *, Кузина Е.В., Шарипова Ю.Ю., Мухаматдырова С.Р., Рамеев Т.В., Искужина М.Г.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: lab.biotech@yandex.ru

Микробиологическая очистка сельскохозяйственных угодий, загрязненных нефтью, затруднена присутствием в ней остаточных количеств гербицидов, которые могут угнетать жизнедеятельность бактерий-нефтедеструкторов. Поэтому при разработке технологий биоремедиации особое внимание уделяется штаммам, обладающим способностью к деградации основного загрязнителя и устойчивостью к дополнительным поллютантам, а также улучшают рост растений-фитомелиорантов. В настоящей работе выделены и идентифицированы до вида с помощью МАЛДИ-ВП масс-спектрометрии клеточных белков, секвенирования последовательности гена 16S рРНК и филогенетического анализа штаммы углеводородокисляющих бактерий р. *Pseudomonas*. Микроорганизмы обладали значительной способностью к биодеградации нефти, резистентностью к присутствию в среде гербицидов на основе 2,4-Д и имазетапира в концентрации 5–10 мл/л, NaCl в количестве 5–7% и ионов тяжелых металлов (1,00–1,25 г/л). Кроме того, они были способны к фиксации атмосферного азота и растворению неорганического фосфата. В предварительных лабораторных экспериментах установлено, что обработка штаммами приводила к увеличению длины побегов и корней растений в почве с нефтью и гербицидами. Наиболее значимые результаты были получены с помощью штамма *P. citronellolis* H2, поэтому он был отобран для вегетационного опыта по оценке влияния бактеризации на рост и развитие растений люпина и овса в почве, содержащей такие поллютанты как нефть (2% масс.), гербицид Тапир (0,002% масс.), хлорид натрия (0,25% масс.), ионы кадмия (0,05% масс.), в т.ч. в различных сочетаниях. Показано, что использование бактерий стимулировало рост растений в условиях стресса, вызванного присутствием данных токсикантов и их комбинациями. Наибольшая скорость деградации углеводов нефти отмечена в вариантах с использованием ассоциации штамма *P. citronellolis* H2 и люпина. Полученные результаты свидетельствуют о том, что штамм *P. citronellolis* H2 имеет определенные перспективы применения для очистки нефтезагрязненных почв сельскохозяйственного назначения.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 23-24-00130, <https://rscf.ru/project/23-24-00130/>

Ключевые слова: нефть, гербициды, *Pseudomonas*, люпин, биодеградация

MICROBIAL AND PLANT ASSOCIATIONS FOR CLEANING OIL-CONTAMINATED AGRICULTURAL SOILS

Korshunova T.Yu. *, Kuzina E.V., Sharipova Yu.Yu., Mukhamatdyarova S.R., Rameev T.V., Iskuzhina M.G.

Ufa Institute of Biology UFRC RAS, Ufa, Russia

*E-mail: lab.biotech@yandex.ru

Keywords: oil, herbicides, *Pseudomonas*, lupine, biodegradation

СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СВЕТА И АКТИВНОСТЬ RUBISCO ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Косогова Т.М.

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, Россия,
E-mail: kosogova@list.ru

Известно, большинство фотореакций зависит от присутствия в лучистом потоке ФАР синих и красных лучей. Изучали влияние спектрального состава света низкой интенсивности на карбоксилазную активность фермента темновой фазы фотосинтеза рибулозо-1,5-бифосфаткарбоксилазы (*RUBISCO*, К.Ф. 4.1.1.39). Очищенный белок – глобулярный белок, хорошо растворимый в воде, не содержит катионов и других соединений. Объектом исследования были 10-дневные проростки ячменя. Семена проращивали в световой установке, которая позволяет регулировать режим освещения. Освещенность осуществляли постоянным равноэнергетическим «белым» – контроль, широкополосным синим (400-500 нм) и красным (600–700 нм) светом, выделенным из излучения ламп накаливания и ДРЛ-125 с помощью светофильтров (КС-13, КС-11, ЗС-8, СС-8). Интенсивность красного и синего света соответствовала 0,12 Вт/м². Свет разного спектрального состава выравняли по количеству падающих квантов. Карбоксилазную активность *RUBISCO* определяли радиометрическим методом. Активность *RUBISCO* выражали в мкМ ¹⁴CO₂, фиксированного 1 мг белка (ед/мг белка) за 1 минуту. Выяснили, активность *RUBISCO* (ед./мг суммарного растворимого белка, включая *RUBISCO*) проростков ячменя при освещенности красным светом на 11,2 % выше по сравнению с контролем, синим светом – на 13,2 %, это может свидетельствовать о том, что энергетические процессы в клетках контролируются синим светом через метаболические реакции при участии ферментов и других компонентов.

Ключевые слова: синий, красный свет; активность RUBISCO; ячмень.

SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT AND ACTIVITY RUBISCO HIGHER PLANT

Kosogova T.M.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State Pedagogical University», Lugansk, Russia,
E-mail: kosogova@list.ru

Keywords: blue, red light; rubisco activity; barley

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ И АНАТОМИЧЕСКИХ ПОДТИПОВ C₄ ФОТОСИНТЕЗА В ТРИБЕ ZOYSEAE (POACEAE)

Котеева Н.К.^{1*}, Борисенко Т.А.^{1,2}, Журбенко П.М.¹, Морозов Г.А.³,
Вознесенская Е.В.¹

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

² Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: nkoteyeva@binran.ru

Растения с C₄ фотосинтезом в условиях ограниченного количества CO₂ (при повышенной температуре, засухе или засоленности) имеют преимущества за счет механизма концентрации CO₂. Вопрос об эволюции C₄ фотосинтеза до сих пор остается дискуссионным. Одним из основных путей решения этого вопроса является изучение становления разных форм C₄ в пределах одной линии близкородственных видов.

В целях выявления эволюции биохимических и анатомических подтипов C₄ фотосинтеза было изучено 20 видов из трибы Zoysieae, сем. Poaceae. Биохимический подтип был определен с помощью Вестерн блоттинга на основные декаборксилазы. Особенности Кранц анатомии были изучены с использованием световой и трансмиссионной электронной микроскопии. Филогенетическое дерево было построено на основании 4х участков хлоропластного генома методом maximum likelihood.

Среди видов *Sporobolus* обнаружено 10 видов, единственным декарбоксилирующим ферментом которых является NAD-ME. Виды рода *Zoysia* и 7 видов *Sporobolus* принадлежат к PEP-СК биохимическому подтипу. *Urochondra setulosa* имеет NAD-ME как основную декарбоксилазу, с дополнительной экспрессией следовых количеств PEP-СК. Лабильность Кранц анатомии соответствует биохимическому подтипу. NAD-ME виды отличаются большим разнообразием количественных структурных признаков, в то время как для PEP-СК видов (за исключением бывших *Spartina*) характерно структурное однообразие.

Анализ филогенетического распределения изученных видов показал, что в пределах трибы Zoysieae неоднородность по биохимическому подтипу свидетельствует о неоднократных случаях потери анцестральной для подсемейства Chloridoideae функции PEP-СК, а также доказана реверсия биохимического подтипа в секции *Spartina* рода *Sporobolus*. По теме гранта РФФ 22-24-01124.

Ключевые слова: C₄ фотосинтез, эволюция, Poaceae

BIOCHEMICAL AND STRUCTURAL DIVERSIFICATION OF C₄ PHOTOSYNTHESIS IN TRIBE ZOYSIEAE (POACEAE)

Koteyeva N.K.¹, Borisenko T.A.^{1,2}, Zhurbenko P.M.¹, Morozov G.A.³,
Voznesenskaya E.V.¹

¹ Komarov Botanical Institute, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

E-mail: nkoteyeva@binran.ru

Keywords: C₄ photosynthesis, evolution, Poaceae

ПОГЛОЩЕНИЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ФОСФОЛИПИДОВ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ: АКТИВНОСТЬ, СТРУКТУРНЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

Котлова Е.Р.^{1*}, Сенник С.В.¹, Пожванов Г.А.^{1,2}, Манжиева Б.С.¹, Хакулова А.А.³, Серебряков Е.Б.³

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

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

*E-mail: kotlova@yandex.ru

В клетках растений липиды синтезируются из ацетил-КоА, источником которого, могут служить различные продукты гликолиза, цикла Кребса, темновой фазы фотосинтеза. Начальные этапы синтеза липидов растений, приводящие к образованию жирных кислот, осуществляются в строме пластид, дальнейшие этапы ассоциированы преимущественно с наружной мембраной пластид (гликолипиды) и мембранами ЭПР (фосфолипиды, сфинголипиды, триглицериды). Недавно было показано, что наравне с эндогенным биосинтезом, растения способны поглощать фосфолипиды из внешней среды. Эти реакции осуществляются с участием флиппаз, а именно Р4 АТФ-аз, известных как Aminophospholipid ATPase (ALA). Ферменты семейства ALA отвечают за асимметричное распределение липидов в экзо- и эндомембранах, их перераспределение между клеточными компартментами, а также поступление из внешней среды. В частности, на *Arabidopsis thaliana*, для ALA1 и ALA 3 показано участие в интернализации из внешней среды фосфатидилсеринов, для ALA 10 – фосфатидилхолинов (ФХ) и фосфатидилэтаноламинов (ФЭ).

Согласно результатам проведенных нами исследований (методами конфокальной микроскопии с использованием флуоресцентно-меченых NBD-ФХ), экзогенные фосфолипиды утилизируются многими видами растений из разных систематических и экологических групп. Однако распределение утилизированных NBD-ФХ может значительно варьировать, затрагивая только периферический слой клеток корня или, как, например, у *A. thaliana*, несколько слоев. На примере *A. thaliana* продемонстрировано значение структуры экзогенных ФХ на процесс их интернализации, который оказывал существенное влияние, как на морфологию проростков, так и на метаболизм липидов. Методами LC-ESI-QqQ-MS/MS липидомики показано, что в зависимости от длины и степени ненасыщенности жирных кислот экзогенные фосфолипиды могут аккумулироваться в клетках корня, транспортироваться в надземную часть или подвергаться различным модификациям с участием липаз, десатураз и ацилтрансфераз. Результатом этих превращений являются изменения состава молекулярных видов ФХ, ФЭ, а также гликолипидов, синтез которых сдвигается в сторону максимального использования субстратов, образованных из ФХ. Экологическая сторона явления интернализации фосфолипидов растениями пока малопонятна. Эксперименты с лимитированием факторов, необходимых для синтеза эндогенных фосфолипидов, возможно, дадут ответ на этот вопрос.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 22-24-01152.

Ключевые слова: экзогенные фосфолипиды, липидомика, растения, *Arabidopsis thaliana*

UPTAKE AND METABOLIC CONVERSION OF EXOGENOUS PHOSPHOLIPIDS IN PLANT ROOTS: ACTIVITY, STRUCTURAL PREFERENCES, AND PHYSIOLOGICAL ROLE

Kotlova E.R.¹, Senik S.V.¹, Pozhvanov G.A.^{1,2}, Manzhieva B.S.¹, Khakulova A.A.³, Serebryakov E.B.³

¹ Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

² Herzen University, Saint-Petersburg, Russia

³ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: exogenous phospholipids, lipidomics, растения, *Arabidopsis thaliana*

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА ФОТОСИНТЕЗ, РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ. РОЛЬ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ

Креславский В.Д.^{1,2*}, Худякова А.Ю.¹, Пашковский П.П.², Кособрюхов А.А.¹.

¹ Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук, г. Пушкино, Россия

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, г. Москва, Россия

*E-mail: ykreslav@rambler.ru

Известно, что спектральный состав света влияет на фотосинтез, рост и продуктивность растений и что свет действует через систему фоторецепторов, таких как фитохромы и криптохромы. При этом оптимальным для выращивания растений в различные фазы онтогенеза является наличие всех спектральных диапазонов спектра в видимой области в определенных соотношениях. Необходимо наличие красного (КС), зеленого (ЗС) и синего света (СС). Согласно нашим и литературным данным для оптимального роста и фотосинтеза важно не только определенное соотношение разных спектральных диапазонов в красной, зеленой и синей областях спектра, но и соотношения СС/ЗС и КС/ДКС, которые определяют активность соответствующих фоторецепторов. Изменение СС/ЗС приводит к изменению уровня физиологически активной формы криптохрома, а изменение соотношения КС/ДКС – к изменению содержания активной формы фитохрома В. На примере растений арабидопсиса, томата и картофеля нами показано, что изменения соотношения СС/ЗС и КС/ДКС, связанные с содержанием активных форм фоторецепторов приводят к изменению содержания в листьях пигментов и низкомолекулярных антиоксидантов, а также активности ферментов антиоксидантной защиты и тем самым адаптивного потенциала фотосинтетического аппарата растений. На примере двух растений – арабидопсиса и томата, с использованием двух типичных стрессоров – света высокой интенсивности и повышенной температуры показано, что криптохром 1 у растений работает как сенсор отношения СС к ЗС, а фитохром В – как сенсор отношения КС/ДКС в процессе адаптации фотосинтетического аппарата к световым условиям, а активные формы фоторецепторов вовлечены в защитные механизмы фотосинтетического аппарата при действии на растения стрессовых факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-74-10086

Ключевые слова: качество света, фитохромы, криптохромы, рост, фотосинтез, стрессоустойчивость

INFLUENCE OF THE LIGHT SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT ON PHOTOSYNTHESIS, GROWTH AND PRODUCTIVITY. THE ROLE OF PHOTORECEPTORS

Kreslavski V.D.^{1,2*}, Khudyakova A. Yu.¹, Pashkovskiy P.P.², Kosobryukhov A.A.¹

¹ Institute of Basic Problems of Biology, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

² K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*E-mail: ykreslav@rambler.ru

Keywords: light quality, phytochromes, cryptochromes, growth, photosynthesis, stress resistance

МОРФОГЕНЕЗ *IN VITRO* В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ *LAVANDULA ANGUSTIFOLIA* MILL.: ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Круглова Н.Н.^{1,2*}, Зинатуллина А.Е.^{1,2}, Егорова Н.А.¹

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

² Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия;

*E-mail: kruglova@anrb.ru

Впервые описаны гистологические события, происходящие в морфогенных и неморфогенных каллусах ценного эфиромасличного и лекарственного растения лаванды узколистной на начальных этапах культивирования *in vitro*. В качестве эксплантов использовали сегменты листьев растений, выращенных в условиях закрытого грунта. Применяли методы культуры *in vitro*, разработанные для этого объекта (Егорова, 2021). Первичные неморфогенные каллусы получали на среде МС160 (среда Мурасиге и Скуга с добавлением НУК, 1.0 мг/л, и БАП, 0.5 мг/л), морфогенные каллусы – на среде МС554 (среда Мурасиге и Скуга с добавлением ТДЗ, 1.0 мг/л). Через 4–6 недель культивирования первичные каллусы обоих контрастных типов отделяли от эксплантов, переносили на среду МС160, культивировали 35–40 сут до стационарной фазы роста (1 пассаж) и проводили их гистологический анализ методом световой микроскопии. Установлено, что неморфогенные каллусы представлены главным образом паренхимной тканью, гистологически обуславливающей их «неморфогенность». В морфогенных каллусах выявлены такие пути морфогенеза, как органогенез *de novo* по типу геммогенеза (каулогенеза) различных стадий, вплоть до формирования листьев, и непрямой соматический эмбриогенез *in vitro* начальных стадий, вплоть до формирования сердечковидного зародыша. Кроме того, в морфогенных каллусах отмечены множественные динамично развивающиеся морфогенетические очаги как гистологическая основа будущих листьев и соматических зародышей. Обсуждается вопрос реализации в модельной каллусной культуре *in vitro* свойств плюрипотентности (способности к формированию органов) и тотипотентности (способности к формированию организмов) компетентных клеток (возможно, ствольных) на основе их позиционного расположения в системе морфогенного каллуса. Гистологические данные могут быть использованы при выборе направления разработок получения регенерантов этого ценного растения в различных клеточных биотехнологиях.

Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 23-24-00023.

Ключевые слова: морфогенез *in vitro*, каллус, плюрипотентность, тотипотентность, *Lavandula angustifolia*

IN VITRO MORPHOGENESIS IN CALLUS CULTURES OF LAVENDER *LAVANDULA ANGUSTIFOLIA* MILL.: HISTOLOGICAL ASPECTS

Kruglova N.N.^{1,2*}, Zinatullina A.E.^{1,2}, Yegorova N.A.¹

¹ Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

² Ufa Institute of Biology of UFRC of RAS, Ufa, Russia

Keywords: morphogenesis *in vitro*, callus, pluripotency, totipotency, *Lavandula angustifolia*

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ И ПАРАМЕТРОВ
КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЭНТОМОПАТОГЕННОГО БИОИНСЕКТИЦИДА
НА ОСНОВЕ ШТАММА *BACILLUS THURINGIENSIS* 0371
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ R
И СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC**

Крыжко А.В.

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,
г. Симферополь, Российская Федерация;
E-mail: nk_lib@mail.ru

Одним из базовых вопросов при разработке микробных препаратов на основе *B. thuringiensis* является подбор оптимальных компонентов питательной среды, а также соотношение азотных и углеродных компонентов. Известна штаммовая специфичность *B. thuringiensis* относительно потребления углеводов, источников азота, концентрации минеральных солей и физиологических особенностей роста и развития. Оптимальный результат по поиску соотношения компонентов питательных сред для культивирования штамма *B. thuringiensis* 0371 получен на средах, содержащих кукурузную муку и дрожжевой автолизат, на которых титр спор составил 2,67 – 2,70 млрд/мл. Написан программный код на языке R для вычисления математического метода планирования эксперимента по отысканию оптимальных условий культивирования микроорганизмов.

Так как процесс культивирования энтомопатогенных бактерий происходит на протяжении длительного времени, то метод имитационного моделирования с применением среды Anylogic позволяет наиболее адекватно отразить ее поведение. В основу модели были положены данные титра КОЕ жидкой культуры, полученные в процессе культивирования, динамики изменения pH питательной среды, температуры и давления в ферментационной колбе биореактора (с 15 по 89 часов культивирования), учтено количество источников азота и углерода в питательной среде. Моделирование условий ферментации с применением имитационной среды Anylogic позволило спрогнозировать, что максимальный выход всех целевых продуктов штамма *B. thuringiensis* 0371 может быть достигнут при поддержании давления газа не ниже 0,7 объема воздуха на объем среды в минуту, повышении температуры в конце культивирования до 32°C и pH в стационарной фазе не менее 8,0.

Ключевые слова: энтомопатогенные бактерии, биоинформатическое сопровождение, язык программирования R, моделирование, биопрепарат.

**OPTIMIZATION OF NUTRIENT MEDIUM COMPOSITION AND CULTIVATION
PARAMETERS OF ENTOMOPATHOGENIC BIOINSECTICIDES BASED
ON *Bacillus THURINGIENSIS* STRAIN 0371 USING THE R PROGRAMMING
LANGUAGE AND ANYLOGIC SIMULATION ENVIRONMENT**

Kryzhko A.V.

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;
E-mail: nk_lib@mail.ru

Keywords: entomopathogenic bacteria, bioinformatic support, R programming language, modeling, biopreparation.

АНАЛИЗ ПАТТЕРНА МЕТИЛИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ГЕНОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ ПЕРЕХОД *PISUM SATIVUM* L. ОТ СЕМЕНИ К ПРОРОСТКУ

Крылова Е.А.^{1*}, Вилис П.С.², Стрыгина К.В.¹, Хлесткина Е.К.¹,
Смоликова Г.Н.², Медведев С.С.²

¹ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,
Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: e.krylova@vir.nw.ru

Поиск путей повышения устойчивости сельскохозяйственных растений к засухе в последние годы приобретает все большую остроту в связи с глобальными изменениями климата. В связи с этим актуальным является изучение механизмов потери устойчивости к обезвоживанию в момент перехода от прорастающих семян к проросткам. Устойчивость к обезвоживанию формируется на поздних стадиях созревания «ортодоксальных» семян и позволяет им сохранять жизнеспособность не только в покое, но и при прорастании, вплоть до инициации роста зародышевого корня. Объектом нашего исследования являлись зародышевые оси семян *Pisum sativum* L. Нами был проведён транскриптомный анализ зародышевых осей до и после инициации роста корня (doi: 10.3390/plants11131686). Выявлены кардинальные изменения паттерна экспрессии генов, контролирующей стрессоустойчивость растений. Наиболее перспективными в качестве потенциальных регуляторов для переключения программы устойчивости мы считаем АБК-зависимые факторы транскрипции ABI3, ABI4, ABI5. При помощи метода бисульфитного секвенирования мы проанализировали профиль метилирования промоторов генов *PsABI3*, *PsABI4* и *PsABI5*. Оказалось, что уровень метилирования их промоторов чрезвычайно высок как до, так и после потери устойчивости к обезвоживанию. Только в промоторе *PsABI3* около трети проанализированного участка имели сниженный уровень метилирования. Также выделялся промотор *PsABI5*, в последовательности которого выявлено большое число потенциальных сайтов связывания белков сети LAFL. Мы предполагаем, что при переходе от стадии семени к стадии проростка в зародышевых осях гороха сначала происходят эпигенетические изменения на уровне метилирования ДНК, приводящие к тому, что факторы транскрипции не могут связаться с ДНК промоторов, а затем стремительно наступает прекращение экспрессии данных генов. Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 20-16-00086-П (<https://rscf.ru/project/20-16-00086>).

Ключевые слова: АБК-зависимые факторы транскрипции, бисульфитное секвенирование, метилирование ДНК, прорастание семян, сеть генов LAFL, устойчивость к обезвоживанию.

METHYLATION PATTERN OF KEY GENES CONTROLLING THE TRANSITION OF *PISUM SATIVUM* L. FROM SEEDS TO SEEDLINGS

Krylova E.A.¹, Vilis P.S.², Strygina K.V.¹, Khlestkina E.K.¹, Smolikova G.N.²,
Medvedev S.S.^{2*}

¹ Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Keywords: ABA-dependent transcription factors, bisulfite sequencing, desiccation tolerance, DNA methylation, *LAFL network genes*, seed germination

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ АКВАПОРИНОВ В СИМБИОСИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ – ГРИБ АРБУСКУЛЯРНОЙ МИКОРИЗЫ

Крюков А.А.^{1*}, Кудряшова Т.Р.^{1,2}, Горбунова А.О.¹, Ковальчук А.И.²,
Юрков А.П.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии", г. Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: rainniar@rambler.ru

Большинство наземных растений образуют симбиоз с грибами арбускулярной микоризы (АМ). АМ способствует существенному усилению роста растений и их адаптации к стресс-факторам среды биотической и абиотической природы, в том числе к условиям засухи. В настоящее время нет полного понимания механизмов регуляции экспрессии генов аквапоринов растения со стороны грибов АМ и в целом молекулярно-генетических механизмов эффективного транспорта воды в растениях при образовании АМ-симбиоза. Однако, известно, что инокуляция грибами АМ в ряде случаев, в условиях засухи, приводит к снижению экспрессии генов некоторых аквапоринов, что приводит к уменьшению потери воды растением.

Нами разработана уникальная высокочувствительная к микоризации система "растение-хозяин – АМ-гриб", включающая высокоотзывчивую на инокуляцию АМ-грибами экологически облигатно микотрофную линию MIS-1 люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina*) и высокоэффективные штаммы АМ-грибов. Данная симбиосистема, ранее в наших экспериментах, хорошо себя показала при оценке экспрессии генов транспорта фосфора и генов транспортеров углеводов. Нами был поставлен эксперимент, в котором методом ПЦР в реальном времени была оценена экспрессия 11 генов аквапоринов в динамике при развитии АМ симбиоза. Большинство генов аквапоринов показали разнонаправленную (в динамике) экспрессию при инокуляции АМ грибами.

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-16-00064 и государственным заданием № FGEW-2021-0004.

Ключевые слова: симбиогенетика, арбускулярная микориза, гены аквапоринов, *Medicago lupulina*, симбиотическая эффективность

EXPRESSION OF AQUAPORIN GENES IN THE PLANT-ARBUSCULAR MYCORRHIZA SYMBIOSYSTEM.

Kryukov A.A.^{1*}, Kudriashova T.R.^{1,2}, Gorbunova A.O.¹, Kovalchuk A.I.²,
Yurkov A.P.¹

¹ FSBSI "All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology", St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, St. Petersburg, Russia

Keywords: symbiogenetics, arbuscular mycorrhiza, aquaporin genes, *Medicago lupulina*, symbiotic efficiency

ВЛИЯНИЕ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА ФИТОРЕМЕДИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ *SINAPIS ALBA* L.

Крючкова Е. В.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов Саратовский научный центр РАН, Саратов, Россия
E-mail: kryu-lena@yandex.ru

Фиторемедиация-недорогая и экологически-безопасная технология обеззараживания и восстановления деградированных и загрязнённых почв. Некоторые растительные виды преимущественно используют для удаления из почвы токсичных металлов. Например, горчицу – растение фитоэкстрактор, накапливающее в надземной части значительные количества поллютантов, способное расти в неблагоприятных условиях, сидерат и медонос. На эффективность фиторемедиации также влияют ризосферные бактерии, стимулирующие рост растений и снижающие токсичность загрязнений.

Доклад будет посвящен влиянию ризосферных бактерий *Enterobacter cloacae* K7 на устойчивость растений к поллютантам и накопление свободной и хелатированной глифосатом меди растениями горчицы белой (*Sinapis alba* L.). Будут представлены: а) основные морфофизиологические параметры растений; б) рассчитаны факторы, демонстрирующие транспорт свободного и связанного металла в системе растительно-бактериальные ассоциации-грунт; в) проведён сравнительный анализ влияния бактериальной инокуляции на эффективность аккумуляции металла горчицей. Полученные результаты важны для понимания пригодности использования ассоциации *Sinapis alba* L. - *E. cloacae* K7 в биоремедиации почв от сложных загрязнений.

Ключевые слова: ризосферные бактерии, медь, глифосат, горчица, фиторемедиация

EFFECT OF RHIZOSPHERIC BACTERIA ON THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF *SINAPIS ALBA* L.

Kryuchkova Ye.V.

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia

Keywords: rhizospheric bacteria, copper, glyphosate, mustard, *Sinapis alba* L., phytoremediation

МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ СКОРОСТИ ПОТОКОВ ВОДЫ ПО РАСТЕНИЮ И ИХ СВЯЗЬ С ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Кудоярова Г.Р.

Уфимский институт биологии и УФИЦ РАН, проспект Октября 69, г. Уфа, Россия,
E-mail: guzel@anrb.ru

Большинство наземных растений в условиях, пригодных для растениеводства, расходуют огромное количество воды, испаряя за день ее количество, равное их весу. Эти свойства растений связаны с необходимостью поддерживать открытыми устьица, через которые в листья поступает углекислый газ, и через них же происходит постоянное испарение воды. Для растения жизненно важна способность обеспечивать приток воды из корней для поддержания роста и тургора клеток и предотвращения закрытия устьиц. На примере широкого набора видов показана прямая зависимость урожайности растений от нормализованного уровня их транспирации. Поэтому выявление механизмов, обеспечивающих компенсирующий транспирацию приток воды, является важным походом для повышения урожайности растений. Этой проблеме посвящен данный доклад.

Хотя растения потенциально способны поддерживать высокий уровень поглощения воды благодаря мощному развитию корневой системы, сохранение баланса между притоком воды из корней и транспирацией является сложной задачей вследствие того, что скорость испарения воды постоянно меняется из-за переменной облачности, колебаний температуры и порывов ветра. В докладе рассматриваются современные представления о механизмах восприятия растением информации об изменениях водного режима, основанных на функционировании осмосенсоров. Приводятся примеры, демонстрирующие способность корней к быстрому многократному повышению их гидравлической проводимости в ответ на повышение температуры воздуха, освещенности и удаления части корневой системы. Рассматриваются механизмы быстрого изменения гидравлической проводимости за счет везикулярного траффика аквапоринов в плазмалемму и их интернализации. Обсуждается взаимодействие механизмов, обеспечивающих трансмембранной и апопластный транспорт воды, на примере влияния бактерий, стимулирующих рост растений, на уровень мембранных водных каналов аквапоринов, компенсирующих ускоренное создание апопластных барьеров на счет формирования поясков Каспари.

Грант РФФИ 21-14-00070

Ключевые слова: гидравлическая проводимость, водный баланс, аквапорины, апопластные барьеры

MECHANISMS REGULATING WATER FLOWS IN PLANTS AND THEIR RELATIONSHIP WITH DROUGHT RESISTANCE

Kudoyarova G.R.

Ufa Institute of Biology, pr. Otyabrya 69, Ufa, Russia
E-mail: guzel@anrb.ru

Keywords: hydraulic conductivity, water balance, aquaporins, apoplastic barriers

МЕХАНИЗМЫ ГИБЕЛИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ И ЕЛИ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА И ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ГОРМОНОВ

Кузнецов Вл.В.^{1*}, Злобин И.Е.¹, Иванов Ю.В.¹, Карташов А.В.¹,
Пашковский П.П.¹, Ванкова Р.², Добрев П.², Иванова А.И.¹, Сарвин Б.А.³,
Ставрианиди А.Н.³

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

² Институт экспериментальной ботаники Чешской академии наук, Прага, Чехия

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: ylkuzn@mail.ru

Негативным следствием глобальных изменений климата является увеличение числа и продолжительности засушливых периодов. Это нарушает процесс возобновления древесных фитоценозов и снижает стабильность хвойных лесов Евразии, важнейшими лесообразующими породами которых являются сосна (*Pinus sylvestris* L.) и ель (*Picea abies* L.). Растения сосны и ели во взрослом состоянии реализуют различные стратегии адаптации к засухе, хотя они относятся к типичным изогидрическим видам. Для обсуждения механизмов выживания и гибели сеянцев сосны и ели при засухе будет представлен сравнительный анализ стрессорных реакций двух видов на ПЭГ-индуцированный водный дефицит (осмотический потенциал: -0.15, -0.5 и -1.0 МПа) в условиях гидропонной культуры, базируясь на характеристике ростовых процессов, водного статуса, пула неструктурных углеводов, профилей активных и конъюгированных форм фитогормонов и экспрессии ключевых генов их биосинтеза и катаболизма. Показано, что сеянцы обоих видов сохраняли высокую интенсивность ассимиляции углекислоты при водном стрессе, хотя ростовые процессы сосны были более устойчивы к дефициту воды, чем ели. В то же самое время ель, проявляя менее выраженную способность к cell wall adjustment, более стабильно поддерживала водный статус в условиях стресса, но резко тормозила рост. Анализ содержания сахаров и сахароспиртов в сеянцах сосны и ели при водном дефиците позволил выявить видо- и органоспецифичность аккумуляции указанных совместимых осмолитов, проявляющих свойства химических шаперонов и антиоксидантов. Установлено, что максимальная гибель сеянцев сосны наблюдалась при -0.5 МПа и совпадала с резким (более 60%) снижением общего пула углеводов и сахароспиртов в корнях, тогда как изменение подвижного пула углерода в сеянцах ели не коррелировало с их гибелью. Высказано предположение, что гибель сеянцев сосны, но не ели, при водном дефиците обусловлена углеродным голоданием корней вследствие нарушения транспорта ассимилятов. Анализ эндогенного содержания основных классов гормонов делает вероятным, что гормональные сигналы могут быть вовлечены в нарушение донорно-акцепторных отношений в сеянцах сосны при водном стрессе.

Финансовая поддержка: Российский научный фонд (РФ, Проект 21-14-00168).

Ключевые слова: рост, водный статус, углеводы, гормоны, гены

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF SURVIVAL AND DEATH OF PINE AND SPRUCE SEEDLINGS UNDER DROUGHT CONDITIONS

Kuznetsov V.V.¹, Zlobin I.E.¹, Ivanov Yu.V.¹, Kartashov A.V.¹, Pashkovsky P.P.¹,
Vankova R.², Dobrev P.², Ivanova A.I.¹, Sarvin B.A.³, Stavrianidi A.R.³

¹Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

²Institute of Experimental Botany, Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Keywords: growth, water status, carbohydrates, hormones, genes

ИЗМЕНЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОГО СТИМУЛА

Кузнецова Д.В. *, Ладейнова М.М., Воденеев В.А.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: kuznetsova.dar0@gmail.com

Для системного ответа на неблагоприятные факторы у растений имеется система генерации и передачи стрессовых сигналов. Действие локального повреждающего стимула индуцирует генерацию и распространение варибельного потенциала (ВП), механизмы передачи которого мало исследованы, предполагается роль волн активных форм кислорода (АФК), продуцируемых RВОН, и ионов кальция, вход которого в клетки активируется АФК, вероятно, с участием НРСА1. Действие стимула приводит к индукции фотосинтетического ответа в нераздраженных частях растения, что может быть обусловлено сдвигом в содержании фитогормонов. Целью работы явились анализ пространственно-временной динамики фотосинтетической активности (ФА) растений арабидопсиса и оценка возможной роли НРСА, RВОНD в передаче ВП, а также НРСА, RВОНD и жасмонатов в индукции фотосинтетического ответа при действии локального стимула.

В ходе работы были использованы растения арабидопсиса линий *hpca*, *rbohD*, *lox* и растения дикого типа (WT) возрастом 8 недель. Генерацию ВП индуцировали локальным нагревом, регистрировали с помощью макроэлектродов. ФА оценивали методом РАМ-флуориметрии.

Наибольшая амплитуда ВП и изменений ФА зарегистрирована в раздражаемом листе арабидопсиса. В листьях с прямыми сосудистыми связями с раздражаемым листом амплитуда ВП и изменений ФА больше, чем в листьях с непрямыми связями. В мутантах *rbohD* амплитуда ВП снижается в листьях с прямыми связями по сравнению с WT. Статистически значимых различий амплитуды изменений ФА мутантов *rbohD* и *hpca* относительно WT не выявлено. У мутантов *lox2* наблюдается тенденция к снижению амплитуды изменений ФА по сравнению с WT.

Таким образом, анализ пространственно-временной динамики электрической и фотосинтетической активности при действии локального стимула показал, что ВП является возможным индуктором изменений ФА растений арабидопсиса, возможным посредником этих изменений являются жасмонаты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-14-00388).

Ключевые слова: варибельный потенциал, АФК, жасмонаты, фотосинтез

CHANGES IN PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF ARABIDOPSIS PLANTS UNDER THE ACTION OF LOCAL STIMULUS

Kuznetsova D.V., Ladeynova M.M., Vodeneev V.A.

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: variation potential, ROS, jasmonates, photosynthesis

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И СВЯЗЬ С ЭКСПРЕССИЕЙ RUBISCO У *GLEDITSIA TRIACANTHOS* L. В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Кузьмин П.А.* , Крылов П.А.

ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, Россия

*E-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Исследование проведено на базе кластерных дендрологических коллекций (кадастр №34:34:000000:122 – питомник древесных растений ФНЦ агроэкологии РАН). Семенная популяция *Gleditsia triacanthos* L. расположена в городе Волгограде, имеет особенности по уровню влагообеспеченности, геологической истории и рельефу. *Gleditsia triacanthos* L. является одним из видов древесных растений который используется в агролесомелиорации территорий подверженных опустыниванию. Целью работы было выявить генетический полиморфизм популяции *Gleditsia triacanthos* L. и выявить связь с экспрессией гена RuBisCo.

Концентрацию и качество выделенной ДНК/РНК из *Gleditsia triacanthos* L для изучения генетического полиморфизма и количественной экспрессии гена RuBisCo оценивали с помощью флуориметра Qubit 4.0. и спектрофотометра SpectroStar при длинах волн A260/A280. В работе протестировано 18 ISSR-маркеров, которые имели динуклеотидные и тринуклеотидные микросателлитные участки. Шесть праймеров показали высокую эффективность (5 баллов), выявляли максимальное число амплифицируемых фрагментов: UBC808(AG)₈C; UBC818(CA)₈G; UBC823(TC)₈C; UBC826(AC)₈C; UBC857(AC)₈YG; UBC860(TG)₈RA. Математический анализ молекулярно-генетического полиморфизма ДНК проведен с применением программы POPGENE Version 1.31 и специализированного макроса GenAIEx 6.5 для MS-Excel с определением показателей генетической изменчивости. Количественную оценку экспрессии гена RuBisCo оценивали в программе QuantStudio Design and Analysis Software v1.5.1 на основе построения стандартной кривой. Количественные данные оценивали в программе Statistica 12.0.

В результате анализа ISSR-маркеров *Gleditsia triacanthos* L. было определено 28 амплифицированных фрагментов ДНК, из которых 22 ($P_{95}=0,786$) являлись полиморфными. Число амплифицированных ISSR-фрагментов в зависимости от праймера варьировалось от 2 до 5. Оценка экспрессии гена RuBisCo в исследуемой популяции составила в среднем 5,56 нг/мкл. В ходе исследования было выявлено 2 дерева в популяции, обладающих высокой экспрессией гена RuBisCo, которая превышала в 1,5-2 раза чем у других особей. Анализ ISSR-маркеров показал, что у данных деревьев наблюдается наибольший полиморфизм по праймерам UBC808 и UBC818. Других значимых различий между другими ISSR-маркерами у исследуемых особей популяции *Gleditsia triacanthos* L обнаружено не было.

Ключевые слова: агролесомелиорация, *Gleditsia triacanthos* L., ISSR, RuBisCo

GENETIC DIVERSITY AND ASSOCIATION WITH RUBISCO EXPRESSION IN *GLEDITSIA TRIACANTHOS* L. IN CONDITIONS OF DROUGHT

Kuzmin P.A.* , Krylov P.A.

FSC of agroecology RAS, Volgograd, Russia

*E-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Keywords: agroforestry, *Gleditsia triacanthos* L., ISSR, RuBisCo.

РОЛЬ ПРЕНИЛТРАНСФЕРАЗ В ФОРМИРОВАНИИ ТАЛЛОМА *MARCHANTIA POLYMORPHA*

Кулаженко М.С. *, Валеева Л.Р.

КФУ «Казанский (Приволжский) Федеральный Университет», Казань, Россия

*E-mail: mariakulazenko9979@gmail.com

Пренилирование является одним из важнейших типов посттрансляционной модификации белков большинства живых организмов. Пренилированные белки участвуют в таких внутриклеточных процессах, как сигнальная трансдукция, полярный рост клеток, модификации мембран и клеточной стенки. В модификации белков участвуют три типа пренилтрансфераз, наиболее специфичной из которых является Rab-геранилгеранилтрансфераза, о функционировании которой в растениях мало известно. Без всех вышеперечисленных процессов не могло бы быть возможным нормальное функционирование многоклеточных организмов.

Изучение пренилтрансфераз и пренилируемых белков бриофитов представляет неподдельный интерес, так как эта группа растений является одной из древнейших многоклеточных наземных растений, а значит, открывает новые возможности для изучения не только процессов развития растений и их многоклеточности, но и филогенетических связей внутри этого царства.

Целью работы было изучение роли Rab-геранилгеранилтрансферазы в развитии бриофита *Marchantia polymorpha* и идентификация белков-кандидатов, регулируемых пренилированием, участвующих в регуляции многоклеточного таллома растений.

В результате нами были получены штаммы *A. tumefaciens* GV2026 с интегрированными бинарными плазмидами pMpGE_011::sgRNA для нокаутирования генов Rab-геранилгеранилтрансферазы. Установлено, что нокаутирование генов α - и β -субъединиц приводит к формированию летального фенотипа растений. Показано, что мутация в интронном регионе гена RGTB не оказывает влияния на жизнеспособность и развитие. Также провели анализ экспрессии генов-кандидатов, обнаруженных при изучении протеомов растений-мутантов по генам фарнезилтрансферазы и геранилгеранилтрансферазы. Установлено, что гены-кандидаты, кодирующие белок с фитоцианиновым доменом и лектин-подобный белок, соответственно, экспрессируются только в растениях-нокаутах.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ ПС-3391.2021.4 по программе ПРИОРИТЕТ-2030 Казанского федерального университета.

Ключевые слова: пренилтрансферазы, многоклеточность, *Marchantia polymorpha*, CRISPR/Cas9.

THE ROLE OF PRENYLTRANSFERASES IN THE FORMATION OF THE *MARCHANTIA POLYMORPHA* THALLUS

Kulazhenko M.S., Valeeva L.R.

KFU "Kazan Federal University", Kazan, Russia

Keywords: prenyltransferases, multicellularity, *Marchantia polymorpha*, CRISPR/Cas9.

**ВЛИЯНИЕ НИТРОЗО-N-МЕТИЛМОЧЕВИНЫ, ДИМЕТИЛМОЧЕВИНЫ
И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ДИПЛОИДНОЙ ПШЕНИЦЫ
TRITICUM SINSKAJAE FILAT. ET KURK.**

Кулуев А.Р.* , Кулуев Б.Р., Чемерис А.В.

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, РФ

*E-mail: kuluev.azat91@yandex.ru

Метод химического мутагенеза позволяет в относительно короткие сроки получить материал для селекции с новыми особенностями и свойствами, включая совершенно новые мутации. Широкий спектр мутаций, распределенных по геному случайным образом, можно получить с использованием так называемых супермутагенов, индуцирующих изменения одиночных нуклеотидов путем их алкилирования, например, с помощью нитрозамидов, к которым относятся нитрозо-N-метилмочевина (НММ) и диметилмочевина (ДММ). Наряду с химическими мутагенами для ускорения селекции можно использовать и физические факторы мутагенности, такие как гамма-излучение и рентгеновские лучи. Объектом нашего исследования является диплоидная пшеница *Triticum sinskajae*, которая обладает такими свойствами как голозерность, легкий обмолот зерна. Был проведен мутагенез *T. sinskajae* с использованием НММ, ДММ и рентгеновского излучения с целью увеличения генетического полиморфизма этого вида пшеницы. Мы обработали семена в концентрациях от 0,01 % до 0,05% химическими мутагенами при экспозиции 16 ч, а также рентгеновскими лучами при значениях 70 kV и 160 mAs (DIG-360, Dongmun, Южная Корея). При обработке семян НММ с концентрацией 0,01 % всхожесть приближалась к 50%, при 0,02% всхожесть резко снижалась, при 0,03-0,04% все семена всходили, далее всхожесть вновь падала. В случае с ДММ почти 100% всхожесть была выявлена при концентрации 0,04-0,05%, при этом при меньших концентрациях всхожесть была крайне низкая. Мы это связываем со стимулирующим воздействием соответствующих концентраций мутагенов. Всхожесть обработанных рентгеновскими лучами семян была низкая, но взошедшие растения характеризовались более короткими стеблями, при этом по длине колоса, листьев и остей не было выявлено достоверных различий. В целом, существует необходимость в повторных экспериментах с рентгеновскими лучами при более низких дозах. Также мы определили полулетальную дозу обработки семян *T. sinskajae* при помощи НММ – 0,01% и при помощи ДММ – 0,025%.

Ключевые слова: пшеница Синской, химический мутагенез, рентгеновские лучи, супермутагены

**INFLUENCE OF NITROSO-N-METHYL UREA, DIMETHYL UREA AND X-RAY
RADIATION ON MORPHO-PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF DIPLOID
WHEAT *TRITICUM SINSKAJAE* FILAT. ET KURK.**

Kuluev A.R., Kuluev B.R., Chemeris A.V.

IBG UFRC RAS, Ufa, Russian Federation

Keywords: *T. sinskajae*, chemical mutagenesis, X-rays, supermutagens

ТРАНСГЕННЫЕ КОРНИ – МОДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ РОСТА И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ

Кулуев Б.Р.^{*1}, Мусин Х.Г.¹, Бережнева З.А.¹, Гумерова Г.Р.¹,
Баймухаметова Э.А.¹, Михайлова Е.В.¹, Галимова А.А.¹, Федяев В.В.²,
Ибрагимова З.А.²

¹ Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия;

² Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия;

*E-mail: kuluev@bk.ru

Одним из важных методов физиологии и молекулярной биологии растений при изучении функций генов является технология уменьшения и увеличения уровня их экспрессии при помощи генно-инженерных подходов и дальнейший анализ полученных трансформированных растений. С этой целью нами были созданы трансгенные растения табака с конститутивной экспрессией генов экспансинов *NtEXPA1*, *NtEXPA5*, *PnEXPA3*, *AtEXPA10*, ксилоглюканэндотрансгликозилаз *NtEXGT*, *PtrXTH1*, глутатион-S-трансферазы *AtGSTF11*, а также гена *ARGOS-LIKE*, кодирующего негативный регулятор этиленового сигналинга. Морфометрический анализ показал улучшенные параметры роста корней у трансгенных растений по сравнению с диким типом как при нормальных условиях, так и при действии стрессовых факторов. При выполнении данной серии экспериментальных работ наиболее трудоемким и длительным этапом было создание и отбор последующих поколений трансгенных растений, что для каждого трансгена занимало около 1 года. Исходя из этого, нами вместо получения полноценных трансгенных растений было предложено проводить генетическую трансформацию табака при помощи *Agrobacterium rhizogenes* с последующей индукцией волосовидных корней, на что требуется обычно не более 1 месяца. Таковые были получены из листовых эксплантов трансгенных растений с генами *NtEXPA5*, *AtGSTF11* и *ARGOS-LIKE*. Полученные волосовидные корни выращивались на твердых и жидких питательных средах как при норме, так и действии абиотических стресс-факторов. Были получены данные о позитивном влиянии изучаемых трансгенов как на рост, так и на стрессоустойчивость, также, как и при анализе полноценных трансгенных растений. Биохимический анализ выявил ряд позитивных изменений в антиоксидантной системе у трансгенных волосовидных корней. Полученные результаты говорят о возможности использования модельной системы волосовидных корней как для изучения молекулярных механизмов роста и стрессоустойчивости растений, так и для быстрого тестирования целевых генно-инженерных конструкций.

Ключевые слова: волосовидные корни, экспансины, ксилоглюканэндотрансгликозилазы, глутатион-S-трансферазы, *ARGOS-LIKE*

TRANSGENIC ROOTS AS A MODEL OBJECT FOR STUDYING MOLECULAR MECHANISMS OF GROWTH AND STRESS TOLERANCE OF PLANTS

Kuluev B.R.¹, Musin Kh.G.¹, Berezhneva Z.A.¹, Gumerova G.R.¹,
Baimukhametova E.A.¹, Mikhaylova E.V.¹, Galimova A.A.¹, Fedyaev V.V.²,
Ibragimova Z.A.²

¹ Institute of Biochemistry and Genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

² Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: hairy roots, expansins, xyloglucan endotransglycosylases, glutation-S-transferases, *ARGOS-LIKE*

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ЛИСТОВОГО САЛАТА (*LACTUCA SATIVA* L.) НА ВНЕСЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ ЦБК В ПОЧВУ, ЗАГРЯЗНЕННУЮ СВИНЦОМ

Курбатов А.А., Икконен Е.Н.* , Юркевич М.Г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия;

*E-mail: likkonen@gmail.com

Рост производительности сельского хозяйства во многом связан с поиском новых способов повышения эффективности использования почв, разработанных, в том числе на основе использования отходов целлюлозно-бумажной промышленности. Задачей данной работы являлась оценка влияния внесения в дерново-подзолистую почву избыточно активного ила, продукта вторичной переработки отходов ЦБК, на основные физиологические процессы (рост, фотосинтез, дыхание, водный обмен) у растений листового салата, а также выявление роли этого отхода в качестве почвенного детоксикатора, оптимизирующего жизнедеятельность растений в условиях загрязнения почвы свинцом. Выявлено, что повышенное содержание свинца в почве слабо отражалось на накоплении растениями биомассы, но существенно снижало фотосинтетическую ассимиляцию растениями CO_2 и усиливало дыхание, однако, без существенного влияния на соотношение путей дыхания и степень светового ингибирования дыхания. Внесение в почву активного ила не влияло на параметры водного обмена и дыхательного метаболизма растений независимо от используемого в данном исследовании диапазона концентраций свинца (0-250 мгPb(NO₃) в 1 кг почвы), но повышало накопление растениями биомассы и активность фотосинтеза. При росте растений на почве, содержащей свинец, использование активного ила снижало величину светового компенсационного пункта и увеличивало эффективность использования световой энергии на фотосинтез, не влияя при этом на фотосинтетическую эффективность использования воды. Опосредованное применением отходов повышение скорости фотосинтеза способствовало снижению дыхательных потерь от фотосинтеза и, соответственно, смещению баланса углерода растений в сторону накопления углерода.

Таким образом, внесение в почву избыточно активного ила благоприятно отразилось на активности физиологических процессов салата листового, и это воздействие было наиболее выражено в условиях загрязнения почвы свинцом. Эффект детоксикации достигался через снижение поступления и накопления в растительных тканях тяжелого металла, что обуславливало оптимизацию процессов, протекающих в растении.

Работа поддержана РФФ № 22-16-00145.

Ключевые слова: избыточно активный ил, биомасса, фотосинтез, дыхание

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF LETTUCE (*LACTUCA SATIVA* L.) TO APPLICATION OF SECONDARY WASTE OF PULP AND PAPER INDUSTRY TO SOIL CONTAMINATED WITH LEAD

Kurbatov A.A., Ikkonen E.N., Yurkevich M.G.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Keywords: secondary sludge, biomass, photosynthesis, respiration

МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ *DRACOCEPHALUM JACUTENSE* PESCHKOVA

Кучарова Е.В. *, Охлопкова Ж.М.

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

*E-mail: oleneek@mail.ru

Сохранение редких видов растений всегда остается актуальной темой для ученых. Сложно поддающиеся классической интродукции виды растений можно сохранять с использованием методов *in vitro*. Объектом данного исследования является редкий и исчезающий вид растения *Dracocephalum jacutense* Peschova. Данный вид растения произрастает только на территории Якутии, где отмечено наличие всего лишь 2-3 ценопопуляций на территории Кобяйского района. Растение занесено в «Красную книгу Республики Саха (Якутия)» по категории «1» (2017).

Целью исследования является введение *Dracocephalum jacutense* в культуру *in vitro* и получение микроклонов растения. В качестве интактного материала нами использованы семена, собранные с дикорастущих растений в окрестностях п. Сангара Кобяйского района Якутии. Из семян были получены стерильные проростки на безгормональной питательной среде Мурасиге Скуга (МС). Далее были отобраны экспланты в виде междоузлий из трехнедельных проростков *Dracocephalum jacutense* и пересажены на питательные среды МС с добавлением трех разных вариантов фитогормонов. На первом варианте на питательную среду МС добавляли 6-бензиламинопуридин (1 мг/л), на втором варианте - 2,4-дихлофеноксиуксусную кислоту (1 мг/л), на третьем варианте - тидиазурон (5 мг/л). Наблюдение вели в 3-х повторностях в течение 30 суток. Образцы, пересаженные на питательные среды с первым и вторым вариантом фитогормонов, отмирали на 7-9-ые сутки. Экспланты, пересаженные на питательную среду с третьим вариантом дали наилучший рост с интенсивным побегообразованием. Полученные микропобеги разделены и пересажены на аналогичную питательную среду для масштабирования получения микроклонов.

В целом, разработана технология получения микроклонов редкого и исчезающего вида растения *Dracocephalum jacutense* Peschova на основе эксплантов в виде междоузлий проростков. Начаты эксперименты по инициации корнеобразования микроклонов с изучением воздействия разных концентраций суспензии оксида графена.

Исследование выполнено в СВФУ за счет гранта РФФИ №22-14-20031, <https://rscf.ru/en/project/22-14-20031>.

Ключевые слова: *Dracocephalum jacutense* Peschova, *in vitro*, микроклональное размножение

MICROPROPAGATION OF *DRACOCEPHALUM JACUTENSE* PESCHKOVA

Kucharova E.V., Okhlopkova Zh.M.

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Keywords: *Dracocephalum jacutense* Peschova, *in vitro*, micropropagation

ВЛИЯНИЕ МИКОРИЗЫ НА СОСТАВ, СВОЙСТВА И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Кызин А.А.^{1*}, Минеев Я.П.²

¹ ООО «НВП «БашИнком», Уфа, Российская Федерация

² ФГБНУ УФИЦ РАН «Институт Биохимии и Генетики», Уфа, Российская Федерация

*E-mail: saimonnord@yandex.ru

Новые достижения в изучении роли арбускулярных микоризных грибов (АМГ) в питании растений открывают огромные перспективы их применения в сельском хозяйстве, вплоть до снижения дозировок или полного отказа от внесения макро- и микроэлементов в форме минеральных удобрений. Целью данной работы было изучить, как арбускулярные микоризные грибы влияют на биометрические показатели, минеральный состав и безопасность сельскохозяйственной продукции. В ходе работы было изучено влияние АМГ на урожайность сельскохозяйственных культур и аккумуляцию переходных металлов четвертого периода, а также кадмия и свинца.

В качестве гриба-симбионта в опытах была использована культура *Rhizophagus irregularis* F-1600, ранее известный как *Glomus intraradices* MUCL-49410, так как он относительно универсален и способен колонизировать корневую систему многих овощных и зеленых культур. Дополнительно были перепроверены культуры, выбранные для проведения опытов, на способность образовывать симбиоз с данным штаммом.

В качестве объектов исследования были взяты овощные и зеленые культуры: картофель, томаты, перец болгарский, морковь, лук, петрушка, салат. Инокуляция посевного материала проводилась путем замачивания клубней, семян и саженцев в культуре *Rhizophagus irregularis*, содержащей 1000-1500 спор/мл. Далее обработанный посевной материал высаживали в открытый грунт.

Избыток или недостаток микроэлементов в процессе вегетации контролировали экспресс-методом «Фитоскан» по интенсивности фотохимической реакции в хлоропластах в ответ на внесение солей, содержащих те или иные элементы. Абсолютные значения содержания микроэлементов и тяжелых металлов определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии по окончании вегетационного периода.

По биометрическим показателям инокулированные образцы показали значительное опережение в развитии как корневой системы, так и надземной части. В среднем прибавка урожая составила 15-18%

По результатам проведенных опытов установлено:

1. Практически во всех случаях в урожае с/х культур, полученном с применением АМГ, содержание кобальта на 50-75% достоверно выше по сравнению с контрольными образцами.
2. Также с участием АМГ некоторые с/х культуры накапливают медь, никель и хром.
3. Накопление происходит преимущественно в корнеплодах и клубнях.
4. Значительное накопление микроэлементов происходит в культурах, вегетационный цикл которых более 2 месяцев.
5. Свинец и кадмий не аккумулируются в урожае с/х культур, т.к. вероятно затруднено их перемещение по средствам транспортной системы гифов.

Ключевые слова: микоризные грибы, тяжелые металлы, аккумуляция.

IMPACT OF MYCORRHIZAL FUNGI ON THE COMPOUND, PROPERTIES AND BIOMETRIC INDICATORS OF AGRICULTURAL CROPS

Kizin A.A.¹, Mineev Y.P.²

¹ BashInkom LLC, Ufa, Russian Federation

² UFRC Institute of Biochemistry and Genetics RAS, Ufa, Russian Federation

Keywords: mycorrhizal fungi, heavy metal, accumulation.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОРМ ДИКОЙ СОИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСАТЕЛЛИТНОГО АНАЛИЗА

Лаврентьева С.И.

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия
Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск, Россия;
*E-mail: ana.lavrenteva.1984@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения молекулярно-генетического полиморфизма аллелей с использованием микросателлитной ДНК 11 форм дикой сои ФГБНУ ФНЦ Всероссийского научно-исследовательского института сои (ВНИИ сои) для идентификации и паспортизации их генотипов. Объектом исследования служили 11 коллекционных форм дикой сои генофонда ВНИИ сои с 5 районов Амурской области: КА-1413, КА-342, КА-346 (Архаринский район), КБел-72, (Белогорский район), КБл-29, КБл-24, КБл-90, КБл-77 (Благовещенский район), КТ-156 (Тамбовский район) и КЗ-6337, КЗ-578 (Зейский район). Методом ПЦР-анализа с использованием одиннадцати микросателлитных локусов (*Satt1*, *Satt2*, *Satt5*, *Satt9*, *Soypr1*, *Soygy2*, *Soyhsp176*, *Satt681*, *Sat_263*, *Satt141*, *Satt181*) получены уникальные профили ДНК исследуемых форм дикой сои. Для молекулярно-генетического анализа ДНК использовали 11 пар SSR-праймеров с температурой отжига от 45 до 60 °С. Впервые составлены молекулярно-генетические паспорта 11 сортов дикой сои Амурской области для паспортизации их генотипов. Выявлены 27 аллелей по 11 микросателлитным локусам, число которых на локус составило от 2 до 5. Значительное различие установлено по локусу *Satt1*, где установлено 5 аллелей с различной молекулярной массой (от 108 п.н. до 154 п.н.). По локусу *Satt9* выявлено 3 аллеля с молекулярными массами 120 п.н., 138 п.н. и 186 п.н.. По 9 локусам (*Satt2*, *Satt5*, *Soypr1*, *Soygy2*, *Soyhsp176*, *Satt681*, *Sat_263*, *Satt141*, *Satt181*) выявлено по 2 аллеля. Абсолютное сходство отмечено между генотипами форм КБл-29, КА-1413 и КБл-24 (A₁₄₅B₁₇₆C₁₇₅D₁₂₀E₁₇₈F₁₈₇H₁₂₆J₂₄₄K₁₆₅L₂₁₀M₂₀₈) и между генотипами форм КА-346 и КЗ-578 (A₁₃₇B₁₇₆C₁₇₅D₁₃₈E₁₇₈F₁₇₂H₁₁₅J₂₄₄K₁₃₅L₂₁₀M₂₀₈). Дискриминационный потенциал изученной маркерной системы достаточно высок для того, чтобы использовать ее в дальнейших исследованиях для идентификации и паспортизации форм дикой сои. Грант РНФ № 23-26-00076 «Изучение молекулярно-генетического полиморфизма, морфологических и хозяйственно ценных признаков коллекционных форм дикой сои».

Ключевые слова: Glycine soja, SSR-анализ, ДНК-маркеры, микросателлитные локусы, молекулярно-генетическая паспортизация.

IDENTIFICATION OF WILD SOYBEAN FORMS IN THE AMUR REGION USING MICROSATELLITE ANALYSIS

Lavrent'yeva S.I.

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia
Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

Keywords: Glycine soja, SSR-analysis, DNA-markers, microsatellite locus, molecular genetic certification.

ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ В ПОЛУЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ НЕЙРОСЕТЬЮ

Ладан С.С.^{1*}, Воробьев В.И.², Буданов А.В.³, Бурынин Д.А.⁴

¹ ВНИИ агрохимии, Москва, Россия;

² ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия;

³ ВНИИТеК ФНЦ пищевых систем, Видное, Россия;

⁴ ФАНЦ ВИМ, Москва, Россия;

*E-mail: s.ladan@bk.ru

В рамках данного исследования использовалось понятие «экологически чистой продукции», так как под основным индикатором подразумевалось отсутствие остатков пестицидов и агрохимикатов, определяемых не только химико-аналитическими методами, но и биотестированием. Методы фитотестирования позволяют определять загрязнения ниже или вне пределов обнаружения аналитическими методами.

В эксперименте были смоделированы почвенные условия: водный, солевой, осмотический стресс в условиях низкого и высокого уровня обеспеченности питательными веществами. Дополнительным вариантом были образцы почвы с установленными загрязнениями тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Для каждого вида сельскохозяйственных культур (пшеница твердая яровая, ячмень яровой, овес яровой, свекла сахарная, редис белый, горчица белая, рапс яровой, просо, сорго, люцерна, гречиха) был подобран гербицид, который применялся в повышенной в 2 раза норме до всходов и по вегетирующим растениям. Изучение растений осуществлялось методом неразрушающего мониторинга состояния растений, основанные на регистрации спектров отражения и пропускания листьев с помощью портативной системы измерения газообмена растений, (LI-6800, LI-COR). Так же использовался портативный флуориметр РАМ (FluorPen FP 110). Те же образцы почв были исследованы затем методом фитотестирования в планшетах.

Собранные данные стали основой модели фитотоксикологической оценки рисков при выращивании продукции с повышенными требованиями. Нейросетевые модели эффективно используются при неявных и плохо формализуемых закономерностях результатов биологических экспериментов. Для обучения нейросетевой модели из экспериментальных данных был сформирован набор из 250 экспериментов. Минимальная точность определения наличия или отсутствия токсического действия (при положительном фитотесте, то есть воздействии менее 20%), составляла $68,3 \pm 6,5\%$ на фоне повышенного содержания питательных вещества в условиях начала водного стресса. Для случаев с нормальными условиями и без иных видов стресса точность определения токсического воздействия гербицида составляла $89,7 \pm 6,9\%$, точность иных токсикантов $85,3 \pm 6,7\%$. Для фитотестов наиболее показательны овес и ячмень яровой, свекла сахарная, редис, люцерна.

Ключевые слова: токсикологическая оценка, загрязнение почв, фитотестирование, нейросеть

TOXICOLOGICAL RISK ASSESSMENT IN OBTAINING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS BY NEURAL NETWORK.

Ladan S.S.¹, Vorobyov V.I.², Budanov A.V.³, Burynin D.A.⁴

¹ Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russia;

² FSBSI ARRIAM, St. Petersburg, Russia;

³ Federal Scientific Center for Food Systems, Vidnoe, Russia;

⁴ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

*E-mail: s.ladan@bk.ru

Keywords: toxicological assessment, soil pollution, phytotesting, neural network

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ГОРМОНАЛЬНОЙ СИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ИНДУКЦИИ СИСТЕМНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ

Ладейнова М.М.

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия
E-mail: ladeynova.m@yandex.ru

Растения постоянно подвергаются действию неблагоприятных факторов окружающей среды. Локальные стимулы, воспринимаемые одной частью растения, вызывают распространение стрессовых дистанционных сигналов, которые индуцируют системное изменение активности физиологических процессов. Растения координируют системные процессы, используя различные типы сигналов, в числе которых электрические и гормональные. Электрические сигналы (ЭС) – это переходные изменения мембранного потенциала, которые быстро распространяются от места раздражения в другие ткани. Наряду с распространением ЭС в нераздражённых тканях происходит изменение содержания фитогормонов, однако механизмы регуляции стимул-индуцированной продукции гормонов на данный момент изучены мало. Изменение содержания гормонов, как и изменения ионных концентраций, опосредованные генерацией ЭС, вероятно, лежат в основе преобразования дистанционного сигнала в функциональный ответ, но конкретные молекулярные механизмы, обеспечивающие данный процесс, к настоящему времени исследованы недостаточно.

В докладе рассмотрены особенности пространственно-временной динамики электрической активности, концентрации фитогормонов и функциональных ответов. Роль ЭС в регуляции изменений содержания фитогормонов проанализирована на основе сопоставления параметров ЭС и особенностей динамики гормонов. Представлены возможные механизмы регуляции биосинтеза гормонов, которые могут быть опосредованы повышением уровня ионов кальция и активных форм кислорода, а также сдвигами pH, которые сопровождают генерацию и распространение ЭС. Формирование системного ответа рассмотрено как результат скоординированного вклада гормональной и электрической сигнальных систем в индукцию изменений активности физиологических процессов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-14-00388).

Ключевые слова: электрические сигналы, фитогормоны, ионы кальция, pH, системный ответ

INTERPLAY OF THE ELECTRICAL AND HORMONAL SIGNALING SYSTEMS IN THE INDUCTION OF THE SYSTEMIC RESPONSE IN PLANTS

Ladeynova M.M.

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: electrical signals; phytohormones; calcium ions; pH; systemic response

ДЕЙСТВИЕ ИНГИБИТОРОВ ПРОЦЕССА N-ГЛИКОЗИЛИРОВАНИЯ БЕЛКОВ НА РОСТ ПРОРОСТКОВ *LINUM USITATISSIMUM* L.

Ларская И.А.^{*}, Абдрахимов Ф.А., Федина Е.О.

Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение
ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия;

*E-mail pzl@mail.ru

Исследовано влияние ингибитора процесса N-гликозилирования белков – туникамицина на рост корней и гипокотилей проростков льна (*Linum usitatissimum* L.). Известно, что туникамицин ингибирует первую стадию образования олигосахаридного предшественника, необходимого для инициации синтеза N-гликопротеинов, подавляя активность N-ацетилглюкозаминфосфотрансферазы. Блокирование туникамицином (25 мкМ) ранних стадий образования N-гликанов приводило к более значительному ингибированию роста корней и гипокотилей у однодневных проростков по сравнению с двухдневными. Прижизненное окрашивание красителем ER-Tracker™ Green ЭПР-структур контрольных и обработанных туникамицином проростков льна показало, что ингибирование ростовых процессов сопровождалось изменением морфологии ЭПР, что свидетельствует о накоплении неправильно свернутых белков в просвете эндоплазматического ретикулума, связанное с нарушением нормального протекания процесса N-гликозилирования белков.

Таким образом, очевидно, что процесс N-гликозилирования необходим для нормального роста и развития растений, а фенотип растения будет обусловлен изменением в статусе N-гликозилирования определенных гликопротеинов.

Ключевые слова: N-гликозилирование, *Linum usitatissimum* L., туникамицин, конфокальная микроскопия, ЭПР, рост растений.

THE EFFECT OF PROTEIN N-GLYCOSYLATION INHIBITORS ON THE GROWTH OF *LINUM USITATISSIMUM* L. SEEDLINGS

Larskaya I.A., Abdrahimov F.A., Fedina E.O.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics FIC KazanSC of RAS, Kazan, Russia;

Keywords: N-glycosylation, *Linum usitatissimum* L., tunicamycin, confocal microscopy, ER, plant growth

УСТОЙЧИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Ласточкина О.В.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

E-mail: oksana.lastochkina@ufaras.ru

Снижение урожайности и качества продукции из-за абиотических стрессов, пестицидов и их комбинаций, наряду с изменением климата, значительно ограничивают производство важнейших продовольственных культур. Устойчивое производство продовольствия основывается на сбалансированном сочетании экологических, экономических и социальных аспектов путем использования инновационных методов и технологий с максимальным сохранением природных ресурсов и минимизацией негативного воздействия на окружающую среду. Такие подходы как применение агрополезных микроорганизмов, фитогормонов, маркер-ориентированная селекция, геномное редактирование и контролируемое светодиодное освещение, могут способствовать повышению устойчивости растений к различным стрессам и обеспечению продовольственной безопасности. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и может быть адаптирован к разным культурам и стрессам. Однако, необходимо продолжать исследования и разработки для полного раскрытия потенциала этих методов и обеспечения их безопасного и устойчивого применения. В данном докладе освещаются основные принципы, достижения и вызовы устойчивого производства сельскохозяйственных культур, в особенности пшеницы, как стратегически важной хлебной культуры. Обсуждаются последние достижения в области повышения адаптивного и продукционного потенциала пшеницы при воздействии стресс-факторов среды. Особое внимание уделяется технологии праймирования семян бактериями-эндофитами *Bacillus subtilis* и индуцируемым ими общим и специфическим механизмам защиты у контрастных по восприимчивости к обезвоживанию растений пшеницы, способствующим эффективной их адаптации к комбинированным стрессам, минимизируя негативное воздействие гербицидов и засухи.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №22-26-00076.

Ключевые слова: комбинированные стрессы, засуха и гербициды, пшеница, адаптация, бактерии-эндофиты

SUSTAINABLE CROP PRODUCTION: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

Lastochkina O.V.

Institute of Biochemistry and Genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: combined stresses, drought and herbicides, wheat, adaptation, bacteria-endophytes

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОПУЛЯЦИЙ ДУБА И БЕРЕЗЫ НА УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ С ПОМОЩЬЮ SSR

Лебедев В.Г.¹, Евлаков П.М.², Гродецкая Т.А.², Исаков И.Ю.², Попова А.А.², Ромашкина И.В.¹, Шестибратов К.А.¹

¹ Филиал Института биоорганической химии имени акад. М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН, Пущино, Россия

² Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф.Морозова, Воронеж, Россия

*E-mail: yglebedev@mail.ru

Глобальное изменение климата оказывает значительное влияние на такую метеозависимую отрасль, как лесное хозяйство. В России особенную актуальность проблема засухоустойчивости приобретает на южной границе распространения лесов (лесостепная зона), где недостаток влаги приводит к усыханию березовых и деградации дубовых насаждений. В этих условиях для лесовосстановления необходим отбор засухоустойчивых генотипов дуба и березы. Для генотипирования использовали около 300 генотипов для каждой породы. У дуба изучали 10 географических культур дуба черешчатого (*Quercus robur*), охватывающих весь его ареал на территории бывшего СССР, полусибсовое потомство плюсовых деревьев дуба из Воронежской области, растения а также растения дуба красного (*Q.rubra*) и дуба пушистого (*Q.pubescens*). У березы оценивали два поколения березы пушистой (*Betula pubescens*), повислой (*B.pendula*) и их гибридов с березой маньчжурской (*B.mandshurica*), вишневой (*B.lenta*) и бумажной (*B.papyrifera*). Генетическое разнообразие популяций оценивали с помощью ранее опубликованных микросателлитных (SSR) маркеров. Для оценки засухоустойчивости были разработаны маркеры из SSR локусов в структурных и регуляторных генах дуба и березы, связанных с засухоустойчивостью: белков позднего эмбриогенеза, дегидринов, аквапоринов, различных факторов транскрипции и др. Исследование позволило выделить наиболее полиморфные маркеры, оценить генетическую структуру потомства и построить дендрограммы генетических отношений. Полученные результаты могут быть использованы для изучения молекулярных механизмов устойчивости к засухе у древесных растений и отбора генотипов с наиболее высоким адаптивным потенциалом. Работа была поддержана Российским научным фондом (грант № 22-64-00036).

Ключевые слова: дуб, береза, устойчивость к засухе, микросателлиты

EVALUATION OF GENETIC POTENTIAL OF OAK AND BIRCH POPULATIONS FOR DROUGHT RESISTANCE USING SSR MARKERS

Lebedev V.G.¹, Evlakov P.M.², Grodetskaya T.A.², Isakov I.Yu.², Popova A.A.², Romashkina I.V.¹, Shestibratov K.A.¹

¹ Branch of Shemyakin and Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Pushchino, Russia

² Voronezh State University of Forestry and Technologies Named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Keywords: oak, birch, drought tolerance, microsatellites

ВЛИЯНИЕ ДЛИННЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ И КРУГЛОСУТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ *NICOTIANA TABACUM* В РАССАДНЫЙ ПЕРИОД

Левкин И.А.^{1,2}, Шерудило Е.Г.¹, Шibaева Т.Г.^{1*}

¹ ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия;

² Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия;

*E-mail: shibaeva@krc.karelia.ru

В климатических условиях России табак (*Nicotiana tabacum* L.) не успевает созреть при прямом посеве семян в грунт, поэтому выращивается рассадным способом. Табак весьма требователен к свету, а известно, что увеличение продолжительности фотопериода часто дает лучшие результаты, чем увеличение интенсивности освещения. Однако традиционные районы культурного возделывания табака характеризуются коротким световым днем. Кроме того, представители семейства *Solanaceae* (томат, баклажан, картофель) отличаются высокой чувствительностью к длинным фотопериодам, что проявляется в фотоповреждении листьев. Реакция табака на длинные фотопериоды мало изучена. Поскольку в закрытых системах с искусственным освещением нет необходимости привязываться к 24 ч суточному циклу, то длина цикла может быть любая. Целью работы было изучить влияние длинных свето-темновых циклов и круглосуточного освещения на растения табака в рассадный период. Растения табака сорта «Юбилейный новый 142» в течение 45 дней выращивали в климатических камерах при фотопериоде 16/8 ч, а затем перед высадкой в открытый грунт в течение двух недель подвергали воздействию аномальных свето-темновых циклов с одинаковым (по сравнению с фотопериодом 16/8 ч) интегралом дневного освещения (ИДО): 24/12 ч, 48/24 ч, 96/48 ч, 120/60. Еще одну группу растений 2 недели выращивали в условиях круглосуточного освещения, что в результате увеличило ИДО на треть. За контроль были приняты растения, выращенные при фотопериоде 16/8 ч.

Растения, подвергшиеся круглосуточному освещению, не имели явно выраженных признаков фотоповреждений, но содержание хлорофилла и каротиноидов в них было значительно ниже, чем в контроле. У них также отмечено повышение интенсивности перекисного окисления липидов. При этом биомасса побегов этих растений была в 3 раза выше. Аномальные длинные свето-темновые циклы имели разный эффект, несмотря на одинаковый ИДО. Биомасса побегов растений в условиях свето-темновых циклов 24/12 ч и 120/60 ч была на 60-70% выше, чем в контроле. В условиях цикла 48/24 ч растения не отличались от контроля, а цикл 96/48 ч уменьшил биомассу побегов вдвое.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

Ключевые слова: *Nicotiana tabacum*, свето-темновые циклы, фотопериод

EFFECTS OF LONG LIGHT-DARK CYCLES AND CONTINUOUS LIGHTING ON *NICOTIANA TABACUM* TRANSPLANTS

Levkin I.A.^{1,2}, Sherudilo E.G.¹, Shibaeva T.G.¹

¹ Federal Research Center “Karelian Research Center of Russian Academy of Science”, Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Nicotiana tabacum*, light-dark cycle, photoperiod

ТРАНСКРИПТОМНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ МИКОБИОНТА И ФОТОБИОНТА ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA* ПРИ УФ-ИНДУЦИРОВАННОЙ МЕЛАНИЗАЦИИ

Лексин И.Ю.^{1*}, Шелякин М.А.², Минибаева Ф.В.¹

¹ Казанский институт биохимии и биофизики РАН, Казань, Россия

² Институт биологии ФИЦ Коми научный центр Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия

*E-mail: lecsinilya@mail.ru

Лишайники относятся к экстремофильным организмам, которые способны существовать в суровых условиях среды под давлением различных абиотических факторов. Механизмы высокой стрессовой устойчивости лишайников включают регуляторные механизмы на уровне экспрессии генов, однако сообщения, посвящённые анализу транскриптома в лишайниках, подвергшихся стрессу, немногочисленны. В настоящей работе провели транскриптомное профилирование для изучения УФ-В индуцированных защитных механизмов лишайника *Lobaria pulmonaria*. Талломы лишайника ежедневно подвергались УФ-В облучению в течение 14 дней. Экспрессия генов фото- и микобионтов была проанализирована с помощью анализа данных РНК секвенирования и ПЦР в реальном времени. Среди дифференциально экспрессируемых генов (ДЭГов) фотобионта (*Symbiochloris reticulata*) наиболее индуцированными оказались гены, кодирующие белки теплового шока, антиоксидантные ферменты, глутатион-S-трансферазы и убиквитины. Среди ДЭГов микобионта наиболее сильное повышение экспрессии было выявлено для генов, участвующих в фолдинге белков, антиоксидантной защите, протеолизе и азотном обмене. Стоит отметить, что верхний кортекс лишайника, образуемый микобионтом, экранирует большую часть УФ-излучения, обеспечивая защиту фотобионта. В нашей работе мы показали, что УФ облучение лишайника индуцирует экспрессию генов, участвующих в синтезе темного пигмента меланина. Кроме того, были обнаружены кластеры генов, участвующих в биосинтезе потенциальных фотопротекторных метаболитов. В целом, наши данные свидетельствуют о том, что реакция *L. pulmonaria* на УФ-излучение регулируется сложным взаимодействием активности генов как грибного, так и водорослевого симбионтов. Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и поддержана грантом РФФИ № 23-14-00327.

Ключевые слова: лишайники, транскриптомный анализ, вторичные метаболиты, УФ-облучение

TRANSCRIPTOME PROFILING OF MYCOBIONT AND PHOTOBIONT OF THE LICHEN *LOBARIA PULMONARIA* DURING UV-INDUCED MELANIZATION

Leksin I.Y.¹, Shelyakin M.A.², Minibayeva F.V.¹

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of the RAS, Kazan, Russia

² Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Keywords: lichens, transcriptome analysis, secondary metabolites, UV irradiation

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ МЕХАНИЗМОВ ЦИТОКИНИНОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ У РАСТЕНИЙ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТИХ ЗНАНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АГРОКУЛЬТУР

Ломин С.Н.

ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,
Москва, Российская Федерация

*E-mail: losn1@yandex.ru

Цитокинины – классические гормоны растений. Механизм их действия на растения стал активно раскрываться в течение последних 20 лет. В целом, созданы довольно полные модели как передачи сигнала с помощью двухкомпонентных систем с гибридной гистидинкиназой в качестве рецептора, и синтеза, инициируемого пренелированием аденозинфосфатов. Пожалуй, за последнее годы самые большие достижения наблюдаются в исследовании транспорта цитокининов. И в этой сфере пока нельзя сказать, что модель окончательно сформулирована. Это касается как внутриклеточного транспорта, так и дальнего транспорта для коммуникации между различными частями растения. Данная область тесно связана и с вопросом о месте инициации сигнала этого гормона в клетке. И тут тоже нет окончательной ясности, хотя на этом пути имеются определенные достижения. Во многом, все вышесказанное относится к модельному растению арабидопсису. В то же время работа с сельскохозяйственными растениями представляет большой интерес с точки зрения практического использования. И тут у цитокининов определенно имеется большое будущее. Эти гормоны имеют плеiotропный эффект на растения. Причем даже в ряде стрессов, например, в случае засухи, действие их на разные части растений носит неоднозначный и даже противоположный характер. При этом следует сказать, что устройство цитокининовых систем у разных растений в деталях может сильно различаться. И в последнее время многие исследования как раз направлены именно в этом направлении. При этом знание базовых механизмов организации этой гормональной системы в совокупности с применением постоянно улучшающихся методов модификации генетического аппарата должно, в конечном итоге, привести к созданию сельскохозяйственных культур нового поколения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-14-00259.

Ключевые слова: цитокинины, рецепторы, передача сигнала, трансгенные растения, улучшение сельскохозяйственных культур.

CURRENT ADVANCES IN THE STUDY OF CYTOKININ SIGNALING MECHANISMS IN PLANTS AND POSSIBLE WAYS TO USE THIS KNOWLEDGE TO IMPROVE AGRICULTURAL CROPS

Lomin S.N.

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Keywords: cytokinins, receptors, signal transduction, transgenic plants, crop improvement.

РОСТОВЫЕ, БИОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СУСПЕНЗИОННЫХ КУЛЬТУР КЛЕТОК *PANAX VIETNAMENSIS* НА ET GRUSHV.

Лунькова М.К.¹, Титова М.В.^{1*}, Попова Е.В.¹, Прудникова О.Н.¹,
Тюрина Т.М.¹, Клычников О.И.^{1,2}, Метальников П.С.¹, Цветкова Е.В.³,
Орлова А.А.¹, Носов А.М.^{1,2}

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет, Москва, Россия;

³ Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: titomirez@mail.ru

Panax vietnamensis — растение семейства Аралиевых, используемое в традиционной медицине Вьетнама и Китая для лечения ряда заболеваний и в качестве тонизирующего средства. *P. vietnamensis* относят к редким и охраняемым видам, поэтому разработка биотехнологических подходов для получения его биомассы весьма актуальна. Целью данной работы было охарактеризовать по ростовым, цитологическим, биосинтетическим характеристикам и биологической активности шесть штаммов суспензионных культур клеток *P. vietnamensis*, полученных из каллуса корня одного растения. Штаммы PV-70, PV-71 и PV-4 выращивали на среде с минеральной основой по Гамборгу с добавлением фитогормонов 2,4-Д, 6-БАП и НУК для штамма PV-70 или 2,4-Д, кинетина и НУК для штаммов PV-71 и PV-4. Штаммы PV-71-SH, PV-70-SH и PV-4-SH культивировали на среде с минеральной основой по Шенку и Хильдебрандту с добавлением 2,4-Д и кинетина. Показано, что, по сравнению с культурами клеток других видов женьшеня, для всех исследованных штаммов характерны достаточно высокие и стабильные показатели роста, а также большая степень гетерогенности популяции по размеру агрегатов и морфологии клеток. Наиболее высокой продуктивностью (0,6-0,8 г·л⁻¹·сут) и удельной скоростью роста (0,2 сут⁻¹) обладают штаммы PV-70, PV-4 и PV-4-SH. Масс-спектрометрическое профилирование метанольных экстрактов биомассы всех штаммов выявило гинзенозиды групп олеанановой кислоты, протопанаксадиола и протопанаксатриола (0,2-0,7 мг·г⁻¹ сухой массы). В антимикробных тестах наибольшую активность проявили штаммы PV-70-SH и PV-71-SH (МИК 2-4 г·л⁻¹ для *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 и 1-2 г·л⁻¹ для *Escherichia coli* ATCC 25922). Для всех штаммов выявлена антирадикальная активность по тестам NBT, ABTS и DPPH. Таким образом, исследованные штаммы являются перспективными объектами для дальнейшей разработки технологии промышленного получения клеточной биомассы *P. vietnamensis* и получения фитопрепаратов на её основе.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ №19-14-00387.

Ключевые слова: *Panax vietnamensis*, суспензионные культуры клеток, антимикробная активность, антиоксидантная активность, тритерпеновые гликозиды.

GROWTH, BIOSYNTHETIC CHARACTERISTICS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SUSPENSION CELL CULTURES OF *PANAX VIETNAMENSIS* НА ET GRUSHV.

Lunkova M.K.¹, Titova M.V.^{1*}, Popova E.V.¹, Prudnikova O.N.¹, Tyurina T.M.¹,
Klychnikov O.I.^{1,2}, Metalnikov P.S.¹, Tsvetkova E.V.³, Orlova A.A.¹, Nosov A.M.^{1,2}

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia;

³ Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Saint Petersburg, Russia.

Keywords: *Panax vietnamensis*, suspension cell culture, antimicrobial activity, antioxidant activity, triterpene glycosides.

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА *rbcl* И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА RbcL У ВИДОВ С РАЗНЫМ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА ПРИ ДЕЙСТВИИ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Лунькова Н.Ф.* , Прокофьева М.Ю., Халилова Л.А., Шуйская Е.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: nina.lunkova@gmail.com

Изучали воздействие ПЭГ-индуцированного осмотического стресса (-0.3 МПа), повышенной температуры (35°C), а также их совместного действия при нормальной (400 ppm) и повышенной (800 ppm) концентрации CO₂ на содержание большой субъединицы (БС) белка рибулозобифосфат карбоксилазы/оксигеназы (РБФК/О, RbcL) и экспрессию соответствующего гена (*rbcl*) у C₃ вида *Chenopodium quinoa* и C₄ вида *Kochia prostrata*.

У *C. quinoa* обнаружено изменение экспрессии гена (10-кратное снижение) только при 35°C и 800 ppm CO₂, что не приводило к изменению в содержании белка, которое также оставалось стабильным и при других условиях воздействия. У *K. prostrata* воздействие ПЭГ как одного фактора, так и в разных комбинациях с другими факторами (35°C и/или 800 ppm CO₂) приводило к 10-кратному снижению экспрессии *rbcl*. Однако при этом содержание БС РБФК/О или не менялось (при 800 ppm CO₂ независимо от температуры) или незначительно отклонялось в сторону увеличения (при 35°C и 400 ppm CO₂), или уменьшения (при 25°C и 800 ppm CO₂). Таким образом, изменение в содержании RbcL не соответствовало изменениям в экспрессии *rbcl*. Это может быть обусловлено как разной скоростью деградации белка, так и тем, что БС РБФК/О может обнаруживаться вне хлоропластов. Об этом свидетельствует выявленное методом иммунной локализации изменение в соотношении RbcL внутри хлоропластов (xRbcL) и вне хлоропластов (vRbcL) в условиях 35°C при 400 ppm и 800 ppm CO₂. В условиях 800 ppm CO₂ при 25°C наблюдалось 2,5-кратное увеличение соотношения vRbcL/xRbcL при том, что суммарное содержание БС РБФК/О возрастало на 20%, тогда как при 35°C vRbcL/xRbcL снижалось вдвое, а содержание белка возрастало в два раза. При этом экспрессия *rbcl* не менялась в обоих случаях. Таким образом, полученные результаты позволяют предположить разную стратегию ответа на уровне экспрессии *rbcl* и содержания RbcL у изученных C₃ и C₄ видов на воздействие факторов среды.

Ключевые слова: ген *rbcl*, белок RbcL, *Chenopodium quinoa*, *Kochia prostrate*, абиотические факторы

EXPRESSION OF THE *rbcl* GENE AND THE CONTENT OF THE RbcL PROTEIN IN SPECIES WITH DIFFERENT TYPES OF PHOTOSYNTHESIS UNDER THE ACTION OF ABIOTIC FACTORS

Lunkova N.F., Prokofieva M.Yu., Halilova L.A., Shuyskaya E.V

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: gene *rbcl*, protein RbcL, *Chenopodium quinoa*, *Kochia prostrate*, abiotic factors

ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ВИНОГРАДА НА СУБОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКТОРОВ УСТОЙЧИВОСТИ

Луцкий Е.О.* , Сундырева М.А.

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, Россия

*E-mail: peacemasterracer@gmail.com

Нарушение цикличности природно-климатических процессов, формирующейся тенденции усиления континентальности климата на юге России приводит к повышению метеострессовых повреждений, что актуализирует направленность исследований в области повышения стрессоустойчивости растений. В Краснодарском крае (около 30 % площадей российских виноградников) повторяющиеся понижения температуры в зимний период до $-20...-22^{\circ}\text{C}$ наносят существенный вред виноградарству. Эффективное повышение морозостойкости может быть осуществлено путем стимуляции защитных реакций. Объектами исследования являлись сорта винограда, контрастные по морозостойкости. В работе была исследована экспрессия генов углеводного и липидного обмена, содержание малонового диальдегида, углеводов, активность антиоксидантных ферментов. Пероксидазная активность коррелировала с понижением температуры у морозостойких сортов и содержанием растворимых углеводов – у неморозостойкого сорта. Температурные колебания не оказывали влияния на экспрессию генов липидного и углеводного обменов в течение периода покоя в естественных условиях. Уровень относительной экспрессии генов, участвующих в метаболизме сахарозы и трегалозы, изменениях липидного состава мембран, существенно менялся в разные стадии периода покоя. Данные гены могут обеспечивать регуляцию стадий покоя у винограда и обеспечивать при этом различные уровни устойчивости к низким температурам. Обработка сортов винограда различными стимуляторами показала выраженную положительную динамику в снижении повреждения винограда низкими температурами. У сортов Мерло и Достойный снижение повреждаемости тканей низкими температурами обеспечивало применение метилжасмоната и эпибрасинолида, а у сортов Курчанский и ТАНА 33 пролин и диметилсульфоксид соответственно. Таким образом, морозостойкость винограда является специфическим сортовым признаком и контролируется различными механизмами, что определило разницу во эффекте от стимулирующих и защитных обработок.

Ключевые слова: виноград, низкотемпературный стресс, ответные реакции, индукторы морозостойкости

GRAPE RESPONSES TO SUB-OPTIMAL TEMPERATURES UNDER NATURAL AND ARTIFICIAL CONDITIONS ON THE BACKGROUND OF THE APPLICATION OF BIOSTIMULANTS

Lutskiy E.O., Sundyрева M.A.

Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Research Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking», Krasnodar, Russia

Keywords: grapes, low-temperature stress, low-temperature stress responses, freezing tolerance, biostimulants

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ У РАСТЕНИЙ *MICROTHLASPI PERFOLIATUM* И *NOCCAEA CAERULESCENS*

Лыкова Т.Ю.*, Кожевникова А.Д., Злобин И.Е., Карташов А.В., Серегин И.В.

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: renard.roux@mail.ru

Проанализировано распределение и токсическое действие Ni на растения гипераккумулятора *Noccaea caerulescens* (популяция Wilwerwiltz) и исключателя *Microthlaspi perfoliatum*. Растения выращивали в течение 2 месяцев на растворе Хогланда в присутствии NiSO₄ в разных концентрациях (20 – 800 мкМ для *N. caerulescens* и 5 – 160 мкМ для *M. perfoliatum*). Растения *N. caerulescens* были более устойчивы к действию Ni по сравнению с *M. perfoliatum*, о чем свидетельствует проявление токсического действия Ni у исключателя при более низких концентрациях Ni. Чувствительность корней и побегов к Ni у этих видов отличалась. Токсическое действие Ni на водный режим в большей степени проявлялось в побегах *M. perfoliatum*, с чем может быть связано снижение накопления их сырой биомассы. Высокая устойчивость корней исключателя и побегов гипераккумулятора к Ni может быть связана с более эффективными механизмами детоксикации Ni в этих органах. В отличие от *N. caerulescens*, у *M. perfoliatum* при действии Ni наблюдалось увеличение интенсивности транспирации и числа устьиц в верхней эпидерме листа. Содержание пролина и малонового диальдегида возрастало при более низких концентрациях Ni в растворе у исключателя по сравнению с гипераккумулятором. Накопление Ni в побегах, фактор транслокации и суммарное поглощение увеличивались с повышением концентрации Ni в среде и были выше при эквимоллярных концентрациях Ni у гипераккумулятора по сравнению с исключателем. У *N. caerulescens* Ni накапливался в побегах, а у *M. perfoliatum* накопление в корнях или побегах зависело от концентрации Ni в среде. У обоих видов Ni накапливался в кончиках корней, проводящих тканях и эпидерме листьев при низких концентрациях Ni в среде, а при их повышении выявлялся в ризодерме, коре и стеле корней. Накопление Ni в эпидерме листа является важнейшим механизмом детоксикации Ni, ограничивающим поступление Ni в мезофилл и его влияние на фотосинтетический аппарат растений.

Исследования выполнены за счет средств РНФ (проект № 21-14-00028)

Ключевые слова: никель, токсичность, распределение никеля, гипераккумуляция

COMPARATIVE ANALYSIS OF NICKEL TOXIC EFFECTS AND DISTRIBUTION IN *MICROTHLASPI PERFOLIATUM* AND *NOCCAEA CAERULESCENS*

Lykova T.Yu., Kozhevnikova A.D., Zlobin I.E., Kartashov A.V., Seregin I.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: nickel, toxicity, nickel distribution, hyperaccumulation

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА КАК ФАКТОР СТРЕССА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО ШОКА. ВЛИЯНИЕ НА ФОТОСИСТЕМЫ 1 И 2.

Лысенко Е.А.^{1*}, Козулева М.А.^{1,2}, Клаус А.А.¹, Пшибытко Н.Л.³,
Кузнецов В.В.¹

¹ Институт физиологии растений РАН, Москва, Россия;

² Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, Московская обл., Россия;

³ Белорусский государственный университет, Биологический факультет, Минск, Беларусь.

*Email: genlysenko@mail.ru; +7 499 231-83-44

Тепловой шок (ТШ) в природе сопровождается дефицитом влаги. Пониженная влажность рассматривается как недостаток воды для поглощения корнями. Мы впервые показали, что недостаток воды в воздухе усугубляет повреждающее действие ТШ на активность фотосистем и общее состояние растений.

Молодые растения ячменя и кукурузы подвергали 48 ч воздействию ТШ разной интенсивности: мягкий ТШ (37°C), полноценный ТШ (42°C) и почти летальный ТШ (46°C). Каждый вариант ТШ был проведен параллельно в условиях повышенной и пониженной влажности воздуха.

Увеличение температуры подавляло рост растений; в редких случаях наблюдалось уменьшение исходных размеров. Влажность воздуха не влияла на рост растений в контроле (24°C) и при мягком ТШ (37°C), оказывала слабое влияние при 42°C и сильное при 46°C. Оба вида резко увеличивали поглощение воды корнями при 37°C. При дальнейшем повышении температуры, ячмень не мог более увеличивать поглощение воды корнями; в условиях 46°C при пониженной влажности воздуха растения ячменя погибали к концу эксперимента. Растения кукурузы увеличивали поглощение воды корнями при более высоких температурах и выживали.

Пониженная влажность воздуха снижала активность фотосистем; проявление эффекта зависело от общего состояния фотосистем и растений. В контроле и при 42°C наблюдался маленький понижающий эффект. При 37°C происходила активация фотосистем, поэтому эффект влажности воздуха исчезал. При 46°C растения и их фотосистемы были сильно подавлены; в этих условиях эффект влажности воздуха становился большим. Сходное снижение активности фотосистемы 2 достигалось у ячменя и кукурузы за счет разных нефотохимических механизмов.

Таким образом, влажность воздуха является фактором стресса, снижающим активность фотосистем, в результате чего подавляется рост растений.

Результаты опубликованы: Lysenko et al., 2023. *Plant Physiol Biochem*, 194: 246-262. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.11.016. Работа выполнена в рамках госзадания (тема №122042700044-6) и при частичной поддержке гранта РФФ.

Ключевые слова: тепловой шок, влажность воздуха, фотосистемы 1 и 2.

AIR HUMIDITY AS A STRESS FACTOR INFLUENCING ACTIVITIES OF PHOTOSYSTEMS I AND II UNDER HEAT STRESS.

Lysenko E.A.¹, Kozuleva M.A.^{1,2}, Klaus A.A.¹, Pshybytko N.L.³, Kusnetsov V.V.¹

¹ Institute of Plant Physiology, RAS, Moscow, Russia;

² Institute of Basic Biological Problems, RAS, Pushchino, Moscow region, Russia;

³ Belorussian State University, Biological faculty, Minsk, Belarus.

Keywords: heat stress, air humidity, photosystems I and II.

**РЕГУЛЯЦИЯ БАЛАНСА ФОТОСИНТЕЗ/ДЫХАНИЕ
ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ АКТИВАЦИИ ФИТОХРОМНОЙ СИСТЕМЫ
И ДИНАМИКА РОСТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ
КС-ОБЛУЧЕНИИ ЦЕЛОГО РАСТЕНИЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ**

Любимов В.Ю.* , Кособрюхов А.А.

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, Россия

*E-mail: lvyu99@mail.ru

На растениях огурца (*Cucumis sativus* L.) исследовали сигнальное действие красного света (КС) на соотношение потока углерода по дыхательному и фотосинтетическому путям метаболизма в листьях и возможность регуляции ростовых процессов и накопления биомассы целого растения в 10–15-дневном онтогенезе при периодическом досвечивании растений слабыми дозами КС. При однократном облучении листьев, адаптированных в темноте, дозой КС 15–18 кДж м⁻² происходило увеличение пропускной способности восстановительного пентозофосфатного цикла (по активности НАДФ-ФГА-ДГГ, КФ 1.2.1.13) в 1,5–2,0 раза и снижение пропускной способности гликолиза (по активности НАД-ФГА-ДГГ, КФ 1.2.1.12) на 30–40%. Такое изменение активности ключевых энерготрансформирующих ферментов двух противоположно направленных потоков углерода коррелировало с увеличением скорости ассимиляции СО₂ целыми интактными листьями в 1,5–2,0 раза. Этот эффект КС затухал при выдерживании растений в темноте в течение 30–60 минут. Растения, выращенные в течение 10–15 дней на белом свете (ФАР = 300 мкмоль м⁻² с⁻¹) с периодическим добавлением КС ($\lambda = 660$ нм, $\lambda_{1/2} = 30$ нм, 75 мкмоль м⁻² с⁻¹, 15 минут каждые 120 минут) при измерении активности ФГА-дегидрогеназ и скорости ассимиляции СО₂ через 12 часов после КС-досветки показали увеличение активности хлоропластного фермента на 40–45% и снижение цитоплазматического на 30%. При этом так же регистрировалось увеличение фотосинтеза на 40–50%. Морфометрические измерения на 5, 9 и 15 день вегетации показали, что при дополнительном КС-облучении площадь семядольных листьев увеличивается на 30–40% и первого настоящего листа – на 40%. К концу онтогенеза свежий и сухой вес КС-растений превосходил контрольные величины на 30–40%. Таким образом, можно говорить о «закреплении» регуляторного действия фитохромной системы при периодической низкоэнергетической (4–5% от дозы белого света) активации её на соотношение процессов анаболизма и катаболизма в масштабе целого растения.

Ключевые слова: биомасса, дыхание, рост, фитохром, фотосинтез

**REGULATION OF PHOTOSYNTHESIS/RESPIRATION BALANCE
UNDER SHORT-TERM ACTIVATION OF THE PHYTOCHROM SYSTEM
AND THE DYNAMICS OF GROWTH PARAMETERS DURING
PERIODIC WHOLE PLANT RL-IRRADIATION IN ONTOGENESIS**

Lyubimov V.Yu.* , Kosobryukhov A.A.

Institute of basic biological problems RAS, Pushchino, Russia

*E-mail: lvyu99@mail.ru

Keywords: biomass, respiration, growth, phytochrome, photosynthesis

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ГРАДИЕНТЫ В СОЦВЕТИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ФАЗУ ПРЕДКОЛОШЕНИЯ

Любушкина И.В.^{1,2*}, Полякова М.С.¹, Поморцев А.В.¹, Кириченко К.А.¹,
Забанова Н.С.^{1,2}, Корсукова А.В.¹, Грабельных О.И.^{1,2}, Побежимова Т.П.¹,
Дударева Л.В.¹, Войников В.К.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

*E-mail: ostrov1873@yandex.ru

Фаза предколосения является одним из ключевых периодов в процессе развития соцветий у злаков. В это время, в зависимости от условий внешней среды, а также физиолого-биохимического состояния цветков происходит переключение генетической программы, которое приводит к отмиранию наименее дифференцированных и развитых цветков. Переключение генетической программы развития микроспор во время фазы предколосения возможно путем применения стрессовых воздействий. Однако недостаток данных о метаболизме цветков, находящихся в соцветии, ограничивает использование современных биотехнологических подходов у злаков. В настоящей работе было проведено сравнение уровня неструктурных углеводов, активности дыхания и содержания жирных кислот и ряда гормонов в тканях цветков озимой пшеницы из разных частей колоса (верхней, средней и нижней). В тканях цветков из средней и нижней частей соцветия были выявлены более высокое содержание водорастворимых углеводов и более высокая скорость общего дыхания. Максимальное содержание ненасыщенных жирных кислот (ННЖК) и продуктов перекисного окисления липидов были обнаружены в нижней части соцветия. Уровень индол-3-уксусной, абсцизовой и жасмоновой кислот был одинаковым в тканях цветков из разных частей соцветия, однако содержание салициловой кислоты (СК) в нижней части колоса было почти в 2 раза выше, чем в верхней и средней частях. Таким образом, в соцветиях были обнаружены градиенты дыхания, содержания углеводов, а также метаболизма ННЖК с максимумами в нижней части колоса, что свидетельствует о его высокой метаболической активности. В то же время максимум содержания СК, являющейся гормоном стресса, также приходился на нижнюю часть соцветия. Обнаруженные метаболические и биохимические градиенты в колосьях озимой пшеницы свидетельствуют о разных стратегиях развития цветков, определяемых их положением в соцветии.

Ключевые слова: соцветие пшеницы, дыхание, водорастворимые углеводы, перекисное окисление липидов, жирные кислоты, гормоны

METABOLIC AND BIOCHEMICAL GRADIENTS IN WINTER WHEAT INFLORESCENCE IN THE PRE-SHUTTING PHASE

Lyubushkina I.V.^{1,2}, Polyakova M.S.¹, Pomortsev A.V.¹, Kirichenko K.A.¹,
Zabanova N.S.^{1,2}, Korsukova A.V.¹, Grabelnykh O.I.^{1,2}, Pobezhimova T.P.¹,
Dudareva L.V.¹, Voinikov V.K.¹

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

² Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Keywords: wheat inflorescence, respiration, water-soluble carbohydrates, lipid peroxidation, fatty acids, hormones

СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННАЯ АУТОФАГИЯ В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ: РОЛЬ S-НИТРОЗИЛИРОВАНИЯ БЕЛКОВ

Мазина А.Б.^{1*}, Газизова Н.И.¹, Даминова А.Г.¹, Соловьева М.А.²,
Шумилина Ю.С.², Горбач Д.П.², Лукашева Е.М.², Фролов А.А.², Минибаева Ф.В.¹

¹ КИББ - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: abmazina@gmail.com

Аутофагия является высококонсервативным катаболическим клеточным процессом, вовлеченным в процессы развития организма, адаптацию клеток к стрессовым факторам окружающей среды и программируемую гибель клеток. Одними из индукторов аутофагии являются активные формы азота. Ключевым механизмом NO-опосредованной сигнализации является посттрансляционная модификация (ПТМ) белков посредством S-нитрозилирования. В клетках животных эта ПТМ является триггером сигнальных каскадов в процессах индукции аутофагии. Для растений информация о роли S-нитрозилирования белков в процессах аутофагии крайне скудна. Целью данной работы являлся анализ S-нитрозилирования белков, вовлеченных в аутофагию, в клетках корней пшеницы.

Воздействие на интактные корни *Triticum aestivum* донора NO (KNO₂) или антимицина А приводило к накоплению в клетках аутофагосом и повышению экспрессии аутофагических (ATG) генов. Биоинформатический анализ выявил наличие сайтов S-нитрозилирования в структуре белков ATG4a, ATG4b, ATG16, участвующих в различных стадиях формирования аутофагосом. Методом иммуноцитохимии с использованием моноклональных антител выявлено накопление S-нитрозилированных белков в клетках корней при индукции аутофагии. Идентификацию S-нитрозилированных белков проводили с помощью стандартного bottom-up протеомного подхода, включающего PAGE электрофорез, Вестерн-блоттинг, последующий трипсинолиз, анализ с помощью nanoLC-MS/MS и идентификацию аминокислотных последовательностей. С помощью моделирования белок-белковых взаимодействий предсказано вовлечение идентифицированных белков, в т.ч. GAPDH, ABC-транспортера и др., в аутофагические процессы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что S-нитрозилирование является ключевой ПТМ, регулирующей активность различных белков, участвующих в аутофагии в клетках растений.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, аутофагия, оксид азота, S-нитрозилирование белков

STRESS-INDUCED AUTOPHAGY IN PLANT CELLS: THE ROLE OF PROTEIN S-NITROSYLATION

Mazina A.B.¹, Gazizova N.I.¹, Daminova A.G.¹, Soloveva M.A.², Schumilina U.S.²,
Gorbach D.P.², Lukasheva E.M.², Frolov A.A.², Minibayeva F.V.¹

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Federal Research Center

"Kazan Scientific Center of RAS", Kazan, Russia

² Saint Petersburg State University, St Petersburg, Russia;

Keywords: *Triticum aestivum*, autophagy, nitric oxide, S-nitrosylation of proteins

РЕАКЦИЯ ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА *SOLANUM TUBEROSUM* НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА

Макеева И.Ю.* , Пузина Т.И.

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева», Орел, РФ;

*E-mail: makeevainna@inbox.ru

Исследования последних лет свидетельствуют, что цитоскелет–опосредованная гормональная регуляция роста и морфогенеза осуществляется как за счет изменения пространственной организации элементов цитоскелета, так и экспрессии генов синтеза тубулина, актина и ассоциированных с ними белками. Вместе с тем, не найдено сведений о влиянии структурного состояния элементов цитоскелета на содержание фитогормонов, что не позволяет выявить участие цитоскелета в физиологических процессах, находящихся под гормональным контролем. В данной работе исследовали содержание ауксинов, гиббереллинов, цитокининов и абсцизовой кислоты в растениях картофеля в зависимости от структурного состояния микротрубочек. Одновременно изучали действие антиоксиданта фенольной природы кофейной кислоты в условиях фармакологической деструкции микротрубочек оризалином на гормональный статус растений. Обработку растений путем орыскивания проводили через 15 суток после появления всходов 15 мкМ раствором оризалина, а также совместно оризалином и 0.1 мМ раствором кофейной кислоты. Содержание ИУК, зеатина, АБК определяли в листьях через 7 суток после обработки методом ИФА, активность гиббереллинов – биотестированием. Выявлено резкое снижение под действием оризалина содержания ИУК и зеатина (в 3 раза), отсутствие эффекта на уровень гибберелловой кислоты и существенное возрастание АБК. В результате соотношение ИУК+ГК+зеатин/АБК уменьшились в 6 раз. Кофейная кислота снизила негативное влияние оризалина на содержание ИУК и зеатина, при этом количество АБК достигло уровня контроля. При фармакологическом разрушении микротрубочек на фоне изменения гормонального статуса на 30% уменьшилась продуктивность картофеля. В этих условиях обогащение растений кофейной кислотой практически восстановило их продуктивность, а также толщину перидермы клубней и ее составной части феллемы (пробки).

Ключевые слова: тубулиновый цитоскелет, ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, кофейная кислота

RESPONSE OF *SOLANUM TUBEROSUM* HORMONAL STATUS TO THE STRUCTURAL STATE OF THE TUBULIN CYTOSKELETON

Makeeva I.Yu., Puzina T.I.

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Keywords: tubulin cytoskeleton, auxins, gibberellins, cytokinins, abscisic acid, caffeic acid

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ С КОМПЛЕКСНОЙ ФИТОАДАПТИВНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Максимов И.В.

Институт биохимии иммунитета растений обособленное структурное подразделение Уфимский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 450054, Россия,
г. Уфа, пр. Октября, 71.

E-mail: igor.mak2011@yandex.ru

Формирование современного агроценоза, одновременно рентабельного и устойчивого к абиотическим, биотическим и антропогенным стрессовым факторам среды – одна из актуальных научных и практических задач сельского хозяйства, решение которой позволит организовать технологию современного адаптивного растениеводства. Использование для защиты растений химикатов практически не предусматривает оценки физиологического состояния растений и избавляет ценозы от вредных организмов, зачастую нарушая их видовую структуру, а также функционирование физиологических систем растения, негативно отражаясь на качестве продукции. В то же время, нам известно, что растения в биоме находятся в состоянии голобионта, что предполагает их постоянное взаимодействие с микроорганизмами (патогенами и микросимбионтами) окружающей среды, формирующий совместную многоуровневую эффективно адаптирующуюся систему. Такое состояние позволяет растениям произрастать даже в условиях, где в норме, без наличия симбионтов, они не могут существовать. Такое свойство позволяет использовать ризо- и филлосферный, а также эндофитный микробиом растений в практических целях. В сообщении проводится короткий обзор вопросов, связанных с интеграцией эндосимбионтов растений в агротехническую практику и оценкой перспектив использования в современном органическом растениеводстве в качестве биопрепаратов с комплексной фитоадаптивной активностью.

Работа выполнена по теме государственного задания № 122041400162-3

Ключевые слова: Биопрепараты, эндофиты, патогены, вредители, устойчивость растений.

PROSPECTS FOR CREATING BIOLOGICAL PREPARATIONS WITH COMPLEX PHYTOADAPTIVE ACTIVITY.

Maksimov I.V.

Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: Biological products, endophytes, pathogens, pests, plant resistance.

ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНОГО ГАЗООБМЕНА ЭКОСИСТЕМ КРИОЛИТОЗОНЫ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Максимов Т.Х.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: tcmax@mail.ru

Мерзлотные экосистемы Якутии в настоящее время оцениваются по бюджету углерода как области значительного стока углерода, что очень важно для верификации и валидации бюджета углерода России в условиях декарбонизации и углеродной нейтральности стран. Однако при прогнозируемом потеплении климата их функции как поглотителей углерода будут существенно зависеть от результата взаимодействия антагонистических процессов: 1) возрастания аккумуляции углерода вследствие увеличения продолжительности вегетационного периода, роста концентрации углекислого газа в атмосфере и увеличения летних температур воздуха; 2) увеличения частоты лесных пожаров, гибель зрелых и перестойных лесов, которые приводят к возрастанию эмиссии углекислоты в атмосферу.

Межгодовая вариация чистого газообмена экосистемы в зоне многолетней мерзлоты составляет 1,7–2,4 т С га⁻¹ год⁻¹, что выводит на верхний предел годовой депонирующей емкости в 450–617 млн. т С год⁻¹ при общей площади лиственных лесов в России, равной 257,1 млн. га. В лиственных лесах Сибири ежегодно аккумулируется от 0,4 до 1,0 млрд. т С год⁻¹, что сопоставимо с данными по европейским и тропическим лесам. Чистая биомная продуктивность лиственных лесов Сибири оценена в пределах 0,26–0,86 млрд. т С год⁻¹.

Для увеличения поглотительной способности экосистем России следует пересмотреть правила по землепользованию в криолитозоне, разработать новые сельскохозяйственные, лесотехнические и лесовосстановительные технологии применимые для зоны многолетней мерзлоты, необходимо рассмотреть вопрос о возможности выявления и создания новых видов диких и/или сельскохозяйственных растений с высокой фотосинтетической продуктивностью и оптимальными морфофизиологическими типами продукционного процесса на базе общепризнанных научных теорий член-корр. АН СССР А.А. Ничипоровича и академика АН СССР А.Т. Мокроносова по физиологии растений.

Ключевые слова: изменение климата, мерзлотные экосистемы, углеродный обмен, леса, тундры

FEATURES OF THE CARBON GAS EXCHANGE OF PERMAFROST-DOMINATED ECOSYSTEMS IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

Maximov T. Chr.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: Climate change, permafrost-dominated ecosystems, carbon exchange, forests, tundra

ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕМЛИКА ТЁМНО-КРАСНОГО (ORCHIDACEAE) НА СЕРПЕНТИНОВЫХ ОТВАЛАХ ПОСЛЕ ДОБЫЧИ АСБЕСТА

Малева М.Г. *, Чукина Н.В., Елькина А.В., Синенко О.С., Борисова Г.Г.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

*E-mail: maria.maleva@mail.ru

Изучение адаптационных способностей редких видов растений в техногенно нарушенных местообитаниях является важным условием сохранения их природных популяций. Целью исследований было выявление структурно-функциональных особенностей фотосинтетического аппарата, а также распределения биомассы у редкой орхидеи дремлика тёмно-красного (*Epipactis atrorubens* (Hoffm.) Besser), колонизирующей два серпентинитовых отвала после добычи асбеста (Анатолюшко-Шиловское месторождение, Свердловская область), в сравнении с растениями из естественного лесного фитоценоза. Несмотря на неблагоприятные эдафические условия (высокая каменистость, избыток некоторых тяжёлых металлов, низкое содержание биогенных элементов, дефицит воды), на серпентинитовых отвалах обнаружены довольно многочисленные популяции *E. atrorubens*. Орхидеи, заселяющие отвалы, отличались более толстой листовой пластинкой (в среднем на 23%), большей величиной удельной поверхностной плотности листа (на 36%), а также пониженным диффузионным сопротивлением мезофилла (на 30%), по сравнению с растениями из естественного лесного сообщества. Кроме того, в листьях *E. atrorubens* на отвалах было повышено количество клеток и хлоропластов на единицу площади (в среднем на 22%). При этом удельная скорость ассимиляции CO₂ и содержание хлорофиллов достоверно снижались лишь на отвале, отличающемся большей степенью каменистости и повышенной инсоляцией. Суммарная биомасса одного растения на отвалах была ниже (в среднем на 14%), чем в естественном лесном фитоценозе, в основном за счет достоверного уменьшения (в среднем на 20%) подземной биомассы. Таким образом, проведенное исследование свидетельствует о том, что адаптивные структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата *E. atrorubens* способствуют поддержанию его продукционного процесса в неблагоприятных условиях серпентинитовых отвалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания FEUZ-2023-0023.

Ключевые слова: *Epipactis atrorubens*, трансформированные экосистемы, адаптивные реакции, ассимиляция CO₂, продуктивность

FEATURES OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF DARK-RED HELLEBORINE (ORCHIDACEAE) ON SERPENTINE DUMPS POST ASBESTOS MINING

Maleva M.G., Chukina N.V., Elkina A.V., Sinenko O.S., Borisova G.G.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Epipactis atrorubens*, transformed ecosystems, adaptive responses, CO₂ assimilation, productivity

ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ АЭРЕНХИМЫ В КОРНЯХ ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE* L.) В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ГИПОКСИИ

Малыгин М.В.* , Васенькова Л.В., Киселёва И.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: astett8@gmail.com

Гипоксия, возникающая в корнях растений при переувлажнении, является для них стрессовым фактором и вызывает ухудшение жизнедеятельности. Одним из приспособлений к гипоксии является аэренхима. У ячменя (*Hordeum vulgare*) при подтоплении, переувлажнении почвы или при выращивании в жидких средах формируется лизигенная аэренхима. Цель настоящего исследования - выявление роли пероксида водорода и активности пероксидаз в образовании аэренхимных лакун в процессе развития семенных корней ячменя при длительном выращивании в гидропонных условиях. Для этого растения выращивали на питательной среде Хогланда в контейнерах с аэрируемой или неаэрируемой средой в течение 30 дней. На 8 и 28 день роста в участках базальной зоны корней были определены количество H_2O_2 , активность гваякол-пероксидазы (ГПО), бензидиновой пероксидазы (БПО), аскорбат-пероксидазы (АПО) и парциальный объём лакун в коре корня (%). Определяли средние значения для пяти объединенных проб корней по 5 растений в каждой.

Образование аэренхимы происходило только в условиях выращивания растений без аэрации среды. На 8 день роста парциальный объём аэренхимы в базальной зоне составил 15%, а к 28 дню он увеличился в 1,6 раза до 24%, что свидетельствует о поэтапном формировании аэренхимы в условиях гипоксии. Количество H_2O_2 в базальной зоне корня на 8 день роста в условиях гипоксии было выше (8,17 нг/г) в сравнении с аэрируемыми растениями (3,16 нг/г), а на 28 день количество H_2O_2 составило, соответственно, 2,7 нг/г и 3,7 нг/г. Содержание H_2O_2 зависит от его генерации в ходе окислительного взрыва и гашения антиоксидантными ферментами. Активность ГПО, БПО и АПО в корнях на 8 день была равной в условиях аэрации и гипоксии, тогда как к 28 дню возрастала у всех ферментов в условиях гипоксии по сравнению с аэрируемыми растениями. Это позволяет предположить триггерную роль пероксида водорода в формировании аэренхимы у ячменя в ранние периоды развития гипоксии и участие пероксидаз в прерывании этого сигнала на более поздних этапах формирования лизигенных аэренхимных лакун.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, гипоксия, лизигенная аэренхима, H_2O_2 , пероксидазы.

AERENCHYMA FORMATION FACTORS IN BARLEY (*HORDEUM VULGARE* L.) ROOTS DURING PROLONGED HYPOXIA

Malygin M.V., Vasenkova L.V., Kiseleva I.S.

Ural Federal University, named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Keywords: *Hordeum vulgare*, hypoxia, lysigenous aerenchyma, H_2O_2 , peroxidases.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦЕЛЕВОГО LC-MS/MS АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПОЛЯРНЫХ ГЛИЦЕРОЛИПИДОВ

Манжиева Б.С.^{*1}, Сенник С.В.¹, Серебряков Е.Б.², Хакулова А.А.²,
Котлова Е.Р.¹

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

² Ресурсный центр «Методы анализа состава вещества» СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: bmanzhieva@binran.ru

Липидомика как комплексный анализ липидов на основе масс-спектрометрии позволяет получить представления о составе, метаболизме и функциях липидов. Существует ряд методов липидомного профайлинга на основе DDA, SWATH, MRM и других масс-спектрометрических методов. В данной работе был разработан протокол на основе жидкостной хроматографии, сопряжённой с масс-спектрометрическим методом мониторинга множественных реакций (MRM).

Разработку протокола проводили на масс-спектрометре с трёхквადрупольным масс-анализатором Shimadzu LC-MS 8030. Итоговый протокол состоит из двух стадий: нецелевой (широкомасштабный) профайлинг для обнаружения максимального разнообразия молекулярных видов данного класса и целевой для анализа структуры молекул липидов, выявленных на первой стадии, и их количественного анализа.

Нецелевой профайлинг включает сканирование ионов-предшественников по характеристическим для данного класса фрагментам. Так, фосфатидилхолины идентифицировали сканированием ионов-предшественников по фрагменту m/z 184.1 в протонированной форме $[M+H]^+$; фосфатидилэтаноламины – сканированием нейтральной потери m/z 141.1 в форме $[M+H]^-$; бетаиновые липиды ДГТС – сканированием ионов-предшественников по фрагменту m/z 236.15 в положительной моде в форме $[M+H]^+$. Гликолипиды определяли сканированием нейтральной потери в положительной моде в форме $[M+NH_4]^+$ по фрагментам m/z 179.1 и 197.1 (МГДГ) и 341.1 и 359.1 (ДГДГ).

Вторым этапом протокола определяли структуру молекулярных видов и их количество методом MRM. При использовании данного режима оба квадрупольных масс-спектрометра Q1 и Q3 установлены на определенную массу, что позволяет обнаруживать только отдельный ион-фрагмент (фрагмент жирной кислоты) от определенного иона-предшественника (молекулярного вида). Обладая высокой чувствительностью, этот метод является золотым стандартом липидомики для количественной оценки компонентов смеси, но является целевым методом и поэтому подходит для анализа липидных экстрактов с заранее известным составом молекулярных видов.

Для обработки полученных липидомных данных и их количественного анализа была использована программа Skyline. Данный протокол показал свою эффективность в ходе анализа липидомов растений и грибов.

Масс-спектрометрический анализ проведён на базе РЦ СПбГУ «Методы анализа состава вещества». Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 22-24-01152.

Ключевые слова: фосфолипиды, липидомика, MRM, LC-MS/MS.

APPLICATION OF TARGET LC-MS/MS ANALYSIS FOR POLAR GLYCEROLIPID PROFILE STUDIES

Manzhieva B.S.¹, Senik S.V.¹, Serebryakov E.B.², Khakulova A.A.², Kotlova E.R.¹

¹ Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: phospholipids, lipidomics, MRM, LC-MS/MS.

РАЗРАБОТКА ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ФИТОЭФФЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE*)

Маргарит А.А.^{1*}, Орлова А.А.¹, Силинская С.А.¹, Горбач Д.П.², Баснет А.²,
Черепанов И.А.³, Калагнова Н.В.³, Черевацкая М.А.⁴, Билова Т.Е.^{1,4}, Каминская А.М.⁵,
Вессейоханн Л.А.², Соболева А.В.^{1,2}, Фролов А.А.^{1,2}

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Институт биохимии растений, Галле, Германия;

³ Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия;

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

⁵ ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии», Институт биоинженерии, Москва, Россия

*E-mail: ancka.margarit@ya.ru

Производные сиднониминов в очень малых дозах обладают выраженным рострегулирующим действием и проявляют свойства стимуляторов роста, гербицидов или антидотов гербицидов. С высокой степенью вероятности, эти эффекты опосредованы регуляторными эффектами супероксиданион-радикалов и/или гидроксильных радикалов, вовлеченных в развитие ответа растений на стресс и адаптацию к изменению условий среды. Сиднониминины рассматриваются в качестве возможных фитоеффекторов, позволяющих предотвратить или уменьшить потери урожая, связанные с засухой. На первом этапе были проведены предварительные эксперименты по исследованию кинетики ответа растений ячменя (*Hordeum vulgare*) сорта Golden Promise на засуху. Было выбрано семь временных точек (3, 6, 7, 9, 12 и 16 дней), в которых измерялись физиологические (устычная проводимость, эффективность работы фотосистемы II, относительное содержание хлорофилла) и биохимические параметры. Растения опытной и контрольной групп распределяли на подгруппы, в которых производилось опрыскивание растворами для оценки влияния их компонентов на устойчивость к засухе. По результатам этих экспериментов была выбрана продолжительность экспериментальной засухи - 12 дней. Далее растения опытных и контрольных групп опрыскивали тестируемыми растворами (тестируемый сиднонимин (10 мкмоль/л), 0,1% v/v ДМСО, 0,1% v/v Твин 20) в 0-й, 4-й и 8-й дни экспериментальной засухи. На 12-й день засухи осуществляли сбор растительного материала. По различию значений указанных физиологических параметров между обработанными и необработанными растениями, подвергнутыми условиям засухи, оценивался суммарный эффект сиднонимина увеличить или уменьшить засухоустойчивость. Всего было протестировано влияние 27 сиднониминов. Выраженные протекторные свойства продемонстрировали сиднониминины В1-01 и В1-05, в то время как сиднонимин СП-13 проявил гербицидные свойства.

В работе использовалась экспериментальная климатическая установка Института биоинженерии, Научного центра биотехнологии РАН U-73547.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-26-00337

Ключевые слова: сиднониминины, фитоеффекторы, устойчивость к засухе, ячмень (*Hordeum vulgare*)

DEVELOPMENT OF A TEST-SYSTEM FOR EVALUATING THE PROTECTIVE PROPERTIES OF SYNTHETIC PHYTOEFFECTORS BASED ON BARLEY (*HORDEUM VULGARE*)

Margarit A.A.¹, Orlova A.A.¹, Silinskaya S.A.¹, Gorbach D.P.², Basnet A.²,
Cherepanov I.A.³, Kalganova N.V.³, Cherevatskaya M.A.⁴, Bilova T.E.^{1,4}, Kamionskaya A.M.⁵,
Weissjohan L.A.², Soboleva A.V.^{1,2}, Frolov A.A.^{1,2}

¹ A.K. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia;

² Country Leibniz Institute of Plant Biochemistry, Halle, Germany;

³ A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

⁴ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

⁵ Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences», Center of Bioengineering, Moscow, Russia

Key words: sydnone imines, phytoeffectors, drought tolerance, barley (*Hordeum vulgare*)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНОМОВ ГРИБОВ-ВОЗБУДИТЕЛЕЙ РОЗОВОЙ СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ

**Маренина Е.А.*, Мещеров А.Р., Гоголева О.А., Гоголева Н.Е., Гоголев Ю.В.,
Горшков В.Ю.**

Казанский Институт Биохимии и Биофизики Федеральный Исследовательский Центр
Казанский Научный Центр Российской Академии Наук, Казань, Россия

*E-mail: ekat.marenina@gmail.com

Гриб *Microdochium nivale* является возбудителем розовой снежной плесени озимых культур – заболевания, которое развивается во время зимовки растений под снежным покровом. Благодаря своей психротолерантности или холодоустойчивости этот грибок сохраняет высокую физиологическую активность и способность поражать растения при низкой температуре, когда большинство других фитопатогенов неактивно. При этом паразитическая активность гриба не ограничивается зимним периодом, в весенне-летний период этот грибок также может вызывать различные заболевания у зерновых культур. Ранее было показано, что *M. nivale* является очень варибельным видом; его популяции представлены генетически и фенотипически различающимися формами. Для выявления генетических маркеров фенотипических признаков этого гриба мы планируем провести пангеномное исследование геномов множества различающихся по фенотипу штаммов. В качестве этапа этого глобального исследования в рамках настоящей работы нами был проведен сравнительный анализ геномов *Microdochium nivale*. В исследовании сотрудников нашей лаборатории показано, что по таксономически информативному участку ДНК – ITS2 штаммы *M. nivale* делятся на три филогенетические группы. В каждой из этих групп мы выбрали по одному представителю для полногеномного секвенирования. В ходе сравнительного анализа трех штаммов с помощью OrthoFinder были идентифицированы коровая, характерная для всех анализируемых штаммов, и варибельные части геномов. В свою очередь, также были обнаружены уникальные сетки генов для каждого из трех штаммов *M. nivale*. Для каждого из штаммов с помощью PHI-base были идентифицированы продукты генов, которые лучше всего соответствуют критериям факторов вирулентности, ответственных за реализацию фитопатогенного потенциала. Впервые была исследована транспозонная структура штаммов *M. nivale*.

Работа выполнена при поддержке государственного задания №121110200046-2 «Молекулярно-генетические механизмы развития инфекционных заболеваний культурных растений».

Ключевые слова: сравнительный анализ, геномы, *Microdochium nivale*, розовая снежная плесень.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GENOMES OF PINK SNOW MOLD CAUSATIVE FUNGI

**Marenina E.A., Meshcherov A.R., Gogoleva O.A., Gogoleva N.E., Gogolev Yu.V.,
Gorshkov V.Yu.**

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia

Keywords: comparative analysis, genomes, *Microdochium nivale*, pink snow mold.

ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ РАЗНЫХ СОРТОВ ФАСОЛИ В НОРМЕ И В УСЛОВИЯХ СТРЕССА

Маркова О.В.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

E-mail: o-ksana@list.ru

Эффективность инокуляции культурных растений эндофитными бактериями может зависеть от сорта растений и условий среды. Цель работы – анализ различий физиолого-биохимических реакций фасоли сортов Уфимская, Золотистая и Эльза на инокуляцию бактериями *Bacillus subtilis* 26Д и 10-4 в нормальных условиях и при солевом стрессе. Семена, обработанные суспензией бактерий, помещали в термостат ($t = 22-24^{\circ}\text{C}$) на 7 суток, затем проростки высаживали в пластиковые сосуды с песком (12-часовой день, $t = 23-25^{\circ}\text{C}$). Трехнедельные растения подвергали стрессу (1% NaCl) на 48 ч и анализировали биомассу (Бм), площадь листьев, содержание фотосинтетических пигментов (ФП), водоудерживающую способность (ВУС), оводненность (Ов) и содержание малонового диальдегида (МДА).

Сорт Уфимская формировал большую Бм и площадь листьев, сорт Золотистая превосходил по содержанию ФП и ВУС, а сорт Эльза – по Ов корней. При стрессе у всех сортов отмечалось снижение Бм и содержания ФП, у сорта Золотистая – уменьшение Ов корней, у сортов Уфимская и Эльза – повышение ВУС. Инокуляция способствовала сохранению этих показателей на уровне контроля без стресса и оказала штаммоспецифичное действие. В нормальных условиях Бм растений сорта Золотистая увеличилась по сравнению с контролем при инокуляции обоими штаммами, сорта Уфимская и Эльза проявляли штаммовозависимое действие на обработку. При стрессе оба варианта инокуляции сортов Золотистая и Уфимская отличались большей Бм, содержанием ФП и Ов корней по отношению к контролю. У растений сорта Эльза в ответ на инокуляцию повышалась ВУС и Ов побегов, но снижалась Ов корней. В норме и на фоне засоления содержание МДА в корнях снижалось по отношению к контролю у инокулированных сортов Уфимская и Золотистая, у растений сорта Эльза уровень МДА либо снижался, либо оставался на уровне контроля. Таким образом, различия в реакциях растений на инокуляцию служат базой для дальнейшего анализа сорт-штаммовых комбинаций симбиотических партнеров. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 23-24-00602.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*, фасоль, засоление, оводненность, малоновый диальдегид, фотосинтетические пигменты

INFLUENCE OF ENDOPHYTIC BACTERIA ON MORPHOMETRIC AND PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF PLANTS OF DIFFERENT BEANS IN NORMAL AND UNDER STRESS CONDITIONS

Markova O.V.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

E-mail: o-ksana@list.ru

Keywords: *Bacillus subtilis*, beans, salinity, hydration, malondialdehyde, photosynthetic pigments

ВЛИЯНИЕ РОСТСТИМУЛИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ АПОПЛАСТНЫХ БАРЬЕРОВ И ИОННЫЙ ГОМЕОСТАЗ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Мартыненко Е.В.* , Архипова Т.Н., Ахтямова З.А.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: evmart08@mail.ru

Образование поясков Каспари в связи с действием бактерий на растения рассматривалось только как механизм, препятствующий проникновению патогенных бактерий в растения, а роль PGPR бактерий в этом процессе не изучалась. Нами было установлено, что инокуляция ауксинпродуцирующего штамма *Pseudomonas mandelii* IB-Ki14 или цитокининпродуцирующего штамма *Bacillus subtilis* IB-22 в ризосфере растений пшеницы ускоряет и усиливает образование апопластных барьеров в корнях как в отсутствие стресса, так и при засолении. В этих условиях бактериальная обработка увеличивала массу побегов, площадь листьев, содержание хлорофилла, но ростстимулирующий эффект *B. subtilis* был выше, чем у *P. mandelii*. В нормальных условиях увеличение отложения лигнина и суберина в апопласте не оказывало отрицательного влияния на гидравлическую проводимость и на накопление ионов калия. Содержание фосфора при обработке *B. subtilis* и в корнях, и в побегах было выше, чем у растений, обработанных *P. mandelii*. При засолении *B. subtilis* предотвратил снижение концентрации как калия, так и фосфора и повышал концентрацию цитокининов у растений. *P. mandelii* снижал уровень накопления натрия и повышал концентрацию ауксина. Повышение ионного гомеостаза может быть связано со способностью бактерий ускорять образование поясков Каспари, предотвращающих неконтролируемую диффузию растворенных веществ через апопласт. Хотя отложение лигнина было больше и быстрее в корнях растений, инокулированных *P. mandelii*, что приводило к снижению концентрации натрия, стимулирование роста было сильнее у растений, подвергшихся солевому стрессу, обработанных *B. subtilis*. Это сравнение показывает, что поддержание концентрации калия и фосфора может быть более важным для стимулирования роста твердой пшеницы в условиях засоления, чем снижение накопления натрия как такового. Мы предполагаем, что повышенная концентрация ауксинов и цитокининов в растениях, обработанных PGPR бактериями, может быть вовлечена в нормализацию поступления ионов. Работа поддержана РФ, грант № 21-14-00070.

Ключевые слова: *Triticum durum* Desf., апопластные барьеры, гормонпродуцирующие микроорганизмы, ионный гомеостаз

THE EFFECT OF PGP BACTERIA ON THE FORMATION OF APOPLASTIC BARRIERS AND IONIC HOMEOSTASIS OF WHEAT PLANTS

Martynenko E.V., Arkhipova T.N., Akhtyamova Z.A.

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: *Triticum durum*, apoplastic barriers, hormone-producing microorganisms, ionic homeostasis

АНТИОКСИДАНТНАЯ СИСТЕМА В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОКСИДА АЗОТА НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ ПРИ ЗАСОЛЕНИИ

Масленникова Д.Р.

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия
E-mail: dishaoil@mail.ru

Оксид азота (NO) является газообразным фитогормоном, который регулирует широкий спектр физиологических и защитных реакций. Компоненты антиоксидантной системы играют ключевую роль в реализации NO опосредованных эффектов в растениях. Было обнаружено, что выдерживание проростков пшеницы в присутствии донора NO - 200 мкМ SNP (нитропруссид натрия) вызвало повышение уровня транскрипции генов *TaPAL* и *TaPRX* что привело к активации фенилаланин-аммиак-лиазы (ФАЛ), тирозин-аммиак-лиазы (ТАЛ) и пероксидазы в корнях пшеницы (*Triticum aestivum* L. сорта Салават Юлаев). Эти события способствовали ускорению лигнификации клеточных стенок корней. Такое повышение барьерных свойств в период преадаптации оказало ключевую роль в защите от стресса. В условиях засоления (2% NaCl) предварительная обработка SNP приводила к дополнительному накоплению лигнина относительно стрессового варианта опыта. Кроме того, применение SNP приводило к пролонгированному повышению содержания (салициловой кислоты) СК и активации гена *PRI*. В условиях засоления наблюдалось снижение стресс-индуцированного накопления СК. Полученные данные свидетельствуют в пользу участия антиоксидантов (лигнина и СК) в NO – индуцированной устойчивости пшеницы. Наряду с этим было обнаружено, что важный вклад в пролонгированное (до 60 дней онтогенеза) защитное действие NO (замачивание семян) в условиях засоления (100 mM NaCl) играет способность фитогормона длительно регулировать состояние антиоксидантной системы (содержание глутатиона, аскорбата, пролина, активность глутатионредуктазы и аскорбатпероксидазы). Это способствовало снижению повреждающего действия стресса на рост и фотосинтетический аппарат растений.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., оксид азота, салициловая кислота, лигнин, антиоксидантная система, засоление

ANTIOXIDANT SYSTEM IN REALIZATION THE PROTECTIVE EFFECT OF NITRIC OXIDE ON WHEAT PLANTS UNDER SALINITY

Maslennikova D.R.

Institute of Biochemistry and Genetics UFRS RAS, 71 Pr. Oktyabrya, 450054 Ufa, Russia

Keywords: *Triticum aestivum* L., nitric oxide, salicylic acid, lignin, antioxidant system, salinity

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГРИБА *RHIZOCTONIA SOLANI* И БАКТЕРИЙ *BACILLUS THURINGIENSIS*

Масленникова В.С.^{1,2*}, Бедарева Е.В.^{1,2}, Цветкова В.П.¹, Калмыкова Г.В.³,
Дубовский И.М.^{1,2}

¹ Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

² Томский государственный университет, Томск, Россия

³ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

*E-mail: vladislava.maslennikova@mail.ru

В данном исследовании проведен анализ особенностей патологического процесса при заражении ризоктониозом (*Rhizoctonia solani*) картофеля, а также механизмов активного иммунитета растений при стимуляции бактериями *Bacillus thuringiensis*.

При искусственном заражении растений картофеля фитопатогенным грибом *Rhizoctonia solani* отмечено снижение концентрации хлорофилла а и b, а так же белка относительно контроля (без заражения). Установлено, что гриб *Rhizoctonia solani* при искусственном заражении вызывает в листьях картофеля накопление малонового диальдегида и повышение активности полифенолоксидазы, что характерно для состояния окислительного стресса. Также показано, что после инфицирования в растениях картофеля наблюдалось увеличение уровня транскрипции генов ингибитора β -1,3-глюканазы, трипсина и алленоксидсинтазы. По результатам обработки картофеля штаммами *Bacillus thuringiensis* выявлено повышение уровня хлорофилла а и b в листьях растений. Обработка растений штаммами *Bacillus thuringiensis* приводила к снижению транскрипционной активности генов ингибитора глюканазы в 2-3 раза по сравнению с вариантом с искусственным заражением фитопатогеном.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019-2027 годы (Соглашение № 075-15-2021-1401 от 03 ноября 2021 года).

Ключевые слова: картофель, *Bacillus thuringiensis*, *Rhizoctonia solani*, иммунитет.

EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL INDICATORS OF POTATO UNDER THE INFLUENCE OF THE FUNGUS *RHIZOCTONIA SOLANI* AND BACTERIA *BACILLUS THURINGIENSIS*

Maslennikova V.S.^{1,2*}, Bedareva E.V.^{1,2}, Tsvetkova V.P.¹, Kalmykova G.V.³,
Dubovsky I.M.^{1,2}

¹ Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

² Tomsk State University, Tomsk, Russia

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

*E-mail: vladislava.maslennikova@mail.ru

Keywords: potato, *Bacillus thuringiensis*, *Rhizoctonia solani*, immunity.

ИЗУЧЕНИЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ: ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОХВАТ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Масягина О.В.^{1*}, Евграфова С.Ю.^{1,2}, Сиделева Е.В.², Ситникова М.В.²,
Ковалева Н.М.¹, Меняйло О.В.³, Матвиенко А.И.¹

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

² Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия

³ Международное агентство по атомной энергии, Вена, Австрия;

*E-mail: oxanamas@mail.ru

Эпифитные лишайники (ЭЛ), входящие в состав криптогамного покрова древесных растений, в силу их широкого распространения могут играть существенную роль в цикле углерода (С) в контексте меняющегося климата. Для оценки и получения представления о текущем состоянии исследований, касающихся вклада ЭЛ в экосистемный обмен парниковых газов, был проведен анализ литературы за период с 1950 по 2023 гг. Для этого был выполнен поиск в единой библиографической и реферативной базе данных рецензируемой научной литературы Scopus (дата обращения 12.12.2022) с использованием запроса: (“lichen” AND “epiphytic”). Всего было найдено 1864 публикации (оригинальные исследования и обзорные статьи). Источники, которые не содержали данных об ЭЛ, были исключены из анализа. Для анализа из выявленных источников была извлечена следующая информация: географические координаты, страна и название места проведения исследований, год проведения исследования, область изучения ЭЛ, тип токсиканта, тип биома, тип землепользования, видовое название и внешний вид слоевища ЭЛ, видовое название и тип растения-хозяина (“хвойный”, “лиственный”), год публикации, библиографическая ссылка. В результате был получен 1640-строчный датасет в формате MS Excel, который анализировали с помощью программного продукта R (version 4.0.3., R Development Core Team, Австрия). Основные исследования по ЭЛ сосредоточены в европейской части Евразии. Почти половина (48.3%) из представленных исследований по ЭЛ сделана в Италии, РФ, Швеции, США, Канаде, Норвегии, и Испании. Подавляющее большинство работ проводится в области биоразнообразия ЭЛ и загрязнения окружающей среды. Наиболее охваченными в плане исследования ЭЛ являются лесные экосистемы умеренного пояса, а наименее изученными - болотные и тундровые экосистемы. Наиболее часто исследуемые таксоны ЭЛ - *Lobaria* и *Hypogymnia*, древесное растение-хозяин – дуб. Стоит отметить, что ЭЛ остаются малоизученными в отношении цикла С и потоков парниковых газов (<1% от опубликованных работ), - это пробел, который должен быть восполнен. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-24-00167.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, цикл углерода, изменение климата

EPHYPHYTIC LICHENS STUDIES: TOPICS, RESEARCH COVERAGE, AND PERSPECTIVES

Masyagina O.V.^{1*}, Evgrafova S.Yu.^{1,2}, Sideleva E.V.², Sitnikova M.V.²,
Kovaleva N.M.¹, Menyailo O.V.³, Matvienko A.I.¹

¹ Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”, Krasnoyarsk, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

³ Joint FAO/IAEA Centre of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna, Austria

Keywords: epiphytic lichens, carbon cycle, climate change

ПОТОКИ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ: ИНКУБАЦИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Матвиенко А.И.^{1*}, Евграфова С.Ю.^{1,2}, Сиделева Е.В.², Ситникова М.В.²,
Ковалева Н.М.¹, Меняйло О.В.³, Масыгина О.В.¹.

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

² Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия

³ Международное агентство по атомной энергии, Вена, Австрия;

*E-mail: matvienko.ai@ksc.krasn.ru

Эпифитные лишайники (ЭЛ) — симбиотрофные организмы, включающие гетеротрофный (микобионт) и автотрофный (зеленые или/и сине-зеленые водоросли) компоненты, широко распространены в лесных экосистемах. Предполагается, что компоненты ЭЛ могут выступать источниками метана (CH₄), который в контексте изменения климата является более эффективным парниковым газом, чем углекислый газ (CO₂) (Bizić et al. 2020). Для изучения влияния ЭЛ на потоки углерода (C) мы провели 2 инкубационных эксперимента длительностью 3 и 28 суток с ЭЛ (*Parmelia sulcata* Taylor, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Evernia mesomorpha* Nyl.), отобранными в березняке разнотравном (эко-парк «Гремячая Грива», г. Красноярск) в июне-июле 2023 г. Слоевница ЭЛ отбирали со стволов деревьев с северной, западной или южной экспозиции на высоте выше 1 метра. Подготовленные образцы ЭЛ помещали в сосуды и инкубировали в контролируемых условиях. Фотопериод составлял 18 часов при освещении (ФАР 160-220 $\mu\text{моль м}^{-2} \text{сек}^{-1}$) и температуре воздуха 18°C и 6 часов в темноте при 14°C. В 1-ом эксперименте проводили суточные измерения потока CO₂ с помощью анализатора Li-Cor 8100A и 16-портового мультиплексера Li-Cor 8150. Во 2-ом эксперименте образцы газовой фазы отбирали через резиновые септы из сосудов шприцами Luer Lock в 0, 1, 3, 7, 10, 14, 21 и 28 сутки с последующим анализом на Picarro G2201-i для определения потоков CO₂ и CH₄. 1-й эксперимент показал, что экспозиция ЭЛ на стволе дерева значимо ($p < 0.001$) влияла на скорость выделения CO₂. У обоих видов ЭЛ с северной экспозиции подтвержден интенсивный процесс фотосинтеза (до 121.6 $\mu\text{г С-CO}_2 \text{ г}^{-1} \text{ сух. веса ЭЛ в час}$) в освещенный период. Во время 2-го эксперимента зафиксировано выделение CH₄ у *Evernia* (0.0005-0.0043 $\mu\text{г С-CH}_4 \text{ г}^{-1} \text{ сух. веса ЭЛ в час}$), *Hypogymnia* (0.0010-0.0025 $\mu\text{г С-CH}_4 \text{ г}^{-1} \text{ сух. веса ЭЛ в час}$) и *Parmelia* (0.0006-0.0044 $\mu\text{г С-CH}_4 \text{ г}^{-1} \text{ сух. веса ЭЛ в час}$). **Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-24-00167.**

Ключевые слова: эпифитные лишайники, цикл углерода, изменение климата

METHANE AND CARBON DIOXIDE FLUXES FROM THE SURFACE OF EPIPHYTIC LICHES: INCUBATION EXPERIMENTS

Matvienko A.I.¹, Evgrafova S.Yu.^{1,2}, Sideleva E.V.², Sitnikova M.V.²,
Kovaleva N.M.¹, Menyailo O.V.³, Masyagina O.V.¹.

¹ Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”, Krasnoyarsk, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

³ Joint FAO/IAEA Centre of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna, Austria

Keywords: epiphytic lichens, carbon cycle, climate change

АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ РАСТЕНИЙ ФАСОЛИ СОРТА УФИМСКАЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН ГРАДИЕНТОМ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГЕТЕРОАУКСИНА

Матюнина В.Д.^{1*}, Чистоедова А.В.¹, Маркова О.В.¹, Лубянова А.Р.²,
Гарипова С.Р.¹

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

² Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: victori.ma0307@gmail.com

Большинство бактерий, используемых в растениеводстве, стимулируют рост растений за счет продукции фитогормонов, оказывающих неодинаковое дозозависимое воздействие на разные виды и сорта растений. Анализ активности антиоксидантных ферментов в ответ на обработку экзогенным ауксином в разных концентрациях дает представление об интенсивности развития фитоиммунных реакций и может служить основой для подбора оптимального штамма и дозы бактерий в биопрепаратах. Поверхностно стерилизованные семена фасоли (20 шт.) замачивали 3 ч в растворах гетероауксина с градиентом концентраций от 200 мкг/мл до 0,02 нг/мл и проращивали в темноте в пластиковых контейнерах. Ростовые параметры и ферментативную активность проростков оценивали на 7-е сутки.

По совокупности ростовых показателей, наиболее стимулирующей являлась доза ауксина 2 нг/мл: длина главного и придаточных корней, длина побега, превышали контроль на 25...36%, при этом соотношение осевых размеров побег/корень составило, как и в контроле 1,8. Для анализа фитоиммунного ответа растений были взяты значения активности оксидоредуктаз и содержание H_2O_2 в соотношении побег/корень. В лучшем по ростовым свойствам варианте опыта пиковым было соотношение активности пероксидазы в побеге и корне, более чем четырехкратно превышавшее таковое в контроле, а также соотношение побег/корень по содержанию H_2O_2 , вдвое превосходившее значения контроля. При этом активность каталазы в соотношении побег/корень была на 25% выше контроля и на столько же ниже максимальных значений.

Значительный интерес представляют выявленные два нижних пика концентрационной кривой экзогенного ауксина по ростовым показателям длины побега и длины придаточных корней: 20 нг/мл и 200 мкг/мл. Если высокая ингибирующая доза ауксина являлась предсказуемой по классическим представлениям действия фитогормонов на рост растений, то отличающаяся всего на порядок от стимулирующей доза 20 нг/мл наталкивала на размышления о поиске закономерности поведения изучаемых ферментов, которые привели к одинаковому регулируемому рост растений результату, что будет являться предметом дальнейших исследований. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 23-24-00602.

Ключевые слова: фасоль, ауксин, антиоксидантная система.

ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES OF BEAN PLANTS IN RESPONSE TO SEED TREATMENT OF HETEROAUXIN CONCENTRATION GRADIENTS

Matyunina V.D.^{1*}, Chistoedova A.V.¹, Markova O.V.¹, Lubyanova A.R.²,
Garipova S.R.¹

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

² Institute of Biochemistry and Genetics UNC RAS, Ufa, Russia

*E-mail: victori.ma0307@gmail.com

Keywords: beans, auxin, antioxidant system.

ВЛИЯНИЕ МИКРОГРАВИТАЦИИ, МОДЕЛИРОВАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВА СЛУЧАЙНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, НА РОСТ ПРОРОСТКОВ АРАБИДОПСИСА: ОМИКСНЫЙ ПОДХОД

Медведев С.С.^{1*}, Смоликова Г.Н.¹, Пожванов Г.А.², Уткин А.Д.¹,
Попова В.В.¹, Васильев А.С.³, Билова Т.Е.¹, Фролова Н.А.⁴, Крылова Е.А.⁵,
Фролов А.А.⁴

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

⁵ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: s.medvedev@spbu.ru

Основным ориентиром для становления полярности растений является вектор силы тяжести. Растения способны тонко «оценивать» свое положение относительно вектора силы тяжести и, проявляя гравитропизм, корректировать положение органов в пространстве. Эффективным способом изучения роли гравитации в функционировании растения является рандомизация их положения относительно вектора гравитации при помощи устройств, способных вращать объект, случайным образом изменяя скорость и направление вращения (т. н. устройства случайного позиционирования, УСП). Объектом нашей работы являлись 10-суточные проростки *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh экотипа Col-0. Дезориентация положения растений, выращиваемых в УСП, инициировала хаотичный, ориентированный в разные стороны, рост проростков. В надземной части проростков возрастал уровень вторичных метаболитов, окисленных форм аскорбата и глутатиона, снижалось содержание метаболитов энергетического обмена, повышалось содержание белков Ca²⁺-сигналинга, снижалось содержание кинезинов и структурных рибосомальных белков. В корнях возрастало содержание рибосомальных белков, Ca²⁺-зависимых протеинкиназ и ферментов синтеза целлюлозы, снижался уровень белков, связанных с формированием цитоскелета и фоторецепторов. В надземной части увеличивалась экспрессия *SGR7*, который отвечает за регуляцию гравитропизма. В надземной части и корнях увеличивалась экспрессия *SAM4*, кодирующего белки Ca²⁺-сигналинга, и *ADF1*, кодирующего белки, регулирующие деполимеризацию филаментов F-актина. При этом экспрессия *ARP2* и *VLN2*, отвечающих за сборку филаментов, не менялась. Показано, что экспрессия *SOK4*, который кодирует белки SOSEKI, значительно увеличивалась. SOSEKI обладают способностью к локализации на плазмалемме, являются интеграторами позиционных сигналов, поступающих от клеток, и в настоящее время рассматриваются в качестве «компас» растительного организма. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 20–16–00086.

Ключевые слова: гравитропизм, полярность, устройство случайного позиционирования, Ca²⁺-сигналинг, F-актин, SOSEKI.

EFFECT OF MICROGRAVITY SIMULATED USING A RANDOM POSITIONING MACHINE ON THE GROWTH OF ARABIDOPSIS SEEDLINGS: OMICS APPROACH

Medvedev S.S.^{1*}, Smolikova G.N.¹, Pozhvanov G.A.², Utkin A.D.¹, Popova V.V.¹,
Vasiliev A.S.³, Bilova T.E.¹, Frolova N.A.⁴, Krylova E.A.⁵, Frolov A.A.⁴

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

² Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

³ ITMO University, Saint Petersburg, Russia

⁴ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

⁵ Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Keywords: gravitropism, polarity, random positioning machine, Ca²⁺-signaling, F-actin, SOSEKI.

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ В ОТВЕТ НА ДЕЙСТВИЕ НЕКОТОРЫХ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Мейчик Н.Р. *, Николаева Ю.И., Кушунина М.А., Никушин О.В.

Биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: meychik@mail.ru

Клеточные стенки (КС), являющиеся частью апопласта – это сложноорганизованная и многофункциональная структура. Они первыми контактируют с наружным раствором и модифицируют его состав за счет реакций обмена между ионогенными группами полимерного матрикса КС и ионами среды, тем самым регулируя поступление веществ в корни растений. Использование методов химии полимеров для оценки свойств КС корней и листьев позволило выявить важные механизмы, контролирующие поглощающую способность корней при абиотическом стрессе. Оценка состава полимерного матрикса КС растений, различающихся по солеустойчивости, показала, что у всех растений с увеличением концентрации NaCl в среде значительно снижается pK_a карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты (ПГК). Таким образом, при солевом стрессе в КС увеличивается число активных сайтов, способных обменивать протон на Na^+ поступающий из внешней среды, и, как следствие, в растворе у плазмалеммы образуется избыточная концентрация протонов за счет реакции обмена, которая влияет на процессы транспорта ионов (например, K^+) в клетку, поскольку протоны внеклеточного компартмента являются не только субстратом для транспортных систем, но и воздействуют на электрические движущие силы транспортирования путем изменения мембранного потенциала. Установлено, что у бобовых растений, подвергшихся 24-часовой обработке Cu^{2+} (10 мкМ) или Ni^{2+} (100 мкМ) происходит модификация состава полимеров клеточных стенок, направленная на ограничение накопления этих металлов в них, что является следствием либо более низкого содержания карбоксильных групп ПГК в КС обработанных растений, либо более высокой степени метилирования этих групп по сравнению с контрольными растениями. Кроме того, показано, что изменения в структуре КС в ответ на действие металлов могут быть связаны с увеличением доли КС в общей сухой массе корня, а также с усилением в равной мере биосинтеза всех компонентов КС, в том числе и пектинов со степенью метилирования как у контрольных растений.

Ключевые слова: клеточные стенки, изменения структуры, солевой стресс, Me-стресс

CHANGES IN THE STRUCTURE OF THE CELL WALL IN RESPONSE TO THE ACTION OF SOME ABIOTIC FACTORS

Meychik N.R., Nikolaeva Yu.I., Kushunina M.A., Nikushin O.V.

Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Keywords: cell walls, structural changes, salt stress, Me-stress

ЭВОЛЮЦИЯ И РАЗНООБРАЗИЕ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК: ОТ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДО ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Микшина П.В. *, Чернова Т.Е., Горшкова Т.А.

Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение
Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии
наук», Казань, Россия

*E-mail: p.mikshina@gmail.com

В процессе эволюции растения неоднократно приспосабливались к условиям обитания. Это нашло отражение не только в изменениях строения их «тела» и появлении высокоспециализированных тканей, но и в составе и архитектуре клеточных стенок – ключевых надмолекулярных образований на основе разнообразных полисахаридов, отличающих растительные клетки от животных, определяющих форму, структуру и свойства тканей, органов и растительного организма в целом и обеспечивающих реализацию механических и биохимических функций.

Понимание принципов диверсификации построенных на основе различных сочетаний полисахаридов клеточных стенок и формирование их базисных моделей для эволюционно различных таксономических групп растительных объектов открывает перспективы как для расшифровки функций углеводов, так и для понимания филогенетических взаимоотношений и того, как растения могут реагировать на прогнозируемые сценарии изменения климата, а также для оптимизации решений в переработке растительной биомассы и использовании природного углеводного богатства.

В докладе будут рассмотрены аспекты, касающиеся изменений в составе и строении клеточных стенок на протяжении эволюции растений, а именно представлены модификации организации клеточных стенок при переходе растений к наземному образу жизни, в ходе эволюции сосудистых растений, при появлении высоких древесных форм и в процессе диверсификации цветковых растений. Также будут охарактеризованы особенности архитектуры клеточных стенок специализированных растительных клеток и представлены наиболее реалистичные существующие модели клеточных стенок для различных таксонов, построенные на основе литературных и собственных данных.

Работа частично поддержана РФФ (проект №19-14-00361, анализ эволюционных аспектов развития волокон).

Ключевые слова: эволюция растений, специализация клеток, растительная клеточная стенка, полисахариды

EVOLUTION AND DIVERSITY OF CELL WALLS: FROM ALGAE TO HIGHER PLANTS

Mikshina P.V., Chernova T.E., Gorshkova T.A.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics KazSC RAS, Kazan, Russia

Keywords: plant evolution, cell specialization, plant cell wall, polysaccharides

ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: НОВЫЕ РОЛИ В СТРЕССОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Минибаева Ф.В.

Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение
Федерального исследовательского центра “Казанский научный центр Российской академии
наук”, Казань, Россия

E-mail: minibayeva@kibb.knc.ru

Лишайники – симбиотические системы, включающие гриб аскомицет (микобионт) и один или два фотосинтетических партнера, цианобактерии и/или зеленые водоросли (фотобионт). Одним из метаболических последствий такого симбиоза является синтез в лишайниках разнообразных вторичных фенольных метаболитов, или «лишайниковых веществ», которые, в основном, накапливаются на внешней поверхности гиф микобионта. Первые сообщения о лишайниковых веществах появились в XIX веке, с тех пор в лишайниках идентифицировано более 1050 различных вторичных метаболитов. В дополнение к их роли в хемотаксономии и систематике лишайниковые вторичные метаболиты играют разнообразные биологические роли, в том числе обеспечивают фотозащиту, антибактериальную, антигрибную, антиоксидантную защиту, аллелопатию. Эти соединения также важны для круговорота металлов и защиты таллома лишайников от химического загрязнения. Одним из наименее исследованных аспектов является роль вторичных метаболитов в засухоустойчивости лишайников. Связывание молекул воды, в том числе, некоторыми гидрофобными соединениями лишайников, а также формирование биопленок другими метаболитами вносит вклад в поддержание жизнедеятельности лишайников в условиях обезвоживания. Формирование «метаболической» стратегии стрессовой устойчивости позволяет лишайникам расти в крайне неблагоприятных условиях. Кроме того, разнообразная биологическая активность лишайниковых веществ находит широкое практическое применение, в том числе в фармакологии, биотехнологии, косметологии, ремедиации воды и почвы и т.д. Таким образом, лишайники можно рассматривать как ценные источники биологических ресурсов.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и поддержана грантом РФФИ № 23-14-00327.

Ключевые слова: лишайники, вторичные метаболиты, стрессовая устойчивость

SECONDARY METABOLITES OF LICHENS: NEW ROLES IN STRESS TOLERANCE

Minibayeva F.V.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia

Keywords: lichens, secondary metabolites, stress tolerance

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, АКТИВИРОВАННОЙ ПЛАЗМОЙ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА, НА ПРОДУКТИВНОСТЬ *BETA VULGARIS* L.

Минич А.С. *, Минич И.Б., Чурсина Н.Л., Васильев С.Е., Финичёва А.А.

ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет», г. Томск, Россия;

*E-mail: minich@tspu.edu.ru

В настоящее время усилия ученых направлены на разработку технологии предпосевной обработки семян плазмой барьерного разряда, в том числе с использованием активированной плазмой воды (PAW). В зоне контакта плазмы образуются коротко- и долгоживущие активные частицы, которые растворяются в воде. Характеристики PAW (вид, количество и время существования активных частиц, электропроводность, pH и др.) зависят от параметров плазмы (мощности, газовой среды и пр.) и продолжительности контакта. В научных публикациях представлены многочисленные данные по применению PAW для улучшения посевных качеств семян и продуктивности растений. Однако результаты исследований по влиянию обработки PAW семян свёклы обыкновенных на данные показатели не обнаружены.

Цель работы – изучение влияния обработки семян свёклы обыкновенной PAW, полученной в атмосфере аргона и углекислого газа, на продуктивность растений.

Объект исследований – свекла обыкновенная (*Beta vulgaris* L.) сортов Бордо 237, Цилиндра и Египетская плоская. PAW получали обработкой дистиллированной воды барьерным разрядом в плазмохимическом реакторе с коаксиальным расположением электродов. Продолжительность обработки семян дистиллированной водой и PAW – 2 и 6 ч, контроль – необработанные семена. Семена высевались в открытый грунт на агробиологической станции ТГПУ (56°28'30" с.ш., 84°58'36" в.д.), определение продуктивности свёклы проводили на 100 сутки вегетации измерением веса и подсчетом числа корнеплодов. Статистическую обработку проводили с использованием программы Excel из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях на 100 растениях. Оценка достоверности результатов исследований проводилась при уровне надежности 95 % (уровень значимости – 0,05).

Результаты исследований показали, что обработка воды плазмой приводит к уменьшению pH, накоплению перекиси водорода, а для PAW, полученной в среде углекислого газа, - накоплению гидрокарбонат-ионов.

Лабораторная всхожесть и энергия прорастания семян, определенные по методам межгосударственного стандарта 12038-84, достоверно не различались. Не имели достоверных отличий и показатели продуктивности всех исследуемых сортов свёклы.

Ключевые слова: *Beta sativus*, барьерный разряд, активированная плазмой вода, обработка семян, продуктивность

EFFECT OF WATER ACTIVATED BY BARRIER DISCHARGE PLASMA ON THE PRODUCTIVITY OF *BETA VULGARIS* L.

Minich A.S., Minich I.B., Chursina N.L., Vasiliev S.E., Finicheva A.A.

Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia Federation

Keywords: *Beta sativus*, barrier discharge, plasma-activated water, seed treatment, productivity

БИОАЗФК – АЛЬТЕРНАТИВА МИНЕРАЛЬНЫМ УДОБРЕНИЯМ

Миннебаев Л.Ф. *, Сергеев В.С.

ООО «НВП «БашИнком», Уфа, Россия

*E-mail: linar00711@gmail.com

Сельскохозяйственная отрасль нашей страны переживает непростые времена, цены на продукцию аграрного сектора снизились и земледельцам приходится оптимизировать производственные затраты.

Аграрии находятся в поисках альтернативных подходов для снижения себестоимости продукции, чтобы без потерь урожайности перекрыть недостаток внесения удобрений. Интересно то, что механизмы, компенсирующие дефицит минерального питания культур в почве, имеются в самой природе. Способность бактерий к азотфиксации, фосфор- и калиймобилизации известны науке давно, практическое же их применение началось с конца 80-х годов 20 века. Поиск эффективных агентов продолжается и сегодня, идёт процесс селекции имеющихся активных штаммов. В результате многолетних исследований НВП "БашИнком" объединил наиболее активные штаммы, улучшающие плодородие почвы, и разработал микробиологическое удобрение "БиоАзФК" на основе консорциума живых микроорганизмов: *Azotobacter chroococcum* (свободноживущий азотфиксатор), *Bacillus megaterium*, *Bacillus mucilaginosus* (мобилизаторы фосфора и калия). По полевым опытам, проведенным в различных климатических зонах России "БиоАзФК" заменяет до 15 кг/га в д.в. внесение азотного удобрения и 20 кг/га в д.в. фосфорно-калийных удобрений.

Агробактерии, входящие в состав "БиоАзФК" обладают уникальным комплексом синтеза ПАВов, органических кислот и ферментативного аппарата который способствует быстрому переходу азотсодержащих соединений, фосфора и калия из недоступных в усвояемые формы для растений.

Инновационный препарат НВП "БашИнком" - "БиоАзФК" обладает всем комплексом полезных микроорганизмов для улучшения пищевого режима почвы. Полезные бактерии препарата синтезируют ростстимулирующие и иммуномодулирующие вещества, активизируют биологические процессы в почве, оздоравливают ее. Обработка биопрепаратом в УНЦ Башкирский ГАУ в 2018 г. привело к повышению прибавки урожая – 4,3 ц/га на картофеле сорта Удача и 4,8 ц/га на яровой пшенице сорта Ватан.

Ключевые слова: азотфиксация, фосформобилизация, калиймобилизация, микробиологическое удобрение, БашИнком

BIOAZFK – ALTERNATIVE TO MINERAL FERTILIZERS

Minnebaev L.F., Sergeev V.S.

LLC "NVP "BashInkom", Ufa, Russia

Keywords: nitrogen fixation, phosphorimobilization, potassium immobilization, microbiological fertilizer, BashInkom

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ *WITHANIA SOMNIFERA* И *WITHANIA COAGULANS*

Михайлова Е.В.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

E-mail: mikhele@list.ru

Одним из перспективных направлений современной науки является исследование биологической активности растительных метаболитов. Лекарственные растения *W. somnifera* и *W. coagulans* относятся к семейству *Solanaceae*, роду *Withania*. Основными действующими веществами в них являются алкалоиды и стероидные лактоны, которые имеют потенциал в лечении онкологических, нейродегенеративных и других видов заболеваний. У *W. somnifera* основными являются витанолид А и витаферин А, тогда как у *W. coagulans* — коагулин F, коагулин G и витокоагулин. Из-за массового сбора для нужд традиционной медицины *W. somnifera* находится под угрозой вымирания, тогда как *W. coagulans* широко используется в промышленности для свертывания молока. Несмотря на это, на отечественном рынке широко представлены как измельченные корни *W. somnifera* в виде пищевой добавки, так и семена, тогда как *W. coagulans* полностью отсутствует. Высокий уровень внешнего сходства не позволяет на ранних стадиях развития отличать эти два вида.

Доступность полных хлоропластных геномов этих видов растений дала возможность выявить полиморфные хлоропластные маркеры, которые позволяли отличать *W. somnifera* и *W. coagulans* друг от друга, а также близкородственных видов *Solanum clivorum*, *Solanum wrightii*, *Physalis minima*, *Physalis pubescens* и *Physalis angulata*. Таковыми оказались *rpoB* (4 SNP), *rbcl* (8 SNP) и *atpF* (7 SNP).

Из коммерчески доступных молотых корней и семян, продающихся как *W. somnifera*, была выделена ДНК и проведено секвенирование вышеперечисленных участков хлоропластного генома. Результаты показали, что молотые корни принадлежат виду *W. somnifera*, тогда как семена двух различных производителей относятся к виду *W. coagulans*.

Исследование поддержано стипендией Президента Российской Федерации для молодых ученых СП-5175.2022.4.

Ключевые слова: *Withania*, *atpF*, *rbcl*, *rpoC*

GENETIC IDENTIFICATION OF HERBAL PLANTS *WITHANIA SOMNIFERA* И *WITHANIA COAGULANS*

Mikhaylova E.V.

Institute of biochemistry and genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: *Withania*, *atpF*, *rbcl*, *rpoC*

ОПЫТ РЕДАКТИРОВАНИЯ ГЕНОМОВ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМОТОРОВ

Михайлова Е.В., Панфилова М.А., Хуснутдинов Э.А.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

*E-mail: mikhele@list.ru

Эффективность геномного редактирования во многом зависит от уровня экспрессии основных элементов системы CRISPR — белка Cas и гидовых РНК. Для этого используются различные промоторы, выбор которых определяется дизайном эксперимента и видом трансформируемого растения.

Особенность редактирования растений семейства Капустных, к которому относится и модельное растение *Arabidopsis thaliana*, заключается в проведении трансформации *in planta*, когда редактированию подвергаются генеративные органы растений. Для увеличения доли гомозиготных мутаций при трансформации Капустных в литературе предлагаются различные варианты замены промотора 35S, наиболее широко используемого для трансформации вегетативных тканей. Однако их эффективность пока остается малоизученной.

В настоящем исследовании проверялась эффективность редактирования трех генов транскрипционных факторов (CPC, MYBL2 и MYB60) с использованием промоторов AtU6 и 35S, а также CmYLCV и Ec1.2. Во всех случаях эффективность трансформации (устойчивость к глюофосинату) наблюдалась в среднем у 1,5% проростков, но только у 50-70% из них присутствовал также и ген *Cas*. Из последних только у 5-30% проростков произошло редактирование. Результаты значительно варьировали в зависимости от редактируемого гена, что существенно затрудняет оценку эффективности промотора. Мутации, полученные с использованием промотора 35S, не передавались по наследству, что говорит о том что они, скорее всего, являлись химерными. С использованием яйцеклеткоспецифичного промотора Ec1.2 удавалось получить стабильно наследуемые в трех поколениях мутации, однако ни одна из них не была гомозиготной. Вариантом решения проблемы может быть использование тканеспецифичного промотора для экспрессии не только гена *Cas*, но и гидовых РНК, что достаточно редко описывается в литературе и представляет значительный интерес для развития высокоэффективных систем редактирования геномов Капустных.

Ключевые слова: CRISPR, CmYLCV, Ec1.2, 35S

VARIOUS PROMOTERS IN GENOME EDITING OF *BRASSICACEAE*

Mikhaylova E.V., Panfilova M.A., Khusnutdinov E.A.

Institute of biochemistry and genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: CRISPR, CmYLCV, Ec1.2, 35S

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЯХ *IN VIVO* И *IN VITRO*

Михайлова И.Д.^{1,2*}, Лукаткин А.С.²

¹ АО «Биохимик», г. Саранск, Россия;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия;

*E-mail: irinamihajlova113@gmail.com

Тяжелые металлы (ТМ) являются сильными токсикантами и представляют угрозу для живых организмов. Культура клеток высших растений представляет собой удобную модель для изучения механизмов устойчивости к стрессорам. Поскольку ответные реакции растений и клеточных культур могут сильно различаться, необходимо детальное изучение влияния ТМ на растения *in vivo* и культуры клеток *in vitro* для выяснения закономерностей стрессовых реакций, функционирования антиоксидантной системы в клетках растений при стрессе ТМ, а также последующей разработки способов повышения металлоустойчивости. Цель исследования – провести сравнительное изучение влияния различных концентраций ионов ТМ (Ni, Zn, Cu, Pb) на каллусные культуры и растения огурца и редиса. В работе использовали молодые растения огурца (*Cucumis sativus* L. сорт Единство) и редиса (*Raphanus sativus* L. сорт Красный великан). После выращивания на средах, содержащих ионы ТМ в концентрациях от 10 мкМ до 1 мМ, определяли интенсивность каллусогенеза, рост, активность каталазы и аскорбат-пероксидазы, скорость генерации супероксидного анион-радикала, интенсивность перекисного окисления липидов. Сделано заключение, что ТМ в низких концентрациях стимулировали образование и рост каллусов, тогда как при высоких сильно угнетали каллусогенез и рост у огурца и редиса. В большинстве вариантов ТМ оказали стимулирующее действие на биохимические показатели у растений, связанные с возникновением окислительного стресса, но неоднозначно влияли на активность антиоксидантных ферментов. В большей степени влияние ионов ТМ было выражено в молодых растениях, чем в каллусных культурах. Во многих случаях выявлены нелинейные зависимости между изученными показателями и дозой ТМ в среде. Сравнительный анализ действия различных ТМ на огурец *in vitro* и *in vivo* позволил сформировать ряд (по степени усиления негативного эффекта): $Zn^{2+} \geq Cu^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+}$. Для редиса этот ряд различался для растений: $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+}$, и для каллусов: $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+}$.

Ключевые слова: огурец, редис, каллусогенез, тяжелые металлы, окислительный стресс.

THE EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF HEAVY METALS ON OXIDATIVE PROCESSES IN CULTIVATED PLANTS *IN VIVO* AND *IN VITRO*

Mikhaylova I.D.^{1,2}, Lukatkin A.S.²

¹ Biokhimik JSC of Promomed Group, Saransk, Russia

² N.P. Ogarev Mordovia State University. Saransk, Russia

Keywords: cucumber, radish, callus formation, heavy metals, oxidative stress.

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ *PINUS SYLVESTRIS* В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Михайлова Т.А., Калугина О.В. *, Шергина О.В.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

*E-mail: olignat32@inbox.ru

Исследования проводились в сосновых лесах на территории, загрязняемой аэровыбросами Братского алюминиевого завода – крупнейшего в стране предприятия по производству алюминия. Зонирование обследованных лесов по уровню техногенного загрязнения осуществлялось на основе полученных данных о содержании поллютантов в хвое сосны обыкновенной (вида-индикатора) на пробных площадях созданной сети мониторинга. Методом кластерного анализа выделены слабый, средний, сильный и критический уровни загрязнения древостоев. Показано, что техногенные поллютанты лимитируют ростовые процессы древесных растений, вызывая нарушение метаболизма, проявляющееся на биохимическом уровне в развитии окислительного стресса в результате избыточной генерации активных форм кислорода. Установлена прямая зависимость между увеличением уровня поллютантов в хвое и возрастанием концентрации пероксида водорода – «маркера» окислительного стресса. Вместе с тем, параллельно обнаруживается усиление защитных функций антиоксидантных компонентов. При слабом загрязнении активизируется действие пролина, глутатиона, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, при среднем загрязнении содержание этих компонентов увеличивается и в то же время резко возрастает активность ферментативной защиты, в первую очередь пероксидазы. При сильном уровне загрязнения концентрация обеих групп антиоксидантов в хвое достигает максимума. Только при критическом загрязнении наблюдалось резкое снижение активности пероксидазы и истощение пула низкомолекулярных антиоксидантов. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о наличии высокого адаптивного потенциала хвойных деревьев в условиях воздействия высокотоксичного техногенного загрязнения.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., техногенные эмиссии, антиоксидантные компоненты

ADAPTIVE POTENTIAL OF *PINUS SYLVESTRIS* UNDER THE IMPACT OF CHRONIC TECHNOGENIC POLLUTION

Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V.

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Keywords: *Pinus sylvestris* L., technogenic emissions, antioxidant components

НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У РАСТЕНИЙ *OXYCOCCUS MACROCARPUS* (AIT.) PERS. ПРИ ИХ СОКУЛЬТИВИРОВАНИИ С МИКРОМИЦЕТОМ *OIDIODENDRON MAIUS* BARRON В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

Михеев В.С.¹, Березина Е.В.^{1*}, Лебедева А.А.¹, Агеева М.Н.^{1,2}, Брилкина А.А.¹, Стручкова И.В.¹

¹ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород, Россия

² ООО «Микофит», Бор, Россия;

*E-mail: berezina.kat@gmail.com

В естественных условиях растения семейства Вересковые Ericaceae Juss. формируют симбиотические отношения с характерными для них грибами эрикоидной микоризы. Сокультивирование растений с грибами в контролируемых условиях *in vitro* обеспечивает ускоренную микоризацию и отсутствие других представителей почвенной микробиоты. Вересковые характеризуются высоким содержанием фенольных соединений, которые в отношении грибов могут выполнять как сигнальную, так и защитную функции. В связи с этим целью работы было выявить влияние микромицета *Oidiiodendron maius* Barron на накопление фенольных соединений растениями *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. при сокультивировании *in vitro*.

В качестве объектов исследования использовали микрорастения клюквы крупноплодной *O. macrocarpus*, к которым на твердую питательную среду Андерсона помещали пробки с развитым мицелием *O. maius*. Периодически определяли морфологию контактов гиф и корней, степень колонизации корней, содержание фенольных соединений (растворимых фенольных соединений, флавоноидов, катехинов, проантоцианидинов) в корнях и листьях. Контролем выступали неинокулированные микрорастения.

При сокультивировании *O. macrocarpus* с *O. maius* частота колонизации в корневой системе на 4 сутки сокультивирования составила 2%, на 7 сутки – 5%, на 14 сутки – 36% и на 21 сутки – 46%. На 7 сутки сокультивирования наблюдалось увеличение содержания всех групп фенольных соединений в корнях (на 10-56% по сравнению с контролем), которое сохранялось до 21 суток. Содержание фенольных соединений в листьях опытных микрорастений не отличалось от такового в листьях контрольных микрорастений на протяжении 21 суток сокультивирования.

Таким образом, растения отвечают на микоризацию увеличением содержания фенольных соединений в корнях при частоте их колонизации не менее 5%.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-74-00107.

Ключевые слова: клюква крупноплодная, эрикоидная микориза, фенольные соединения

PHENOLIC COMPOUNDS ACCUMULATION IN *OXYCOCCUS MACROCARPUS* (AIT.) PERS. PLANTS WHILE CO-CULTIVATION WITH *OIDIODENDRON MAIUS* BARRON IN *IN VITRO* CONDITIONS

Mikheev V.S.¹, Berezina E.V.¹, Lebedeva A.A.¹, Ageyeva M.N.^{1,2}, Brilkina A.A.¹, Struchkova I.V.¹

¹ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

² LLC “Mikofit”, Bor, Russia;

Keywords: American cranberry, ericoid mycorrhiza, phenolic compounds

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИСТЬЕВ ПОЗДНЕЛЕТНИХ СОРТОВ ГРУШИ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Мишко А.Е. *, Можар Н.В., Вялков В.В., Клюкина А.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия;

*E-mail: mishko-alisa@mail.ru

Способность растений проявлять устойчивость к изменениям погодно-климатических условий является важным фактором, определяющим их успешный рост и развитие. Изучение комплекса физиологических характеристик листа многолетних древесных культур позволяет охарактеризовать состояние растительных организмов и выявить нарушения в окислительно-восстановительном балансе клеток, возникновение которых происходит при неблагоприятном воздействии стрессовых факторов окружающей среды. Так в листьях трех сортов груши позднелетнего срока созревания плодов – Люберская (Россия), Дево (США) и Вильямс (Великобритания) – исследовано содержание каротиноидов (Car), общих фенолов (Ph), флавоноидов (Fl), малонового диальдегида (MDA), а также уровень активности ферментов – пероксидаз (POX), полифенолоксидазы (PPO), супероксиддисмутазы (SOD) и каталазы (CAT). Установлены максимальные показатели активности двух ферментов PPO и SOD на фоне наибольших показателей Fl и Car в первые летние месяцы (июнь-июль). Высокие значения SOD соответствуют запуску антиоксидантной системы защиты на начальных этапах подавления избытка супероксид-радикала в клетке. Накопление Fl, Car и рост активности PPO также способны нейтрализовать повреждения основных биомолекул. К концу вегетационного периода (август-сентябрь), в условиях самых высоких максимальных температур воздуха на территории Краснодарского края, в листьях всех сортов груши отмечено увеличение окислительных процессов, т.к. выявлено резкое повышение содержания MDA при низком уровне ферментативной активности. Наибольшие значения исследованных параметров антиоксидантной системы защиты характерны для отечественного сорта Люберская тогда, как широко распространенный европейский сорт Вильямс, напротив, проявил меньшую устойчивость в полевых условиях.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-26-20072 (<https://rscf.ru/project/22-26-20072/>).

Ключевые слова: груша, окислительный стресс, антиоксидантная система защиты.

LEAF PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LATE-SUMMER PEAR CULTIVARS OF DIFFERENT ORIGIN

Mishko A.E., Mozhar N.V., Vyalkov V.V., Klyukina A.V.

Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia

Keywords: pear, oxidative stress, antioxidant defense system.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Моисеенко Е.Е.^{1*}, Цветкова Е.В.^{1,2}, Дунаева А.Е.³, Романовская Е.В.¹,
Силинская С.А.⁴, Мешалкина А.А.^{1,5}, Орлова А.А.⁴, Синетова М.А.⁴, Фролов А.А.⁴,
Лось Д.А.⁴

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия;

³ Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия;

⁴ Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.

⁵ Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: st085055@student.spbu.ru

Цианобактерии – древнейшая группа прокариотических фотосинтезирующих организмов, которые могут рассматриваться как потенциальные источники природных соединений, обладающих широким разнообразием видов биологической активности – антимикробной, антиоксидантной, противоопухолевой, иммуномодулирующей, что делает их перспективными объектами для использования в области медицины и фармакологии. Целью данной работы была оценка антибактериальной и нейропротекторной активности метанольных экстрактов, полученных из 16 штаммов цианобактерий коллекции микроводорослей и цианобактерий IPPAS ИФР РАН. Для оценки антибактериальной активности использовали метод двукратных серийных разведений в жидкой питательной среде, содержащей микроорганизмы *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 и *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. Было показано, что экстракты трех штаммов цианобактерий В-287, IMBR-31 и В-1206 обладают сильной антимикробной активностью (минимальные ингибирующие концентрации ≤ 1 мг/мл) в отношении *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, а штамм В-1206 дополнительно и в отношении *Pseudomonas aeruginosa*. Также было обнаружено, что экстракты двух штаммов В-256 и В-1527 обладают умеренной антибактериальной активностью (минимальные ингибирующие концентрации 2-4 мг/мл). Нейропротекторные эффекты экстрактов исследовались *in vitro* на клеточных тест-системах нейронального происхождения с использованием клеточной линии SH-SY5Y. Было показано, что экстракты штаммов В-1220, В-1527, В-1600, В-1601, В-1200 и В-1204 оказывают нейропротективное воздействие в концентрации 50 мкг/мл. Таким образом, некоторые из изученных штаммов цианобактерий являются перспективным источником биологически активных веществ, в том числе со значительным нейропротекторным и антимикробным потенциалом.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-44-00101.

Ключевые слова: цианобактерии, антимикробная активность, нейропротекторные свойства

BIOLOGICAL PROPERTIES OF CYANOBACTERIA EXTRACTS

Moiseenko E.E.^{1*}, Tsvetkova E.V.^{1,2}, Dunaeva A.E.³, Romanovskaya E.V.¹,
Silinskaya S.A.⁴, Meshalkina A.A.^{1,5}, Orlova A.A.⁴, Sinetova M.A.⁴, Frolov A.A.⁴, Los D.A.⁴

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

² Institute of Experimental Medicine, St. Petersburg, Russia;

³ National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia;

⁴ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

⁵ Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Keywords: cyanobacteria, antimicrobial activity, neuroprotective properties

ЧТО МЫ ЗНАЕМ О БИОСИНТЕЗЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ?

Мокшина Н.Е.* , Микшина П.В., Горшкова Т.А.

Казанский институт биохимии и биофизики, ФИЦ Казанский научный центр РАН,
ул. Лобачевского, 2/31, 420111, Казань, Россия;

*E-mail: ne.mokshina@gmail.com

Целлюлоза – один из самых распространенных биополимеров на нашей планете. С химической точки зрения целлюлоза представляет собой простое соединение – β -1,4-D-глюкан. Простота химической структуры целлюлозы компенсируется сложностями ее биосинтеза. Биосинтез целлюлозы в растениях осуществляется сложно организованной многокомпонентной системой ферментов и кофакторов. Центральное положение в этой системе занимают целлюлозосинтазы (CESA), принадлежащие семейству 2 гликозилтрансфераз. CESA собраны в мембранные комплексы, при этом каждый фермент такого комплекса синтезирует отдельную глюкановую цепь. На данный момент принято считать, что один комплекс синтезирует микрофибриллу целлюлозы, состоящую из 18 глюкановых цепей. В геноме резуховидки идентифицировано 10 генов, кодирующих CESA. Известно, что набор изоформ CESA отличается для первичных и вторичных клеточных стенок. Так, целлюлозу первичных клеточных стенок синтезируют изоформы CESA1, 3, 6, а вторичных – CESA4, 7, 8. Интересно, что *in vitro* каждая изоформа CESA может взаимодействовать с любой другой изоформой.

В докладе будут освещены современные представления о строении и функционировании целлюлозосинтазных комплексов, а также особенности биосинтеза целлюлозы в клетках растений, формирующих различные типы клеточных стенок – первичные, первичные утолщенные (колленхима), вторичные, третичные (волокна). Так, транскриптомный анализ позволил оценить экспрессию генов всех изоформ CESA в волокнах льна и установить, что в волокнах, формирующих третичную клеточную стенку, одновременно экспрессируются гены изоформ CESA, характерные для первичной и вторичной клеточной стенки, при этом гравистимуляция растений льна вызывала в волокнах льна кратковременную активацию биосинтетических процессов с участием различных изоформ целлюлозосинтаз. Особое внимание будет уделено и наборам кофакторов, «аккомпанирующих» целлюлозо-синтазным комплексам при биосинтезе различных типов клеточных стенок.

Работа поддержана грантом РФФ № 23-24-00612.

Ключевые слова: растительная клеточная стенка, целлюлоза, целлюлозо-синтазный комплекс, экспрессия генов.

WHAT DO WE KNOW ABOUT CELLULOSE BIOSYNTHESIS IN HIGHER PLANTS?

Mokshina N., Mikshina P., Gorshkova T.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Lobachevsky Str., 2/31, 420111 Kazan, Russia.

Keywords: plant cell wall, cellulose, cellulose synthase complex, gene expression.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ АММОНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ПОГЛОЩЕНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ НИТРАТОВ РАСТЕНИЯМИ КИТАЙСКОЙ КАПУСТЫ (*BRASSICA CHINENSIS* L.)

Морозов Я.В.

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

E-mail: moxovoy@mail.ru

Растения поглощают азот в двух формах – аммонийной и нитратной. Варьирование отношением двух форм азота в корнеобитаемой среде потенциально позволяет эффективно сочетать преимущества нитратного и аммонийного питания и/или нивелировать присущие им недостатки. Для выяснения оптимального содержания двух форм азота в растворе были проведены эксперименты с китайской капустой, в которых растения выращивали на питательных растворах, содержащих обе формы азота. Доля аммонийного азота в опытных растворах варьировала от 0 до 100% при общем содержании азота, равном 120 мг/л. Полученные результаты выявили параболический характер зависимости роста растений от содержания ионов аммония в питательном растворе с максимумом в области 30 – 40 мг/л, а также синхронное изменение массы, коэффициента аккумуляции нитратов и содержания нитратов в растениях. В области ростстимулирующих концентраций ионов аммония в растворе отмечали увеличение скорости поглощения азота растениями за счет поглощения аммонийного азота на фоне стабильной скорости поглощения нитратного азота. Эти данные указывают на возрастание роли нитрат-аниона как осмотического компонента, необходимого для обеспечения роста клеток растяжением, в условиях нитратно-аммонийного питания. Неожиданным результатом явилось интенсивное восстановление эндогенного нитрата растениями, экспонируемыми на аммонийном азотном питании, что могло быть следствием восстановления нитрат-аниона до оксида азота – важного сигнального фактора, стимулирующего развитие корневой системы, что в условиях избыточного аммонийного питания позволяет растениям накапливать ионы аммония в значительных количествах без угнетения роста.

Ключевые слова: китайская капуста, нитратно-аммонийное питание, нитраты.

INFLUENCE OF AMMONIUM IONS ON THE PROCESSES OF ABSORPTION AND ACCUMULATION OF NITRATES BY PLANTS OF CHINESE CABBAGE (*BRASSICA CHINENSIS* L.)

Morozov Ya.V.

Russian State Agrarian University — K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia

Keywords: chinese cabbage, nitrate-ammonium nutrition, nitrates.

ОСОБЕННОСТИ ЛИПИДНОГО СОСТАВА РАСПУСКАЮЩИХСЯ ПОЧЕК РАСТЕНИЙ РОДА *BETULA* L.

Морозова И.В.^{1*}, Чернобровкина Н.П.², Робонен Е.В.²

¹ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", Петрозаводск, Россия

² Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", Петрозаводск, Россия

*E-mail: irinamorozova1502@gmail.com

Растения рода *Betula* L. отличаются относительно большим разнообразием видов и форм. Идентификация их по морфологическим признакам затруднена, поскольку на ранних этапах онтогенеза, а также в годичном цикле развития растения могут не иметь видовых отличий по ним. С целью идентификации растений рода *Betula* L. проводятся различные исследования, включая генетический и биохимический анализ. Липидный состав предопределён генетически для каждого биологического вида и зависит от многих факторов, в том числе, у древесных растений от фазы развития в годичном цикле. Целью данной работы было выявление отличительных особенностей в липидном составе почек растений рода *Betula* L. по фазам распускания.

Проводили анализ липидов почек *Betula pubescens* Ehrh., *Betula pendula* Roth и *Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti по фазам распускания в апреле-мае. Определяли массовое соотношение липидных компонентов в почках последовательно по фазам распускания, принимая за 1.0 их уровень в фазу набухания.

Betula pubescens Ehrh. характеризовало массовое соотношение нейтральных липидов – 1.0:0.5:0.6:0.7, гликолипидов – 1.0:1.0:1.4:0.9, фосфолипидов – 1.0:0.9:2.9:0.9, линоленовой кислоты – 1.0:1.2:1.2:1.3, стеариновой кислоты – 1.0:0.9:0.5:1.4. *Betula pendula* Roth отличало массовое соотношение нейтральных липидов – 1.0:0.8:1.2:0.6, линоленовой кислоты – 1.0:1.0:0.8:0.8., пальмитиновой кислоты – 1.0:1.4:2.3:2.1, стеариновой кислоты – 1.0:0.9:1.9:2.0. Для *Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) было характерно массовое соотношение суммарных липидов – 1.0:1.1:1.1:1.0, нейтральных липидов – 1.0:0.7:0.9:0.7, линоленовой кислоты – 1.0:0.9:1.0:1.1, стеариновой кислоты – 1.0:1.0:1.3:1.0.

Ключевые слова: *Betula*, распускающиеся почки, липиды, видовые различия

FEATURES OF THE LIPID COMPOSITION OF OPENING BUDS IN *BETULA* L. GENUS MEMBERS

Morozova I.V.¹, Chernobrovkina N.P.², Robonen E.V.²

¹ Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Betula*, opening buds, lipids, species differences

ОСОБЕННОСТИ САХАРОЗНОГО СИГНАЛИНГА У КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ

Мошенская Ю.Л. *, Галибина Н.А., Корженевский М.А., Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Никерова К.М., Софронова И.Н., Семенова Л.И.

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия

*E-mail: tselishcheva.yulia@mail.ru

Карельская береза (*Betula pendula* Roth var. *carelica*) – форма березы повислой отличается узорчатой (аномальной по структуре) древесиной. Переход к узорчатому строению древесины у карельской березы сопровождается переключением сахарозосинтазного (СС) пути утилизации сахарозы на преимущественное ее расщепление апопластной инвертазой (АпИInv). Целью данной работы было выявление путей транспорта сахарозы в радиальном ряду: проводящая флоэма – камбиальная зона – дифференцирующаяся ксилема и анализ путей метаболизации сахарозы при нормальном и аномальном ксилогенезе. Анатомические исследования показали структурные изменения в ксилеме карельской березы (снижение доли сосудов в составе ксилемы) и флоэме (уменьшение ширины проводящей флоэмы, формирование более мелких ситовидных трубок). Структурные особенности флоэмы сопровождались значительным ограничением дальнего транспорта ассимилятов, о чем свидетельствовало снижение (в 5 раз) проводимости ситовидных трубок у карельской березы. Мы предположили, что ограничение дальнего транспорта должно приводить к усилению роли трансмембранных переносчиков сахаров, обеспечивающих ближний транспорт. Проведенный биохимический анализ показал значимое увеличение активности АпИInv в камбиальной зоне и флоэме деревьев карельской березы, по сравнению с обычной березой повислой. На фоне увеличения активности АпИInv в узорчатых участках ствола значимо снижалась активность СС. Наряду с этим было показано 1,5-2 кратное увеличение уровня экспрессии генов, кодирующих АпИInv (*CWIN*). Показано, что на фоне увеличения уровня экспрессии *CWIN* наблюдается увеличение экспрессии генов семейства *CVIF*, отвечающих за посттрансляционную регуляцию АпИInv и изменение уровня экспрессии генов, кодирующих СС: снижение активности гена *SUS4*, играющего важную роль в ксилогенезе и увеличение экспрессии *SUS3* – первичного метаболического гена большинства тканей. Структурные изменения и метаболическая перестройка тканей ствола у карельской березы сопровождались увеличением уровня экспрессии генов, кодирующих трансмембранные переносчики сахарозы и гекоз (гены семейства *SUT*, *SWEET*).

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось при финансовой поддержке РНФ (№ 22-74-00096). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Ключевые слова: карельская береза, сахарозный сигналинг, инвертаза, сахарозсинтаза, транспорт сахаров.

FEATURES OF SUCHAROSE SIGNALING IN KARELIAN BIRCH

Moshchenskaya Yu.L., Galibina N.A., Korzhenevsky M.A., Tarelkina T.V., Serkova A.A., Nikerova K.M., Sofronova I.N., Semenova L.I.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: Karelian birch, sucrose signaling, invertase, sucrose synthase, sugar transport

**ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЗАЦИИ НА РИЗОСФЕРНЫЙ МИКРОБИОМ,
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ И РЕМЕДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
MISCANTHUS × *GIGANTEUS*, ВЫРАЩЕННОГО В ЗАГРЯЗНЕННОЙ
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВЕ**

Муратова А.Ю.^{1*}, Сунгурцева И.Ю.¹, Турковская О.В.¹, Нуржанова А.А.²

¹ Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ Саратовский научный центр РАН, г. Саратов, Россия

² Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, Республика Казахстан

*E-mail: muratova_a@ibppm.ru

Возможность увеличения продукции биомассы и стимуляции фитоэкстракции тяжелых металлов из загрязненной почвы исследовали на примере инокуляции биоэнергетического растительного вида *Miscanthus* × *giganteus* устойчивыми к тяжелым металлам штаммами стимулирующих рост растений ризобактерий *Chitinophaga* sp., *Mycolicibacterium* sp. и *Azospirillum brasilense*. Растения выращивали в загрязненной цинком (1650 мг/кг) почве в течение 4 мес. в условиях теплицы. Влияние металла и бактеризации на растение оценивали по таким физиолого-биохимическим показателям, как прирост биомассы, содержание фотосинтетических пигментов, активность антиоксидантных ферментов. В ответ на бактеризацию и присутствие в почве загрязнителя определяли также изменение структуры ризосферного микробиома и содержание цинка в растительной биомассе. Показано, что микробные инокулянты *A. brasilense* Pp171 и *Mycolicibacterium* sp. Pb113 стимулировали накопление надземной и подземной биомассы мискантуса в чистой и загрязненной цинком почве. Цинк не оказывал существенного влияния на содержание фотосинтетических пигментов мискантуса, которое возрастало по мере роста растения, но снижалось под действием бактериального инокулянта вследствие увеличения фитоаккумуляции металла и его токсического эффекта. Активность ферментов антиоксидантной защиты зависела, как от металла-загрязнителя, так и от штамма-инокулянта. Установлено, что на формирование микробиома ризосферы мискантуса в большей степени влиял цинк, чем бактерии-инокулянты. Все исследованные штаммы ризобактерий стимулировали поглощение цинка растениями мискантуса. На основании полученных данных, штаммы бактерий *A. brasilense* Pp171 и *Mycolicibacterium* sp. Pb113 после проверки на вирулентность и патогенность могут быть рекомендованы для улучшения эффективности фиторемедиации почвы, загрязненной цинком.

Работа выполнена в рамках темы госзадания (№АААА-А17-117102740093-3) и при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект AP09259724).

Ключевые слова: *Miscanthus* × *giganteus*, *Azospirillum brasilense*, *Chitinophaga* sp., *Mycolicibacterium* sp., цинк, фиторемедиация

**BACTERIZATION EFFECT ON RHISOSPHERIC MICROBIOME,
PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL AND REMEDIATION PROPERTIES
OF *MISCANTHUS* × *GIGANTEUS* GROWN IN HEAVY-METAL-POLLUTED SOIL**

Muratova A.Yu.¹, Sungurtseva I.Yu.¹, Turkovskaya O.V.¹, Nurzhanova A.A.²

¹ Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia

² Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan

Keywords: *Miscanthus* × *giganteus*, *Azospirillum brasilense*, *Chitinophaga* sp., *Mycolicibacterium* sp., zinc, phytoremediation

РЕГУЛЯЦИЯ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ЛАКТОН- И КЕТОНСОДЕРЖАЩИМИ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ

Мурган О.К. *, Ефимова М.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: reborn_rinni@mail.ru

В настоящее время имеется относительно мало исследований, направленных на сравнение биологической активности брассиностероидов (БС), различающихся по химической структуре, в частности, содержащих лактоновое или кетоновое кольцо, в оптимальных условиях и при отложенном действии хлоридного засоления.

Известно, что в первую очередь, негативное действие высоких концентраций соли приводит к нарушению осмотического статуса и ионного гомеостаза растений. Резкое уменьшение водного потенциала почвенного раствора в условиях засоления приводит к снижению способности клеток корня поглощать воду и к падению тургора. Наличие влаги в клетках листьев необходимо не только для осуществления фотосинтеза – ключевого процесса растений, но и остальных физиологических процессов. Снижение потери воды при осмотическом стрессе, инициированным засолением, зачастую происходит благодаря накоплению органических или неорганических осмопротекторов, в результате чего наблюдается увеличение вязкости цитоплазмы, и растения, тем самым повышают способность удерживать воду внутри клеток.

Исследование проводили на растениях-регенерантах картофеля сорта Луговской. В качестве лактон-БС использовали 24-эпибрассинолид, а кетон-БС – 24-эпикастастерон. Эксперимент проводили в условии гидропоники, продолжительность хлоридного засоления (75 и 150 мМ NaCl) составляла 5 суток. Оценивали величину осмотического потенциала, содержание пролина, ионов натрия, калия, процентное содержание воды в тканях листа, стебля и корня.

Нами впервые показано, что брассиностероиды регулируют влагоудерживающую способность тканей растений картофеля и способствуют накоплению осмопротекторов. Данное свойство брассиностероидов определялось как химическим строением и концентрацией фитогормона, так и продолжительностью его воздействия. Мы предполагаем, что регулирование данных процессов способствует изменению солеустойчивости растений картофеля.

Исследование поддержано проектом Российского научного фонда (№ 23-44-10019).

Ключевые слова: 24-эпибрассинолид, 24-эпикастастерон, осмотический статус, пролин, солеустойчивость

REGULATION OF SALT RESISTANCE OF POTATO PLANTS BY LACTONE- AND KETONE-CONTAINING BRASSINOSTEROIDS

Murgan O.K., Efimova M.V.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Keywords: 24-epibrassinolide, 24-epicastasterone, osmotic status, proline, salt resistant

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТОЙ 14,3 ГЦ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Мшенская Н.С.^{1*}, Синицына Ю.В.¹, Кальясова Е.А.¹, Гринберг М.А.¹,
Ильнин Н.В.²

¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

² Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: tasya.mshanka@yandex.ru

Исследовали влияние магнитного поля (МП) с частотой 14,3 Гц, входящей в диапазон частот резонанса Шумана на физиологические и биохимические параметры растений пшеницы при различных режимах обработки: однократное 30-минутное воздействие магнитного поля (кратковременное) и длительное воздействие магнитного поля (на протяжении всего срока выращивания), часть растений дополнительно подвергалась воздействию засухи.

Было показано, что МП с частотой 14,3 Гц при кратковременном воздействии увеличивало активность каталазы по сравнению с контролем на 62 % и снижало содержание МДА на 29% и 17% при кратковременной и длительной обработке, соответственно. Остальные компоненты редокс-метаболизма (активность и изоферментный состав СОД, активность пероксидазы, содержание гидроперекисей и липидный состав мембран) не реагировали на данные воздействия как при кратковременной, так и при длительной обработке. Оба режима воздействия МП с частотой резонанса Шумана 14,3 Гц вызывали увеличение эффективного квантового выхода и снижение величины нефотохимического тушения флуоресценции, что указывало на активацию процессов световой стадии фотосинтеза.

При длительной обработке растений пшеницы было выявлено защитное действие МП с частотой 14,3 Гц в присутствии стрессора – засухи. Магнитное поле способствовало более длительному поддержанию процессов транспирации и фотосинтеза на уровне контроля.

Таким образом, растения пшеницы воспринимали колебания с частотами естественных слабых электромагнитных излучений и реагировали на них на уровне редокс-системы клеток. Реализация эффектов МП с частотой 14,3 Гц была более выражена при дополнительном влиянии стрессора. Обнаружено протекторное воздействие МП на физиологические параметры пшеницы в условиях засухи, направленное на более быструю адаптацию к стрессовым факторам.

Работа выполнена при поддержке Соглашения с Правительством РФ № 075-15-2019-1892.

Ключевые слова: магнитное поле, пшеница, редокс-метаболизм, фотосинтез, засуха

INFLUENCE OF A MAGNETIC FIELD WITH A FREQUENCY OF 14.3 Hz ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF WHEAT PLANTS

Mshenskaya N.S.^{1*}, Sinitsyna Yu.V.¹, Kalyasova E.A.¹, Grinberg M.A.¹,
Il' nin N.V.²

¹ N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

² Institute of Applied Physics of Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: magnetic field, wheat, redox metabolism, drought

УЧАСТИЕ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ NLP У *SOLANUM TUBEROSUM* В ОБЕСПЕЧЕНИИ ОТВЕТА НА ПРИСУТСТВИЕ АЗОТА В СРЕДЕ

Мыскова А.В.*, Ганчева М.С., Лутова Л.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: nanateiubesc@gmail.com

Транскрипционные факторы NLP – NIN-like proteins – участвуют в сигнальных каскадах у растений разных таксонов и обладают структурой, схожей с белком NIN (nodule inducing), впервые обнаруженном у *Lotus japonicus* (Schauser et al., 1999). Позже гены данного семейства были подробно описаны для *Arabidopsis thaliana*. Среди них большой интерес представляет AtNLP7, т.к. известно, что он принимает участие в ключевых путях ассимиляции соединений азота (Castaings et al., 2009). Поскольку прослеживается связь между содержанием азота в среде и интенсивностью клубнеобразования у картофеля, можно предположить, что гомологи AtNLP7 способны участвовать в регуляции этих процессов. С помощью технологии BLAST, филогенетического анализа и алгоритма идентификации доменов по белковым последовательностям удалось выявить семь гомологов известных генов семейства NLP у картофеля, из которых StNLP3 и StNLP5 обнаруживают наибольшее сходство с AtNLP7.

Далее мы провели анализ транскриптомов картофеля на основе данных TPM (transcript per million), представленных на портале Spud DB. Исходный набор данных содержал материалы различных исследований, посвященных изучению реакций на биотический и абиотический стресс, сборке и аннотации генома картофеля. Так мы сравнили уровни экспрессии генов семейства NLP у картофеля в разных частях растения, а также в условиях оптимального увлажнения и засухи, при избытке и при недостатке азота в среде.

Также был поставлен эксперимент с использованием одногибридной дрожжевой системы для выявления взаимодействия белков StNLP3, StNLP5 с промоторами генов, кодирующих ключевые регуляторы клубнеобразования. Таким образом, нам удалось составить комплексное представление об экспрессии генов семейства NLP у картофеля и о дальнейшем направлении работы по изучению транскрипционных факторов, родственных AtNLP7.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (грант № 22-76-00022)

Ключевые слова: NLP, транскрипционные факторы, ассимиляция азота, регуляция клубнеобразования

THE ROLE OF NLP TRANSCRIPTION FACTORS IN NITRATE RESPONSE PATHWAYS IN *SOLANUM TUBEROSUM*

Myškova A.V., Gancheva M.S., Lutova L.A.

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: NLP, transcription factors, nitrogen assimilation, tuber regulation

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ ЦИТОКИНИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ *STHK2*, *STHK3* И *STHK4* В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ/ТКАНЯХ КАРТОФЕЛЯ. РОЛЬ ЭКЗОГЕННОЙ САХАРОЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ

Мякушина Ю.А.*, Колачевская О.О., Гетман И.А., Синькевич И.А.,
Архипов Д.В., Дейграф С.В., Романов Г.А.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: yulia-myakushina@yandex.ru

Картофель является одной из основных сельскохозяйственных культур в мире. Важную роль в формировании клубней картофеля играют фитогормоны, в частности цитокинины. Известно, что кинетин значительно стимулирует инициацию клубней картофеля *in vitro*, увеличивая число клубней и ускоряя сроки их образования. Мы изучили экспрессию генов цитокининовых рецепторов *StHK2*, *StHK3* и *StHK4* в различных органах растений картофеля сорта Дезире, выращенных *in vitro* в условиях благоприятных для вегетативного роста (1.5% сахарозы) или клубнеобразования (5% сахарозы). Паттерны экспрессии всех исследуемых генов значительно различались у растений, выращенных на среде с низким (1.5%) или высоким (5%) содержанием сахарозы. Если в присутствии 1.5% сахарозы экспрессия *StHK3* превалировала в корнях, то в среде с 5% сахарозы пик активности данного гена наблюдался в листьях. В растениях, выращенных на среде с низким содержанием сахарозы, ген *StHK4* слабо экспрессировался в листьях по сравнению со стеблями и корнями. В то же время при высоких концентрациях сахарозы содержание мРНК гена *StHK4* в органах растений было примерно равным. Заметные органоспецифические различия в экспрессии гена *StHK2* обнаружены только у растений картофеля в присутствии 5% сахарозы. Самая низкая активность всех генов рецепторов наблюдалась в клубнях. Для изучения тканевой локализации рецепторов цитокининов картофеля промоторы генов *StHK2a*, *StHK3a* или *StHK4a* были объединены с репортерным геном *GUS*. Полученные на основе указанных векторов трансгенные растения выращивали на агаризованной среде Мурасиге-Скуга с содержанием сахарозы 2%. Уровень *GUS*-экспрессии определяли гистохимически. В листьях наблюдались максимальная активность промотора гена *StHK3a* и, как ожидалось, минимальная активность промотора гена *StHK4a*. Экспрессия гена *GUS* под контролем промоторов *pStHK2a* и *pStHK3a* происходила в проводящих сосудах листьев, проводящих тканях стебля (ксилеме) и корнях. Активность гена *GUS* под действием промотора *pStHK4a* проявлялась в проводящих тканях стебля (флоэме) и корнях. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №23-24-00540; проект №22-14-00259).

Ключевые слова: цитокинины, сигналинг, сахароза, взаимодействие, картофель, цитокининовые рецепторы.

SPECIFIC FEATURES OF EXPRESSION OF CYTOKININ RECEPTORS *STHK2*, *STHK3* AND *STHK4* IN VARIOUS POTATO ORGANS/TISSUES. THE ROLE OF EXOGENOUS SUCROSE IN REGULATION OF GENE EXPRESSION

Myakushina Y.A., Kolachevskaya O.O., Getman I.A., Sinkevich I.A.,
Arkhipov D.V., Deigraf S.V., Romanov G.A.

Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: cytokinins, signaling, sucrose, crosstalk, potato, cytokinin receptors.

МОЛЕКУЛЯРНОЕ КЛОНИРОВАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКА *Sa*NRT1.1/NPF6.3 СЕМЕЙСТВА НИТРАТНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ NRT1/NPF ЭУГАЛОФИТА *SUAEDA ALTISSIMA* (L.) Pall.

Неделяева О.И.*, Храмов Д.Е., Коношенкова А.О., Балнокин Ю.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: olga.nedelyaeva@yandex.ru

Семейство нитратных транспортеров NRT/NPF растений включает локализованные в плазмалемме белки, транспортирующие в симпорте с протоном нитрат, нитрит, пептиды, аминокислоты, глюкозинолаты, ауксины, АБК и гиббереллины.

Клонирована кодирующая последовательность нитратного транспортера *S. altissima Sa*NRT1.1. Согласно филогенетическому анализу *Sa*NRT1.1 принадлежит семейству NRT1/PRT и наиболее сходен с двуаффинными нитратными транспортерами AtNPF6.3, MtNRT1.3 и OsNRT1.1A, а также с низкоаффинным нитратным транспортером ZmNPF6.4.

В работе исследовали экспрессию *Sa*NRT1.1 в органах *S. altissima* и транспортную функцию белка, кодируемого этим геном. Для этого осуществили гетерологическую экспрессию *Sa*NRT1.1 в нокаут-мутанте дрожжей *Hansenula polymorpha Δynt1* по единственному гену семейства NPF/NRT – двуаффинному транспортеру YNT1, участвующему в поглощении нитрата из окружающей среды. Нокаут гена YNT1 приводит к подавлению роста мутанта *Δynt1* на минимальных средах, содержащих нитрат в качестве единственного источника азота. Положительным контролем комплементации мутации *Δynt1* служил NPF6.3 (*NRT1.1/CHL1*), клонированный из *A. thaliana*. Экспрессия AtNPF6.3 приводила к восстановлению роста мутанта *Δynt1* на минимальных средах, содержащих NO₃⁻, до уровня дикого типа. Частичное восстановление роста мутанта на селективных средах наблюдалось в результате экспрессии *Sa*NRT1.1, что указывает на возможное участие белка *Sa*NRT1.1 в транспорте ионов NO₃⁻.

*Sa*NRT1.1 экспрессируется в корнях и листьях *S. altissima*, наибольший уровень экспрессии наблюдали в корнях. Экспрессия *Sa*NRT1.1 изменялась в корнях в условиях стационарного засоления в ряду концентраций NaCl при разной доступности нитрата в среде культивирования.

Высокий уровень экспрессии *Sa*NRT1.1 в органах эукалофита при разной доступности нитрата в среде культивирования, а также частичная комплементация мутации *Δynt1* свидетельствуют в пользу того, что *Sa*NRT1.1 является ортологом AtNPF6.3 и выполняет сходную физиологическую функцию у *S. altissima*, в частности участвует в поглощении нитрата.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда №22-74-00051 (<https://rscf.ru/project/22-74-00051/>).

Ключевые слова: *Suaeda altissima*, NRT1/NPF, нитратные транспортеры, солеустойчивость, транспорт нитрата

MOLECULAR CLONING AND FUNCTIONAL CHARACTERISATION OF THE *Sa*NRT1.1/NPF6.3 PROTEIN OF THE NRT1/NPF NITRATE TRANSPORTER FAMILY FROM THE EUHALOPHYTE *SUAEDA ALTISSIMA* (L.) Pall.

Nedelyaeva O.I.*, Khramov D.E., Konoshenkova A.O., Balnokin Y.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Keywords: *Suaeda altissima*, NRT1/NPF, nitrate transporters, salt tolerance, nitrate transport

ПОЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ ТАБАКА *NICOTIANA TABACUM* L. С РЕДАКТИРОВАННЫМ ГЕНОМ КРАХМАЛ-ФОСФОРИЛАЗЫ *PHO1a*

Нежданова А.В.^{*}, Щенникова А.В.

Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии»
Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

*E-mail: anna-negdanova@mail.ru

Направленное редактирование генома с помощью системы CRISPR/Cas9 является современной технологией получения растений с измененными признаками. Крахмальная фосфорилаза PHO1a – один из ключевых ферментов метаболизма крахмала, участвующий в фосфороллизе и инициации биосинтеза крахмала. Целью настоящего исследования стал функциональный анализ гена *PHO1a* путем получения растений табака *Nicotiana tabacum* L. с измененной (с использованием CRISPR/Cas9) кодирующей последовательностью гена. С помощью программ CRISPRdirect и CRISPR MultiTargeter была проанализирована последовательность гена *PHO1a* и определен консервативный участок, пригодный в качестве гидовой РНК. Была собрана CRISPR/Cas9-конструкция на основе бинарного вектора p201N_Cas9 (AddGene #59175) и челночного вектора pUC gRNA Shuttle plasmid (AddGene #47024). Штамм агробактерии, несущий плазмиду p201N-*PHO1a*-gRNA, был использован для трансформации листовых эксплантов табака с последующей селекцией регенерантов на среде, содержащей канамицин (100 мг/л). Полученные растения были проверены на присутствие кассеты gRNA в геноме. У 12 трансгенных линий участок редактирования был амплифицирован, клонирован и секвенирован (по 16 клонов для каждой линии) и далее сравнен с контролем. Было показано, что 3 линии (L1, L8 и L10) содержат варианты редактированных аллелей *PHO1a* (различные делеции размером 2-8 нуклеотидов, а также однонуклеотидные замены). Делеции, не кратные трём, приводили к сбою рамки считывания гена, преждевременным стоп-кодонам и укороченной версии белка с измененной последовательностью. В сравнении с контролем данные линии были ниже, кустились и зацветали позже, что может быть следствием измененного метаболизма крахмала в трансгенных растениях.

Ключевые слова: CRISPR/Cas9 геномное редактирование; *Nicotiana tabacum* L.; крахмалфосфорилаза PHO1a; метаболизм крахмала.

OBTAINING OF TOBACCO *NICOTIANA TABACUM* L. PLANTS WITH EDITED STARCH PHOSPHORYLASE GENE *PHO1a*

Nezhdanova A.V., Shchennikova A.V.

Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

Keywords: CRISPR/Cas9 genome editing; *Nicotiana tabacum* L.; starch phosphorylase PHO1a; starch metabolism.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХНИЗКИХ ЧАСТОТ НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Немцова Ю.А.^{1*}, Иванова А.В.¹, Пирогова П.А.¹, Ильин Н.В.², Мареев Е.А.^{1,2},
Воденев В.А.¹, Гринберг М.А.^{1,2}

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Российская Федерация

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Российская Федерация

*E-mail: julnemtsova@yandex.ru

Магнитное поле (МП) является неотъемлемой частью окружающей среды, в которой развиваются живые организмы, включая растения. Особый интерес представляют МП крайне низкой частоты, которые имеют место в природе. Такие поля возбуждаются грозовыми разрядами в атмосфере Земли и имеют частоты резонансов Шумана. Целью данной работы было выявление влияния МП крайне низкой частоты на фотосинтез (ФС) и транспирацию проростков пшеницы под влиянием засухи.

Исследования проводились на проростках пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Переменное МП создавалось с помощью катушек Гельмгольца. В экспериментах использовались поля с частотами 10,5, 13,3, 14,3, 15,3 Гц (что соответствует второй гармонике резонанса Шумана и её окрестностям), магнитуда поля составляла 18 мкТл. Растения подвергались воздействию поля на протяжении всего периода выращивания. Засуха моделировалась прекращением полива. В работе производилась оценка морфометрических параметров (длины и площади листьев, сухого и сырого веса); регистрация активности ФС и интенсивности транспирации.

В ходе экспериментов была изучена частотная зависимость МП. Показано, что МП с исследуемыми характеристиками не оказывает статистически значимого влияния на показатели ФС в состоянии покоя (без дополнительных воздействий). При этом обнаружен протекторный эффект МП в отношении засухи. Наблюдаемое в наших опытах защитное действие МП выражается главным образом в смещении времени наступления реакции на засуху. Эта закономерность проявляется как для морфометрии, так и для всех показателей ФС аппарата. У растений, подвергавшихся воздействию МП, был выявлен более низкий уровень транспирации, что могло способствовать более медленной потере воды из почвы в период наступления засухи по сравнению с контролем. Это может лежать в основе смещения начала реакции на засуху по всем остальным изучаемым параметрам.

Работа выполнена в рамках проекта Национального центра физики и математики (НЦФМ) «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика».

Ключевые слова: электромагнитные поля сверхнизких частот, засуха, резонанс Шумана

INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF ULTRA-LOW FREQUENCIES ON THE DROUGHT RESISTANCE OF WHEAT PLANTS

Nemtsova Y.A.¹, Ivanova A.V.¹, Pirogova P.A.¹, Ilin N.V.², Mareev E.A.^{1,2},
Vodenev V.A.¹, Grinberg M.A.^{1,2}

¹ N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

² Institute of Applied Physics of Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: extremely low frequency magnetic field; drought; Schumann resonance

ФЕНОЛЬНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. В УСЛОВИЯХ *IN VIVO* И *IN VITRO*

Нечаева Т.Л.^{1*}, Зубова М.Ю.¹, Стахеева Т.С.², Васильева О.Г.²

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, г. Москва, Россия

² Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, г. Москва, Россия;

*E-mail: NechaevaTatyana.07@yandex.ru

Голубика высокорослая (*Vaccinium corymbosum* L.) обладает большим потенциалом в качестве природного диетического продукта с ценными фармакологическими свойствами. Это обусловлено накоплением таких полифенолов, как фенолпропаноиды, антоцианы и флаваны (ФЛ), характеризующиеся высокой антиоксидантной, антибактериальной, противовирусной, капилляроукрепляющей активностью. Поскольку природные ресурсы голубики ограничены, большой интерес представляют культуры *in vitro*, в частности микропобеги, как альтернативный источник получения фенольных метаболитов. Цель работы – сравнение содержания ФЛ, как одних из компонентов фенольного комплекса голубики, в растениях *in vivo* и *in vitro*. Для исследования использовали растения низкорослого (North Country) и высокорослого (Bluescrop) сортов открытого грунта (стадия начала плодоношения) и культивируемые *in vitro* микропобеги. Содержание ФЛ определяли спектрофотометрическим методом с ванилиновым реактивом при 500 нм. В листьях высокорослой голубики количество ФЛ было на 38% выше, чем у низкорослой. В условиях *in vitro* накопление этих вторичных метаболитов на 35-й день роста микропобегов было равным и превышало таковое интактных растений на 20% и 80% у Bluecrop и North Country, соответственно. К концу пассажа (56 дней) в обоих случаях оно снижалось, хотя у сорта North Country было выше, чем в листьях интактных растений. Следовательно, культивируемые в условиях *in vitro* микропобеги голубики характеризуются высокой способностью к образованию фенольных метаболитов, в частности ФЛ, и могут рассматриваться как продуценты этих соединений.

Работа выполнена в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ 122042600086-7).

Ключевые слова: голубика, растения, микропобеги, фенольные соединения, флаваны

PHENOLIC METABOLITES OF *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. *IN VIVO* AND *IN VITRO*

Nechayeva T.L.¹, Zubova M.Yu.¹, Stakheyeva T.S.², Vasilieva O.G.²

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

*E-mail: NechaevaTatyana.07@yandex.ru

Keywords: blueberry, plants, microshoots, phenolic compounds, flavans

РОЛЬ O_2^-/H_2O_2 В РЕГУЛЯЦИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК КАМБИЯ ПРИ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЯХ КСИЛОГЕНЕЗА

Никерова К.М.,* Галибина Н.А., Софронова И.Н., Мошенская Ю.Л.,
Корженевский М.А., Климова А.В., Тарелкина Т.В., Серкова А.В.

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия

*E-mail: knikerova@yandex.ru

На известных модельных объектах – березе обычной *Betula pendula* var. *pendula* и березе карельской *B. pendula* var. *carelica* (Mercl.) Hämet-Ahti, отличающихся сценариями ксилогенеза, в основе которых лежит смещение работы ствольных клеток камбия либо в сторону дифференцировки – при образовании прямослойной древесины, либо в сторону пролиферации – при образовании узорчатой древесины, в радиальном ряду (камбиальная зона и флоэма, дифференцирующаяся ксилема, зрелая ксилема) определен обширный пул биохимических (активности фенилаланинаммиак-лиазы, супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы; содержание малонового диальдегида, фенольных соединений, супероксидного радикала, перекиси водорода, экстрактивных веществ, лигнин, целлюлозы) и молекулярно-генетических маркеров (экспрессия генов *PAL* и транскрипционного фактора *UPBEAT1*).

Данное исследование впервые показало, что формирование узорчатой древесины, в том числе, находится под контролем транскрипционного фактора *UPBEAT1*, напрямую влияющего на экспрессию пероксидаз, которые, тем самым, поддерживают равновесие между субстратной ролью перекиси водорода в ферментативных реакциях и её сигнальной функцией в поддержании баланса с супероксидным радикалом.

При образовании узорчатой древесины у карельской березы обнаружено возрастание содержания супероксидного радикала, а также смещение баланса O_2^-/H_2O_2 , наряду с возрастанием экспрессии транскрипционного фактора *UPBEAT1* и генов *PAL*.

Таким образом, перераспределение процессов ксилогенеза в сторону пролиферации у карельской березы замыкается двумя «концевыми двигателями»: 1. смещением баланса O_2^-/H_2O_2 и последующей интенсификацией работы ферментов антиоксидантной системы; 2. контролем со стороны генов *PAL*, обеспечивающих образование фенольных соединений, выполняющих субстратную (для ферментов) и структурную (при возрастании лигнификации у карельской березы) роли.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ (№ 22-74-00133).

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Ключевые слова: карельская береза, нарушение ксилогенеза, перекись водорода, супероксидный радикал, фенилаланинаммиак-лиаза, транскрипционный фактор *UPBEAT1*

THE ROLE OF O_2^-/H_2O_2 IN THE REGULATION OF CAMBIUM STEM CELL DIFFERENTIATION UNDER DIFFERENT XYLOGENESIS SCENARIOS

Nikerova K.M., Galibina N.A., Sofronova I.N., Moshchenskaya Y.L.,
Korzhenevskii M.A., Klimova A.V., Tarelkina T.V., Serkova A.V.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Keywords: Karelian birch, xylogenesis disturbance, hydrogen peroxide, superoxide radical, phenylalanine ammonia lyase, UPBEAT1 transcription factor

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ НА РЕАКЦИЮ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИЗБЫТКЕ ЦИНКА

Нилова И.А.^{*}, Игнатенко А.А., Холопцева Е.С., Казнина Н.М.

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия;

*E-mail: im-ira@mail.ru

Одним из путей снижения отрицательного воздействия тяжелых металлов на растения является обработка их семян регуляторами роста, в том числе салициловой кислотой (СК). Так, обнаружено, что при высоких концентрациях этих химических элементов СК оказывает протекторное действие на ряд физиологических процессов у растений. Однако такого рода данные немногочисленны. Вследствие этого, целью данного исследования явилось изучение влияния обработки семян СК на реакцию растений пшеницы в условиях избытка цинка в корнеобитаемой среде.

Семена пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с. Злата проращивали на дистиллированной воде или на растворе СК (100 мкМ). Затем проростки переносили в условия гидропоники и выращивали 11 суток в контролируемых условиях среды на питательном растворе Хогланда-Арнона с оптимальным (2 мкМ) или избыточным (1500 мкМ) содержанием цинка.

Установлено, что у растений, выращенных из необработанных СК семян, цинк в изученной концентрации вызывал торможение роста корня и побега, снижение содержания пигментов и устьичной проводимости, а также уменьшение активности карбоангидразы (КА). При этом замедлялась скорость фотосинтеза. Обработка семян СК усиливала отрицательное воздействие избытка цинка на рост растений. Кроме того, наблюдалось более сильное снижение активности КА. Вместе с тем содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов и устьичная проводимость поддерживались на относительно высоком уровне, что способствовало сохранению необходимой скорости ассимиляции CO₂.

Сделан вывод, что обработка семян СК усиливает торможение роста растений, произрастающих при избытке цинка в корнеобитаемой среде, и снижает активность КА. Однако повышение содержания пигментов и увеличение устьичной проводимости обеспечивает более высокий уровень фотосинтеза в этих условиях по сравнению с необработанными растениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания FMEN-2022-0004.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., цинк, фитогормоны, карбоангидраза, фотосинтез.

INFLUENCE OF SEEDS PRIMING BY SALICYLIC ACID ON THE WHEAT PLANTS REACTION AT ZINC EXCESS

Nilova I.A., Ignatenko A.A., Kholoptseva E.S., Kaznina N.M.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia;

Keywords: *Triticum aestivum* L., zinc excess, salicylic acid, photosynthesis, carbonic anhydrase, growth

МЕТАБОЛОМНЫЙ ПРОФИЛЬ ОВСА (*AVENA SATIVA* L.) ПОЗДНЕЛЕТНЕГО ПОСЕВА ПРИ ЗАКАЛИВАНИИ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ КРИОЛИТОЗОНЫ

Нохсоров В.В.^{*}, Слепцов И.В., Петров К.А.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: yv.nokhsorov@mail.ru

Известно, что овес посевной (*Avena sativa* L.) хорошо адаптирована к широкому спектру типов почв и потому, что она может лучше других мелкозернистых злаков расти на маргинальных почвах. Однако овес может быть чувствителен к изменению температуры окружающей среды, таких как жаркая и сухая погода, низкие температуры и засуха. Среди многообразия стрессовых воздействий одним из самых значимых является влияние низких температур, который выступает в качестве основного фактора, определяющего географическое распространение сельскохозяйственных культур на нашей планете. Основываясь на метаболических изменениях овса (*Avena sativa*), позднелетнего посева мы определили ключевые процессы, участвующие в холодоустойчивости. Во время наступления низких температур окружающей среды метаболиты из образцов листьев были профилированы с использованием газовой хроматографии с масс-спектрометрией (GC-MS) и проанализированы с использованием анализа главных компонентов (PCA). В результате метаболомного профилирования листьев *A. sativa* было выявлено 42 компонента, которые были разделены на следующие группы: органические и неорганические кислоты, аминокислоты, жирные кислоты и остатки липидов, полиолы, моносахариды, дисахариды и фенольные соединения. В целом, низкие температуры окружающей среды приводили к увеличению содержания углеводов (моно- и дисахаридов) в листьях овса позднего посева. Делается вывод о том, что поздний посев (в середине вегетационного периода) овса и воздействие на них низких закаливающихся температур подходит для получения сочных кормов с повышенным содержанием сахаров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00043

Ключевые слова: овес, метаболом, низкие температуры, криолитозона, листья

METABOLOMAL PROFILE OF OATS (*AVENA SATIVA* L.) LATE-SUMMER SOWING DURING HARDENING TO LOW TEMPERATURES OF THE CRYOLITHOZONE

Nokhsorov V.V., Slepsov I.V., Petrov K.A.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: oats, metabolome, low temperatures, permafrost, leaves

РОЛЬ ЭФФЕКТОРА SNTOX1 ПАТОГЕННОГО ГРИБА *STAGONOSPORA NODORUM* (BERK.) В РАЗВИТИИ ЭФФЕКТОР-ИНДУЦИРОВАННОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Нужная Т.В.^{1,2*}, Веселова С.В.¹, Максимов И.В.¹

¹ Институт биохимии и генетики - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

² Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия;

*E-mail: tanyawww89@mail.ru

Некротрофные эффекторы (НЭ) – главные факторы вирулентности патогенного гриба *Stagonospora nodorum*, взаимодействуя с соответствующими продуктами генов растения-хозяина манипулируют защитными сигнальными путями растения, что приводит к образованию некрозов и развитию болезни. Однако механизмы, лежащие в основе этих процессов, в настоящее время неясны. В данной работе взаимодействие SnTox1-*Snn1* было изучено у шести сортов мягкой пшеницы различных по чувствительности к НЭ SnTox1 в первые трое суток инфицирования агрессивным изолятом *S. nodorum*, экспрессирующим SnTox1. Показано влияние НЭ SnTox1 на редокс-метаболизм, биосинтез гормонов и их сигнальные пути у растений. Анализ сигнальных систем у восприимчивых сортов показал активацию биосинтеза и сигнального пути салициловой кислоты (СК) (*TaICS*, *TaWRKY13*, *TaWRKY45*, *TaPR1*, *TaPR2*), что, скорее всего, приводило к ингибированию активности каталазы и за счет этого накоплению перекиси водорода, приводящее впоследствии к гибели клеток и развитию некрозов. У устойчивых сортов не обнаружено накопления перекиси водорода на фоне индукции биосинтеза и сигнального пути жасмоновой кислоты (ЖАК) (*TaLOX*, *TaMYC2*, *TaERF1*, *TaPR6*), отсутствия активации СК-сигнального пути и повышения активности каталазы и пероксидазы. Биосинтез и сигнальный путь этилена (*TaACS*, *TaACO*, *TaEIN3*, *TaPR3*) активировался как у устойчивых, так и у восприимчивых сортов, но в разное время и с разной степенью. Таким образом, при развитии устойчивости или восприимчивости к НЭ SnTox1 в растениях индуцировались различные гормональные сигнальные пути.

Ключевые слова: *Stagonospora nodorum*, *Triticum aestivum* L., некротрофные эффекторы, активные формы кислорода, фитогормоны, сигнальные пути.

THE ROLE OF *STAGONOSPORA NODORUM* (BERK.) EFFECTOR SNTOX1 IN THE DEVELOPMENT OF EFFECTOR-INDUCED SUSCEPTIBILITY IN WHEAT PLANTS

Nuzhnaya T.V.^{1,2*}, Veselova S.V.¹, Maksomov I.V.¹

¹ Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia;

Keywords: *Stagonospora nodorum*, *Triticum aestivum* L., necrotrophic effectors, reactive oxygen species, phytohormones, signaling pathways.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КАДМИЯ НА РОСТ РАСТЕНИЙ *LEPIDIUM SATIVUM*

Овсянникова И.В.^{1*}, Курамшина З.М.²

¹ Институт химических технологий и инжиниринга ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Стерлитамаке

² Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВО УУНиТ,
г. Стерлитамак, Республика Башкортостан, Россия

*E-mail: inna.ovsyannikova.80@mail.ru

Изучение последствий загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в настоящее время приобретает особое значение из-за быстрого развития промышленности. Одним из высокотоксичных загрязнителей во всем мире является кадмий (Cd). Он занимает седьмое место в списке 20 самых токсичных металлов и классифицируется как канцероген первой категории. В данной работе рассматривается влияние ионов кадмия на рост и развитие семян кресс-салата следующих сортов: «Забава», «Весенний», «Крупнолистовой», «Данский» и «Ажур». Эксперимент проводили в лабораторных условиях согласно ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013 «Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата (*Lepidium sativum*)». В результате проведенного эксперимента было выявлено, что ионы Cd⁺ при концентрации 4,8 мг/см³ и 2,4 мг/см³, оказывают острое токсическое действие на все сорта кресс-салата, что подтверждается нулевой всхожестью семян. В диапазоне концентраций от 1,2-0,15 мг/см³ всхожесть семян варьировала в пределах 38,9%-91,1% у сортов кресс-салата «Забава», «Крупнолистовой» и «Данский». Семена у сорта «Весенний» взошли, начиная с концентрации 0,6 мг/см³. Длина проростков варьировала в пределах у сорта: «Забава» 4,4-16,8 мм, «Крупнолистовой» 9,1-27,1 мм, «Весенний» 6,9-17,7 мм, «Данский» 5,1-22,8 и «Ажур» 4,3-19,5 мм. Снижение всхожести семян и роста проростков под влиянием кадмия связано с ингибированием митотической активности меристематических клеток, а также изменениями в ферментативной и фотосинтетической системах. Воздействие кадмия в более высоких дозах нарушает водный и минеральный обмен растений и увеличивает количество продуцируемых растениями активных форм кислорода. Полученные результаты свидетельствуют, что ионы кадмия оказывают остротоксичное воздействие на семена кресс-салата, что так же подтверждается положительной достоверной зависимостью содержания ионов кадмия в водном растворе и анализируемыми параметрами (всхожесть семян, % и длина проростков, мм). Наиболее чувствительным сортом является кресс-салат сорта «Весенний». Степень повреждения зависит от концентрации ионов кадмия в водной среде.

Ключевые слова: кресс-салат, кадмий, токсичность, тяжёлые металлы.

INFLUENCE OF CADMIUM IONS ON PLANT GROWTH *LEPIDIUM SATIVUM*

Ovsyannikova I.V.¹, Kuramshina Z.M.²

¹ Institute of Chemical Technology and Engineering of Ufa State Petroleum Technological University

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology», Sterlitamak branch, Sterlitamak, Russia

Keywords: watercress, cadmium, toxicity, heavy metals

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА КАДМИЯ НА МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗНУЮ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНОЙ И ДИКОРАСТУЩЕЙ СОИ ПРИ ПРОРАСТАНИИ

Огурцов И.Б.

ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет»,

Благовещенск, Россия

E-mail: ilya_borisovich.93@mail.ru

Соя – одна из наиболее известных бобовых культур многоцелевого использования в мировом земледелии. Основным сосеящим регионом Российской Федерации является Амурская область. Регион является северным ареалом дикой сои *Glycine soja* Sieb. et Zucc. Важная роль в изучении адаптации растений к неблагоприятным условиям окружающей среды отводится физиолого-биохимическим механизмам. Среди большого числа абиотических стресс-факторов, наибольшую актуальность в настоящее время приобретает токсическое действие тяжелых металлов на растения, которое для сои изучено недостаточно. Анализ влияния сульфата кадмия на удельную активность малатдегидрогеназ проростков культурной и дикой сои показал, что в условиях окислительного стресса, в большинстве случаев происходит увеличение удельной активности фермента в сое. Методом электрофореза для вегетативной массы культурной и дикой сои установлена значительная разница во встречаемости множественных форм малатдегидрогеназ при адаптации к условиям среды. Таким образом, в условиях загрязнения среды сульфатом кадмия в проростках сои происходят существенные изменения удельной активности и множественных форм малатдегидрогеназы. Данные изменения можно рассматривать как защитные механизмы сои.

Ключевые слова: соя, активность, малатдегидрогеназа

THE EFFECT OF CADMIUM SULFATE ON MALATE DEHYDROGENASE ACTIVITY OF CULTIVATED AND WILD SOYBEANS DURING GERMINATION

Ogurtsov I.B.

Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

Keywords: soybean, activity, malate dehydrogenase

РОЛЬ МИКРОДОМЕНОВ ПОГРАНИЧНЫХ МЕМБРАН (ПЛАЗМАЛЕММА, ТОНОПЛАСТ) В ЗАЩИТЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ ОТ ОСМОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ

Озолина Н.В.^{*}, Капустина И.С., Гурина В.В., Спиридонова Е.В.,
Нурминский В.Н.

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

E-mail: ozol@sifibr.irk.ru

В настоящее время общепринятым является мнение о том, что в биологических мембранах присутствует целый ряд липид-белковых микродоменов. Первыми из микродоменов были открыты рафты. Известно, что они принимают активное участие в регуляции многих метаболических процессов. Модификация липидной составляющей рафтов может быть связана с их участием в адаптационных механизмах растительной клетки. Цель данного исследования состояла в изучении изменений происходящих в составе липидов рафтов плазмалеммы и тонопласта при осмотических стрессах для выяснения их возможной роли в защитных механизмах растительной клетки.

В результате проведённых экспериментов показано, что во всех рафтовых микродоменах после осмотических стрессов произошли изменения в составе общих липидов, стерина и жирных кислот, отличающиеся как между разными микродоменами так и при гипо- и гиперосмотических стрессах. Выявленные изменения связаны с участием рафтовых структур в разных защитных механизмах. Один способ защиты связан с увеличением содержания рафтообразующих соединений (стерина, сфинголипиды, насыщенные жирные кислоты) которые будут способствовать образованию новых мембранных контактов обеспечивающих в случае тонопласта процесс аутофагии, а в случае плазмалеммы – взаимодействие с мембранами других органелл. Другой способ защиты связан с увеличением содержания мембранных фосфолипидов и глицеролипидов стабилизирующих бислойную структуры мембран. При изучении гипоосмотического стресса у тонопласта отмечено перераспределение липидов во всех рафтовых микродоменах, в результате которого большая часть липидов оказалась представлена углеводородами.

Полученные результаты показали, что при действии осмотических стрессовых факторов в составе рафтовых микродоменов пограничных мембран происходили изменения, которые способны влиять на функционирование мембран и принимать участие в защите растительной клетки.

Ключевые слова: мембранные липиды, рафты, тонопласт, плазмалемма, осмотический стресс

THE ROLE OF MICRODOMAINS OF THE BOUNDARY MEMBRANES (PLASMALEMMA, TONOPLAST) IN PROTECTING THE PLANT CELL FROM OSMOTIC STRESSES

Ozolina N.V., Kapustina I.S., Gurina V.V., Spiridonova E.V., Nurminsky V.N.
SIFIBR SB RAS, Irkutsk, Russia

Keywords: membrane lipids, rafts, tonoplast, plasmalemma, osmotic stress

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. НА ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ МЕСТООБИТАНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Опекунова М.Г.¹, Гайдыш И.С.², Никулина А.Р.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Объединенная дирекция государственного заповедника «Костомукшский» и национального парка «Калевальский», Костомукша, Россия

*E-mail: m.opekunova@mail.ru

С 2021 г. реализуется совместная программа АО «Карельский окатыш», заповедника «Костомукшский» и кафедры геоэкологии СПбГУ по мониторингу и сохранению биоразнообразия в регионе присутствия комбината. Цель программы: планирование и реализация мер, направленных на предотвращение и сокращение негативного воздействия на состояние биоразнообразия. Исследования проводятся на территории комбината, в санитарно-защитной зоне, г. Костомукша и заповеднике «Костомукшский». В комплекс исследований входит изучение химического состава почв, корки сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., изменение морфологических параметров сосны (состояние пыльцы, хлороз, некроз и возраст хвои, радиальный прирост, наличие суховершинности, сухостоя, фаута) и видового состава, вертикальной и горизонтальной структуры фитоценозов (смена сообществ, появление рудеральных видов). Установлено, что воздействие горнорудного производства сопровождается увеличением в корке сосны содержания Fe, Cr, Ni и V, урбанизации и автотранспорта – Zn, Pb, Cu, Ni, Cd, Fe. Изменение радиального прироста сосны указывает на воздействие как изменения климата, так и антропогенных факторов. Снижение возраста и увеличение класса хлороза хвои отмечается по мере приближения от заповедника к г. Костомукша и ОА «Карельский окатыш». Выявлено 11 типов морфологических нарушений пыльцы сосны: пыльцевые зёрна с редуцированными пыльцевыми мешками, с включениями, одномешковые, двухразномешковые пыльцевые зёрна, трёх- и четырёхмешковые, со сросшимися пыльцевыми мешками, пыльцевые зёрна без содержимого, с нарушениями экзины, гигантские и с редуцированным телом. Доля нарушений варьирует от 9,7-12,4% на фоновых станциях до 12,2-39,5% в импактной зоне. Изменение видового разнообразия сосновых фитоценозов связано, прежде всего, с вырубками различной давности. Вторичные сукцессии сопровождаются инвазией рудеральных и апохорных видов, широко представленных по обочинам грунтовых дорог и распространяющихся на территорию сплошной вырубки.

Ключевые слова: горнорудное производство, изменение климата, состояние пыльцы, хлороз, некроз, возраст хвои, радиальный прирост

BIOLOGICAL RESPONSE OF SCOTT PINE *PINUS SYLVESTRIS* L. TO CHANGES IN HABITAT CONDITIONS UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS

Opekunova M.G.¹, Gaidysh I.S.², Nikulina A.R.¹

¹ St. Petersburg State University", St. Petersburg, Russia

² Nature Reserve "Kostomukshsky" and the National Park "Kalevalsky" Nature Reserve, Kostomuksha, Russia

*E-mail: m.opekunova@mail.ru

Keywords: mining, climate change, pollen status, chlorosis, necrosis, needle age, dendrochronology

КОРНЕВИЩА ВАЛЕРИАНЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ – ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ И ИХ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Орлова А.А.^{1*}, Уэйли А.К.², Уэйли А.О.², Мешалкина Д.А.^{3,4},
Силинская С.А.¹, Сухих С.А.⁵, Бабич О.О.⁵, Фролов А.А.¹

¹ Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

² ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

⁵ ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта», Калининград, Россия

*E-mail: orlova@ifr.moscow

Валериана лекарственная (*Valeriana officinalis* L.) – широко распространенное на территории Российской Федерации лекарственное растение, обладающее мягким фармакологическим эффектом в отношении ряда заболеваний центральной нервной, сердечно-сосудистой и пищеварительной систем. В ходе исследования, направленного на выявление перспективных геропротекторов растительного происхождения, выявлена значимая антинейродегенеративная активность тотального этанольного экстракта валерианы лекарственной и его дихлорметановой фракции на модели дифференцированных клеток нейробластомы SH-SY5Y, подвергнутых окислительному стрессу обработкой паракватом. При проведении глубокого фитохимического анализа дихлорметановой фракции, полученной методом жидкость-жидкостной экстракции из тотального экстракта, было выделено в индивидуальном виде девять природных соединений из группы сесквитерпеноидов, структура которых была установлена методами спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и масс-спектрометрии высокого разрешения (ВР-МС). Глубокий литературный поиск показал, что пять соединений из числа выделенных являются новыми природными соединениями, структуры которых ранее не были описаны. Был установлен профиль антиоксидантной и антинейродегенеративной активности выделенных в индивидуальном виде соединений. Был сделан вывод о возможности использования полученных молекул в качестве перспективных компонентов комплексных лекарственных препаратов и биологически активных добавок геропротекторного действия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение №21-76-10055).

Ключевые слова: валериана лекарственная, *Valeriana officinalis* L., геропротекторы, антинейродегенеративная активность, антиоксидантная активность, сесквитерпеноиды

VALERIANA OFFICINALIS L. RHIZOMES – SECONDARY METABOLITES AND THEIR PHARMACOLOGICAL POTENTIAL

Orlova A.A.¹, Whaley A.K.², Whaley A.O.², Meshalkina D.A.^{3,4}, Silinskaya S.A.¹,
Sukhih S.A.⁵, Babich O.O.⁵, Frolov A.A.¹

¹ Laboratory of analytical biochemistry and biotechnology, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

² Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint-Petersburg, Russia

³ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Institute of Experimental Medicine, Saint-Petersburg, Russia

⁵ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Keywords: *Valeriana officinalis* L., geroprotectors, anti-neurodegenerative activity, antioxidant activity, sesquiterpenoids

ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ СЕМЯН БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРЕПАРАТОМ НА АДАПТАЦИЮ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К АБИОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ

Осипова Л.В.¹, Быковская И.А.^{1*}, Хачатрян Д.С.²

¹ ФГБНУ «Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», Москва, Россия

² НИЦ «Курчатовский институт» Курчатовский комплекс химических исследований (ИРЕА), Москва, Россия

*E-mail: bykovskaya_irina@bk.ru

Поиск веществ, способных снижать негативное воздействие различных абиотических стрессов направлен на повышение устойчивости зерновых культур и продовольственную безопасность.

Для повышения эффективности эндогенных антиоксидантов применяли синтетический аналог природного соединения-ингибитора образования эндокринных опухолей, синтезированного в "Институте химических реактивов и особо чистых химических веществ НИЦ "Курчатовский институт" (в дальнейшем препарат). Изучали действие отдельных модификаций препарата (sf-40, sf-41, sf-45, sf-50) в различных концентрациях (от 0,01 до 1,0). Семена ярового ячменя сорта Знатный обрабатывали растворами модификаций препарата за сутки до посева. В вегетационном опыте определяли размеры поступления меченного азота ($\text{Ca}^{15}\text{NO}_3$)₂) в репарационный период после модельной засухи на VI этапе органогенеза.

Установлено, что изученные модификации препарата в разной степени влияли на ростовые функции, окислительный статус проростков, их устойчивость к осмотическому стрессу, что зависело от концентрации вещества. Наиболее выраженное защитное действие проявилось у препарата в модификации sf-40 при концентрации 0,01.

В почвенной культуре растения, выращенные из обработанных семян (sf-40) на первых этапах развития отличались от контрольных по содержанию МДА и активности синтеза каротиноидов, затем эти различия нивелировались и проявлялись после окончания засухи.

Опытные растения характеризовались повышенной поглотительной активностью корневой системы и меньшей редукцией, заложившихся продуктивных элементов. Таким образом установлено, что предпосевная обработка семян биологическим препаратом меняет физиолого-биохимический статус растений, который на первых этапах органогенеза определяется изученными показателями, дальнейшая преадаптация обусловлена вероятно иными параметрами. Защитная роль препарата в модификации sf-40 подтверждается большей устойчивостью репродуктивной сферы и корневой системы в репарационный период.

Ключевые слова: элиситоры, устойчивость, ячмень

INFLUENCE OF PRETREATMENT OF SEEDS WITH A BIOLOGICAL PREPARATION ON ADAPTATION OF SPRING BARLEY TO ABIOTIC STRESS

Osipova L.V.¹, Bykovskaya I.A.^{1*}, Khachatryan D.C.²

¹ All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

² National Research Center "Kurchatov Institute" Kurchatov Complex of Chemical Research (IREA), Moscow, Russia

*E-mail: bykovskaya_irina@bk.ru

Keywords: elicitors, resistance, barley

РЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ pH И ФОРМЫ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПОСТУПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАДМИЯ И ЦИНКА В КОРНЯХ И НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ АМАРАНТА

Осмоловская Н.Г.^{1*}, Ву В.Д.^{1,2}, Билова Т.Е.¹, Кучаева Л.Н.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Coast Branch - Vietnam Russian Tropical Center, Khanh Hoa, Nha Trang City, Vietnam

*E-mail: natalia_osm@mail.ru

Известно, что аккумуляция тяжелых металлов (ТМ) растениями зависит от многих факторов среды, включая условия минерального питания. В этой связи задачей нашего исследования явилось изучение роли формы источника азота (NO_3^- и NH_4^+) и уровня pH среды в процессах поступления и аккумуляции Cd (90 мкмоль/л) и Zn (300 мкмоль/л) в корнях и надземных органах 6-нед. растений *Amaranthus caudatus* L. в условиях 7 сут экспонирования в водной культуре. Показано, что на фоне pH 5,6 NO_3^- стимулировал поступление Cd и Zn в растения в 1,7 и 1,2 раза относительно NH_4^+ варианта, повышая содержания ТМ во всех органах амаранта. При этом распределение концентраций ТМ на обеих формах N отвечало порядку корень >> стебель > молодой лист > зрелый лист. Варьирование pH (4,5 или 6,8) в среде с NO_3^- выявило неоднозначный характер влияния этого фактора на поступление и распределение ТМ в растениях. В то время как общий приток Cd и Zn усиливался при pH 4,5 в 1,2 и 1,4 раза в сравнении с pH 6,8, уровень аккумуляции Cd (но не Zn) в корнях снижался в 2 раза, а концентрации обоих металлов в надземных органах возрастали в 3-4 (Cd) и 2-6 (Zn) раз, что в отношении Cd означало усиление его оттока из корня в побег с 29% до 77%. Оценивая полученные результаты, можно предположить, что стимуляция поступления Cd^{2+} и Zn^{2+} нитратом может быть обусловлена NO_3^- -индуцируемой гиперполяризацией мембранного потенциала в клетках корня, как механизма управления работой ион-транспортирующих систем, включая транспортеры Cd^{2+} и Zn^{2+} , а также поддержанием их переноса в побег совместно с NO_3^- . Эффект pH, по-видимому, опосредован прежде всего конкуренцией Cd^{2+} (Zn^{2+}) и H^+ при pH 4,5 за отрицательно заряженные сайты клеточной стенки, ограничивающей связывание ионов ТМ в апопласте корня, что способствует усилению их поступления в клетки и переносу по симпласту с загрузкой в ксилему и дальнейшей аккумуляцией в побеге. С учетом интереса к амаранту как объекту фиторемедиации можно предположить, что внесение нитрата на фоне подкисления среды будет способствовать эффективности его использования при этой биотехнологии.

Ключевые слова: pH, нитрат, аммоний, кадмий, цинк, амарант

THE REGULATORY ROLE OF PH AND FORM OF NITROGEN IN THE PROCESSES OF CADMIUM AND ZINC UPTAKE AND DISTRIBUTION IN ROOTS AND SHOOTS OF AMARANTH PLANTS

Osmolovskaya N.G.¹, Vu V.D.^{1,2}, Bilova T.E.¹, Kuchaeva L.N.¹

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

² Coast Branch - Vietnam Russian Tropical Center, Khanh Hoa, Nha Trang City, Vietnam

Keywords: pH, nitrate, ammonium, cadmium, zinc, amaranth

POLYGALA SIBIRICA L. КАК ИСТОЧНИК БАВ

Охлопкова Ж.М.^{1*}, Разгонова М.П.^{2,3}

¹ Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

³ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: zhm.okhlopkova@svfu.ru

Polygala sibirica L. (истод сибирский) – многолетнее горностепное растение рода *Polygala* L. Привлекает интерес как лекарственное растение, используется в традиционной и народной медицине, обладая фармакологической активностью применяется как противовоспалительное, тонизирующее и успокаивающее средство. В Республике Саха (Якутия) *Polygala sibirica* занесен в Красную книгу (2017) по категории «3 в» как редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность. По литературным данным представители рода *Polygala* L. содержат сапонины, тритерпены, ксантоны, флавоноиды, терпеноиды, кумарины, полисахариды и другие группы вторичных метаболитов.

Целью работы является изучение фитохимического профиля надземной фитомассы *Polygala sibirica*, произрастающего в Центральной Якутии. Растительный материал был собран во время экспедиции на территории Хангаласского района в июне 2022 года. С помощью ВЭЖХ-МС/МС и tandemной масс-спектрометрии в надземной фитомассе истода сибирского идентифицировано 74 индивидуальных соединения: 43 соединения полифенольной группы включая флавоны, флавонолы (полигалины, кемпферол, кверцетин, рамнетин, изорамнетин и др.), флаван-3-олы, флаваноны и фенольные кислоты, из них впервые идентифицированы для представителей рода *Polygala* L. 22 полифенола, в т.ч. гербацетин, мирицетин, афзелехин, антоцианы и др.; 31 соединение, относящиеся к другим группам как аминокислоты, жирные кислоты, ксантоны, оксипирины, иридоиды, каротиноиды, сапонины и тритерпены, из них 21 соединение идентифицировано впервые для представителей рода *Polygala* L. включая тирозин, триптофан, линоленовую кислоту, сеспендол и др.

Таким образом, истод сибирский, произрастающий на территории Центральной Якутии, содержит уникальный комплекс полифенольных соединений и другие группы соединений. Планируется выполнить сравнительный анализ фитохимического профиля микроклонов объекта исследования, полученных на основе каллусной культуры клеток.

Исследование выполнено в СВФУ за счет гранта РФФИ №22-14-20031, <https://rscf.ru/en/project/22-14-20031>.

Ключевые слова: *Polygala sibirica* L., надземная фитомасса, ВЭЖХ-МС, tandemная масс-спектрометрия, вторичные метаболиты, Центральная Якутия

POLYGALA SIBIRICA L. AS A SOURCE OF BAS

Okhlopkova Z.M.¹, Razgonova M.P.^{2,3}

¹ North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

³ Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

Keywords: *Polygala sibirica* L., aboveground phytomass, HPLC-MS, tandem mass spectrometry, secondary metabolites, Central Yakutia

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ СУММЫ БИОФЛАВОНОИДОВ ГРЕЧИХИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ

Павловская Н.Е., Гнеушева И.А. *, Горькова И.В., Попова А.Ю.,
Гагарина И.Н.

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,
г. Орел, Россия

*E-mail: ia.gneusheva@list.ru

В связи с растущим населением мира и климатическими катаклизмами современное сельское хозяйство должно становиться более эффективным за счет увеличения объемов продовольствия и разработок экологически безопасных способов выращивания сельскохозяйственных культур. Перспективным является применение новых средств, стимулирующих рост растений, на основе природных компонентов. Целью данной работы является доказательство эффективности воздействия на сельскохозяйственные растения экстракта суммы биофлавоноидов, выделенного из вегетативной части гречихи посевной, его синергетической результативности по сравнению с применением отдельных компонентов экстракта. В работе исследовали влияние компонентов суммы биофлавоноидов гречихи: рутина, кверцетина, хлорогеновой кислоты и экстракта биофлавоноидов на рост и развитие проростков гороха, ярового ячменя, яровой пшеницы, картофеля, а также их фунгитоксическое действие на возбудителя корневых гнилей *Fusarium oxysporum*. Установлено, что отдельные компоненты экстракта суммы биофлавоноидов положительно влияют на рост корней и проростков всех исследованных сельскохозяйственных культур. В исследовании показано, что экстракт суммы биофлавоноидов гречихи значительно эффективней отдельных компонентов экстракта, особенно на культуре гороха, длины проростков и корней которых более, чем в 5 раз превышают контрольные образцы и в 2-2,5 раза образцы, обработанные отдельными компонентами экстракта. На зерновых культурах положительный эффект влияния экстракта суммы биофлавоноидов на корешки и проростки составил менее выраженный эффект (в 1.5-1,8 раз больше по сравнению с контролем). На картофеле отдельные компоненты экстракта суммы биофлавоноидов оказались менее эффективными, чем их сумма. Установлено, что рутин и хлорогеновая кислота не обладают фунгитоксической активностью в отношении фитопатогена *Fusarium oxysporum*, кверцетин - слабой, а сумма биофлавоноидов - средней фунгитоксичностью. Таким образом, комплексный эффект применения экстракта суммы биофлавоноидов гречихи посевной основан на синергизме действия содержащихся в нем флавоноидов, оказывая регулирующее действие на рост и развитие растений сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: сумма биофлавоноидов, компоненты, сельскохозяйственные культуры, гречиха, синергетический эффект

SYNERGETIC EFFECT OF THE INFLUENCE OF THE TOTAL BUCKWHEAT BIOFLAVONOIDS ON AGRICULTURAL PLANTS

Pavlovskaya N.E., Gneusheva I.A. *, Gorkova I.V., Popova A.Yu., Gagarina I.N.

FSBEI HE Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina, Orel, Russia

*E-mail: ia.gneusheva@list.ru

Keywords: sum of bioflavonoids, components, agricultural crops, buckwheat, synergetic effect

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СОЗДАНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ГЕНОТИПОВ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Панфилова О.В.^{1*}, Kahramanoglu I.², Okatan V.³, Ряго Н.В.¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, Россия

² Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, European University of Lefke, Gemikonagi, Northern Cyprus, via Mersin 10, 99780, Turkey

³ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey;

*E-mail: us@vniispk.ru

Климатические аномалии являются главными причинами снижения адаптивности и урожайности плодовых культур. Актуальным является выбор устойчивых генотипов в зонах выращивания. На базе УНУ «Биоресурсная коллекция» ВНИИСПК получен и изучен новый гибридный материал смородины красной. Генотипы, полученные на основе сортов ‘Jonkheer van Tets’ и ‘Chulkovskaya’, проявили высокую адаптивность к абиотическим стрессорам. Быстрое восстановление гидратации красной смородины в течение вегетационного периода обеспечивает оптимальную урожайность и формирование генеративных почек для получения урожая следующего года. Методом корреляционного анализа выявлена зависимость урожайности от начала дифференциации цветочных почек. Снижение урожайности в течение вегетационного периода определяется возрастом куста, сроками созревания и влажностью почвы. Резкие колебания весенних температур приводят к асинхронному цветению, низкому проценту цветения и опыления, задержке вегетативного развития и нарушению завязывания плодов. Поздние периоды цветения красной смородины позволяют избежать аномально низких температур и сохранить генеративные почки и урожайность. Максимальное содержание связанной воды в побегах и высокая влагоудерживающая способность минимизируют повреждение побегов, генеративных и вегетативных почек отрицательными температурами в период покоя и обеспечивают оптимальное функционирование и развитие растений в течение вегетационного периода. Получен генотип 44-5-2 («Подарок Победителям»), обладающий широким спектром морфологических и физиологических адаптивных признаков.

Ключевые слова: биоресурсная коллекция, красная смородина, сорт, отборные формы, адаптивно-значимые признаки, кластерный анализ.

PHYSIOLOGICAL METHODS IN THE CREATION OF COMPETITIVE GENOTYPES OF BERRY CROPS

Panfilova O.¹, Kahramanoglu I.², Okatan V.³, Ryago N.¹

¹ Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), Zhilina, Orel District, 302530 Orel Region, Russia

² Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, European University of Lefke, Gemikonagi, Northern Cyprus, via Mersin 10, 99780, Turkey

³ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey

Keywords: bioresource collection, red currant, variety, selected forms, adaptive-significant features, cluster analysis

ВЛИЯНИЕ ИНТЕГРАЛА СУТОЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС РУККОЛЫ (*ERUCA SATIVA MILL*)

Панфилова О.Ф.*, Коковьякина Л.Д., Тараканов И.Г.

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия

*E-mail: panfilova.of@yandex.ru

Фенотипирование растений предполагает изучение регуляции морфогенеза и процессов жизнедеятельности в различных условиях. Для овощных культур защищенного грунта особое значение имеет световой режим. Исследование проведено в Лаборатории искусственного климата РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с использованием светодиодных установок. Изучали влияние интеграла суточной радиации (ИСР) и соотношения красного и дальнего красного света в спектре оптического излучения на рост и развитие растений зеленой культуры рукколы сорта Изумрудная. Разные значения ИСР обеспечивали варьированием фотопериода (ФП) и плотности потока фотонов (ППФ). Растения выращивали на фотопериодах 6, 12 и 18 ч с ППФ 146, 220, и 440 мкмоль /м²·с. Результаты опыта показали, что увеличение интеграла суточной радиации до 19 моль/м²·сут в варианте ФП 12 ч и ППФ 440 мкмоль /м²·с приводит к возрастанию количества листьев в розетке, более высокой чистой продуктивности фотосинтеза и эффективности водопотребления. При одинаковых уровнях ИСР 9 моль/м²·сут ФП 18 ч значительно ускорял развитие растений и переход их к бутонизации, тем самым в 2 раза снижая количество листьев в розетке и продуктивность. При ИСР 9 моль/м²·сут наиболее эффективным для оптимизации продукционного процесса является вариант ФП 12 ч и ППФ 220 мкмоль/м²·с, в котором высокая ЧПФ сочеталась со значительным накоплением в биомассе каротиноидов. В опытах с освещением красным (К₆₆₀) или дальним красным (ДК₇₃₀) светом и перестановкой растений регуляторное действие ДК₇₃₀ проявилось в уменьшении количества дней от всходов до бутонизации и цветения. В отсутствие ДК₇₃₀ формирование листовой поверхности происходило в основном в розетке. Перенос растений с К₆₆₀ на ДК₇₃₀ способствовал увеличению накопления сырой и сухой массы растений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Ключевые слова: руккола, интеграл суточной радиации, плотность потока фотонов, фотопериод, фотоморфогенез, продукционный процесс.

INFLUENCE OF THE INTEGRAL OF DAILY RADIATION ON THE PRODUCTION PROCESS OF ARUGULA (*ERUCA SATIVA MILL*)

Panfilova O.F., Kokovyakina L.D., Tarakanov I.G.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University-MSHA named after K.A. Timiryazev», Moscow, Russia

Keywords: arugula, daily radiation integral, photon flux density, photoperiod, photomorphogenesis, production process.

ЗЕЛЕНАЯ МИКРОВОДОРОСЛЬ COELASTRELLA SP. КАК ПРОДУЦЕНТ КАРОТИНОИДОВ

Паршуков В.С.¹, Андреева А.В.², Дымова О.В.^{1*}

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

² Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,
Сыктывкар, Россия;

*E-mail: dymovao@ib.komisc.ru

Микроводоросли (МВ) представляют большой интерес из-за содержания различных биологически активных веществ (БАВ), в том числе каротиноидов (Кар). Род *Coelastrella* принадлежит порядку Scenedesmales, особенностью которого является наличие у видов генетически обусловленного признака – способность к вторичному каротиногенезу. Так, *Coelastrella rubescens* относится к группе экстремобионтных одноклеточных эукариот, способных при неблагоприятных условиях переходить из вегетативного состояния в стадию покоя и накапливать в образующихся апланоспорах коммерчески значимое количество (1-2% сухой массы) защитных Кар – продуктов многостадийного ферментативного окисления β-каротина (β-кар) в астаксантин. Для исследований нами был использован штамм *Coelastrella sp.*, выделенный в 2016 г. из почвы пятнистой кустарниково-лишайниковой тундры (Северный Урал). Ныне в ИБ Коми НЦ УрО РАН проводится молекулярно-генетический анализ этого штамма для описания нового вида. Клетки МВ культивировали в лабораторной колбе с аэрированием на среде Прата (MgSO₄*7H₂O, KNO₃, K₂HPO₄*3H₂O, FeCl₃*6H₂O). Интенсивность света 65 мкмоль фотонов/(м² с) с круглосуточным освещением. Изучение проводили во время экспоненциальной фазы роста (15 суток культивирования). Клетки МВ отмывали от среды дистиллированной водой, осаждали центрифугированием (4000 об/мин, 10 мин), удаляли надосадочную жидкость, замораживали жидким азотом для хроматографического анализа пигментов. Хлорофиллы (Хл) участвуют в поглощении световой энергии для фотосинтеза, высокая интенсивность которого способствует увеличению биомассы клеток при благоприятных условиях. Установлено, что в экспоненциальной (“зеленой”) фазе роста концентрация Хл достигала 16.1 мг/г или 1.6%. Полученные нами результаты по количеству Хл сопоставимы с данными из литературы по штаммам *C. multistriata* (MZ–Ch23), *C. striolata* var. *multistriata*. Клетки *Coelastrella* накапливали 0.4–0.5% сухой массы Кар; среди которых β-кар и ксантофиллы (неоксантин, лютеин, виолаксантин, антраксантин и зеаксантин). В ходе дальнейших исследований штамм *Coelastrella* SYKOA Ch-072-17 может быть интересен как источник для получения БАВ.

Финансирование – из средств федерального бюджета (№№122040600021-4)

Ключевые слова: *Coelastrella* – каротиноиды

GREEN MICROALGAE COELASTRELLA SP AS PRODUCER OF CAROTENOIDS

Parshukov V.S.¹, Andreeva A.V.², Dymova O.V.^{1*}

¹ Institute of Biology, Komi Science Centre, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

² Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia;

*E-mail: dymovao@ib.komisc.ru

Keywords: *Coelastrella* – carotenoids

***PARMENA PONTOCIRCASSICA* - ВРЕДИТЕЛЬ СТВОЛОВ И ВЕТВЕЙ ОЛЕАНДРА ОБЫКНОВЕННОГО В ПАРКЕ «ДЕНДРАРИЙ» Г. СОЧИ**

Пастухова И.С.

ФГБУ "Сочинский национальный парк", Сочи, Россия

E-mail: pastuhovairyna@yandex.ru

В парке «Дендрарий» в июне 2022 г. на растениях олеандра обыкновенного и его сортов возраста 90 и более лет, отмечено усыхание отдельных ветвей и стволов, вызванное видом жуков-ламинин из семейства усачей (Cerambycidae) - *Parmena pontocircassica*. Вид, распространенный в Крыму, на Кавказе и в Закавказье, ранее был описан в Краснодарском крае, Данилевским, Мирошниковы, 1985 г. Изреженность и усыхание кроны растений олеандра, вызванное *Parmena pontocircassica*, начинается с вершины или происходит отдельными ветвями. Листва теряет зелёный цвет (первый симптом), затем становится светло-коричневой и усыхает. После вылета жуков остаются округлые, до 2–3 мм в диаметре лётные отверстия в коре ветвей и стволов. Личинки развиваются под недавно отмершей корой в древесине тонких ветвей. Ход извилистый, иногда с расширениями и отрогами, весь забит буровой мукой. Окукливание происходит часто в заболони. Зимует куколка или имаго в куколочной колыбельке. Жук длиной от 5 до 7,5 мм. Генерация 1-2 летняя. Имаго встречается весь год, но наиболее активны в мае-июне. Заселяет живые и ослабленные деревья. Надзор за стволовыми вредителями имеет комплексный характер: наряду с вредными насекомыми обязательно учитывается причина ослабления насаждений и возникновения очага; с учетом первопричины ослабления насаждений намечаются и осуществляются санитарно-оздоровительные и специальные защитные меры. Из числа активных мероприятий по борьбе со стволовыми вредителями в городских насаждениях применяются: обрезка сухих ветвей с захватом 20 см. здоровой части. Для предотвращения заселения стволовыми вредителями, требуется обработка крон стволов и ветвей с последней декады апреля до конца июня с интервалом 2 недели с применением инсектицидов (Клипер, Семпай, Фуфанон).

Ключевые слова: парк, олеандр, ветви, ствол, личинки, жуки

***PARMENA PONTOCIRCASSICA* - PEST OF TRUNKS AND BRANCHES OF *NERIUM OLEANDER* L. IN THE ARBORETUM PARK IN SOCHI**

Pastukhova I.S.

FGBU "Sochi National Park", Sochi, Russia

Keywords: park, *Nerium oleander* L., branches, trunk, larvae, beetles

ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ ЗАПАДНОГО САЯНА

Пахарькова Н.В.*, Гетте И.Г., Масенцова И.В.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

*E-mail: npakharkova@sfu-kras.ru

В условиях изменения климата у многих видов хвойных деревьев, являющихся основными лесообразователями лесов Западной и Восточной Сибири, происходят сдвиги как широтных, так и высотных границ ареала. Сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour) является одной из важнейших хвойных пород, как в хозяйственном отношении, так и с точки зрения ее экосистемных функций. В пределах любой популяции присутствуют особи, более устойчивые к различным стресс-факторам. Целью данного исследования являлась оценка внутрипопуляционной изменчивости экофизиологических признаков деревьев сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна и поиск маркеров для определения экземпляров, наиболее устойчивых к действию неблагоприятных факторов. К таким факторам можно отнести зимние оттепели, вызывающие раннее возобновление фотосинтетической активности и транспирации, иссушение хвои и снижение морозостойкости; а также участвовавшие продолжительные засухи в летний период. В качестве объектов исследования были взяты молодые деревья сосны сибирской, произрастающие на разной высоте над уровнем моря. На территории природного парка «Ергаки» была заложена трансекта, пересекающая верхнюю границу леса при переходе от горно-таежного к гольцово-тундровому поясу. Для определения параметров флуоресценции хлорофилла использовали хвою второго года жизни, измерения были проведены на флуориметрах Junior PAM и IMAGING-PAM M-Series MAXI Version (HeinzWalzGmbH, Германия) в режиме записи световой кривой. Выявлено, что экземпляры *Pinus sibirica*, распространившиеся выше границы леса, обладают рядом экофизиологических особенностей, позволяющих им выживать в достаточно суровых условиях. К таким особенностям можно отнести большую глубину зимнего покоя, когда деревья, находящиеся в фазе вынужденного покоя, медленнее реагируют на повышение температуры, по сравнению с произрастающими в лесном фитоценозе ниже по склону, а также меньшую зависимость интенсивности фотосинтеза от влажности почвы.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 23-24-00251 «Внутрипопуляционная изменчивость экофизиологических признаков деревьев сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в условиях изменения климата»

Ключевые слова: *Pinus sibirica*, верхняя граница леса, флуоресценция.

INTRAPOPULATION VARIABILITY OF ECOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF SIBERIAN PINE TREES IN THE CONDITIONS OF THE HIGH-ALTITUDE ZONE OF THE WESTERN SAYAN

Pakharkova N.V.*, Gette I.G., Masentsova I.V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: npakharkova@sfu-kras.ru

Keywords: *Pinus sibirica*, timberline, fluorescence.

САЙТ-СПЕЦИФИЧЕСКОЕ ВСТРАИВАНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ГЕНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАСТЕНИЙ-ПРОДУЦЕНТОВ РЕКОМБИНАНТНЫХ БЕЛКОВ

Пермякова Н.В. *, Белавин П. А., Маренкова Т.В., Загорская А.А.,
Сидорчук Ю.В., Уварова Е.А., Кузнецов В.В., Дейнеко Е.В.

ФГБНУ ФИЦ Институт Цитологии и Генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*E-mail: puh@bionet.nsc.ru

Синтез рекомбинантных белков в растительных системах экспрессии, в частности, в культурах клеток высших растений привлекает все больше внимания, так как позволяет сочетать преимущества эукариотических и прокариотических систем экспрессии. Тем не менее они также имеют ряд недостатков, связанных с посттрансляционными модификациями белков, нежелательными вторичными метаболитами, а также недостаточно высоким выходом рекомбинантных белков.

Мы предлагаем новый подход повышения уровня экспрессии и выхода рекомбинантных белков, предполагающий сайт-специфическое встраивание целевых генов в районы генома, характеризующиеся высокой транскрипционной активностью, с применением методов геномного редактирования. В ходе выполнения работы на суспензионных клетках и целых растениях *A. thaliana*, были отработаны способы доставки в клетки конструкций для редактирования (биобаллистика, агробактериальная трансформация). Экспериментальным путем был подобран оптимальный состав конструкции для knock-in. Было показано, для успешного встраивания целевые гены должны быть окружены участками гомологичными целевому району, и сайтами узнавания эндонуклеазы Cas9. Детальное исследование мест соединения трансгенной и растительной ДНК показало наличие делеций и дупликаций векторной ДНК, возникающих при встраивании. С применением созданных конструкций методом биобаллистической трансформации были получены клеточные линии *A. thaliana* с генами *dIFN*, кодирующим гамма интерферон человека, и геном *gfp*, доставленными в район гистонового гена НЗ.3. Проведена оценка накопления целевых белков методом ИФА. В одной из моноклональных линий уровень накопления целевого белка превышал 2% от ОРБ. Анализ экспрессии генов *A. thaliana*, окружающих сайт встраивания, в моноклональных клеточных линиях с knock-in, показал, что уровень экспрессии хозяйских генов не изменился.

Работа поддержана проектом РНФ 21-14-00091.

Ключевые слова: суспензионные культуры, редактирование, нокин, рекомбинантные белки

SITE-SPECIFIC INTEGRATION OF TARGET GENES FOR CREATION OF PLANTS PRODUCERS OF RECOMBINANT PROTEINS

Permyakova N.V., Belavin P.A., Marenkova T.V., Zagorskaya A.A.,
Sidorchuk Yu.V., Uvarova E.A., Kuznetsov V.V., Deineko E.V.

Institute of Cytology and Genetics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk,
Russia

Keywords: suspension culture, gene editing, knock-in, recombinant proteins

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ПОЧВОУТОМЛЕНИИ

Петренко С.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, Россия,
E-mail: petrik5625@yandex.com

Одним из важных факторов увеличения продовольственных ресурсов является интенсификация сельскохозяйственного производства. Осуществление мероприятий по специализации и концентрации производства обязывает по-новому подходить к построению севооборотов, изыскивать возможности максимального насыщения их ведущими культурами в первую очередь в хозяйствах зоны промышленного выращивания. Однако, развитие специализации в растениеводстве наряду с другими факторами сдерживается невозможностью бесменного выращивания большинства сельскохозяйственных культур, так как возникающие при этом утомление и токсикоз почвы отрицательно сказываются на их продуктивности. Сахарная свекла отрицательно реагирует на повторное возделывание на одной и той же площади или при насыщении ею севооборота более 20%. Объектом исследования была взята сахарная свекла – с. Белоцерковский односемянный 45 при бесменном и севооборотном выращивании и выяснение причин почвоутомления, возрастающего при насыщении севооборотов. Обнаружено, что снижение урожайности и сахаристости корнеплодов сахарной свеклы при бесменном выращивании сопряжено с уменьшением соотношения хлорофилла «а» и «б» в листьях растений. Исследования молекулярной активности ферментов оксидоредуктаз показали, что на протяжении всего вегетационного периода в листьях сахарной свеклы выращиваемой бесменно активность пероксидазы была ниже в 1,4-1,7, а полифенолоксидазы в 1,2 – 1,6 раз выше, чем в растениях выращиваемых в севообороте. Низкая активность фермента пероксидазы прямо коррелировала с продуктивностью и качеством урожая сахарной свеклы, коэффициент корреляции составил, соответственно – $r = 0,78 \pm 0,12$ и $0,73 \pm 0,09$. Установлено, что при интенсивном насыщении севооборотов сахарной свеклы происходит нарушение баланса макро- и микроэлементов в почве, что отрицательно сказывается при поступлении и передвижении их в растения. Показано, что корреляция между биомассой растений и содержанием хлорофилла «а», сахаристостью корнеплодов и активностью пероксидазы, биомассой растений может быть положена в основу прогнозирования качества урожая сахарной свеклы. Анализ свободной фракции фенольных соединений методом ВЭЖХ показал на присутствие следовых количеств фенолкарбоновых кислот. Поэтому можно предположить, что особенностью метаболизма фенольных веществ у сахарной свеклы является наличие фенолкарбоновых кислот в связанной форме.

Ключевые слова: сахарная свекла, монокультура, хлорофилл, ферменты.

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL FEATURES OF SUGAR BEET DURING SOIL FATIGUE

Petrenko S.V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lugansk State Pedagogical University", Lugansk, Russia,
E-mail: petrik5625@yandex.com

Keywords: sugar beet, monoculture, chlorophyll, enzymes.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ОРГАНИЗМАМИ В АГРО- И БИОЦЕНОЗАХ ЯКУТИИ

Петров К.А. *, Нохсоров В.В.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: kap_75@bk.ru

В Якутии (площадь – 3,1 млн км²) – общепризнанном материковом Полусе холода северного полушария, в условиях многолетней мерзлоты (криолитозоны) произрастают и обитают тысячи разных видов высших сосудистых растений и травоядных животных. Экстремально низкие температуры зимой (в Верхоянье до -68 °С) и весьма высокие температуры летом (до +38 °С), приводящие к дефициту влаги в воздухе и почве, характеризуют резко континентальный климат региона.

Специфика сезонного роста и развития основной массы растительности криолитозоны Якутии заключается в том, что она интенсивно развивается в первой половине лета, чтобы успеть пройти полный цикл вегетации и дать полноценные семена. Злаково-осоковые избыточно-увлажненные и заболоченные агрофитоценозы Якутского, Яно-Индибирского флористического районов Якутии подвергаются ежегодно длительному заливанию паводковыми водами. Вегетация растений в таких условиях начинается поздно, что ограничивает, порой полностью исключает прохождение растениями всего цикла роста и развития.

Вместе с тем осенью в Якутии складываются самые благоприятные погодные условия для повышения термоустойчивости осенневегетирующих травянистых и вступивших в фазу покоя древесных растений. Метаболомный анализ листьев овса посевного, используемого нами в качестве модельного объекта исследования показал, что именно в период холодового закаливания наблюдалось значительное повышение содержания углеводов.

Столь же уникальными свойствами – способностью к быстрой наживровке, неприхотливостью и выносливостью к резко меняющимся природно-климатическим условиям, обладают животные биоценоза, питающиеся осенневегетирующими растениями. Начиная с августа месяца животные на жирных агрофитоценозах уже к началу октября приобретают упитанность; тело их сплошь покрывается подкожным жиром.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00043

Ключевые слова: агрофитоценозы, криолитозона, растения, животные, наживровка

INTERACTION BETWEEN ORGANISMS IN AGRO- AND BIOCENOSSES OF YAKUTIA

Petrov K.A. *, Nokhsorov V.V.

Institute for Biological Problems of Permafrost SB RAS, Yakutsk, Russia

*E-mail: kap_75@bk.ru

Keywords: agrophytocenoses, cryolithozone, plants, animals, fattening

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ С ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ГЕНЕТИЧЕСКИ-КОДИРУЕМЫМИ СЕНСОРАМИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДЕЙСТВИЯ СТРЕССОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Печёрина А.А.*, Агеева М.Н., Занегина Д.А., Димитриева А.А.,
Гринберг М.А., Ладейнова М.Н., Брилкина А.А., Воденев В.А.

Нижегородский государственный университет им Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия

*E-mail: pechyorinaa@gmail.com

Изучение механизмов действия различных стрессоров на растения затрагивает тему активации и работы сигнальных систем, главным образом, систем Ca^{2+} , АФК и рН. Цель данной работы – анализировать возможности использования различных модельных растений с различными сенсорами (рН-чувствительный Pt-GFP, Ca^{2+} -чувствительный Case12) в исследования действия различных стрессоров.

Растения с сенсорами были созданы с помощью агробактериальной трансформации табака с. Samsun и картофеля с. Невский. Исследовали влияние абиотических и биотических стрессоров. Для регистрации флуоресценции сенсоров использовали метод полномасштабного флуоресцентного имиджинга. Также оценивали активность фотосинтеза методом РАМ-флуориметрии, активность транспирации с помощью метода термометрии, электрические потенциалы с помощью макроэлектродов.

Ожог листа вызывал распространение Ca^{2+} - и рН-волны в нераздражаемые области, а также распространение переменного потенциала. Нагревание или охлаждение всего листа приводило сначала к защелачиванию (защелачиванию), а затем к закислению (защелачиванию). Все эти изменения рН связаны с работой H^+ -АТФаз.

Поедание листа личинкой колорадского жука вызывало минимальные изменения цитозольного рН и мощные изменения электрического потенциала, чего не происходило при механическом воздействии.

Засоление приводило к снижению транспирации и рН листьев и повышению NPQ до начала накопления Na^+ и Cl^- , что могло произойти из-за передаваемого из корня в побег сигнала. Изменения рН были связаны с Na^+ без вовлечения сигналинга Ca^{2+} , в то время как изменения параметров фотосинтеза в начале засоления связаны с его осмотическим стрессом и передачей сигнала посредством Ca^{2+} .

Полученные результаты продемонстрировали высокую эффективность созданных модельных объектов в изучении ответных реакций растений на действие различных стрессоров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-14-00388).

Ключевые слова: модельные растения, флуоресцентные сенсоры, табак, картофель, засоление, температурный стресс

USAGE OF MODEL PLANTS WITH GENETICALLY ENCODED FLUORESCENT SENSORS IN RESEARCH OF DIFFERENT STRESSORS INFLUENCES

Pecherina A.A., Ageyeva M.N., Zanegina D.A., Dimitrieva A.A., Grinberg M.A.,
Ladeynova M.M., Brilkina A.A., Vodenev V.A.

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: model plants, fluorescent sensors, tobacco, potato, salinity, temperature stress

ФОРМИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ КОРНЯ У ПРОРОСТКОВ САЛАТА ПОСЕВНОГО *LACTUCA SATIVA* L. ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НЕЙТРОНАМИ В БОЛЬШИХ ДОЗАХ

Платова Н.Г. *, Шуршаков В.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: nataliaspl@inbox.ru

Реакцию на стрессовое воздействие можно оценить по ростовым параметрам проростка и частоте aberrантных клеток в первом митозе корневой меристемы. Семена салата *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый облучали быстрыми нейтронами со средней энергией 1,6 МэВ и мощностью дозы 14,2 мГр/с на биологическом оборудовании Будапештского исследовательского реактора в дозах 1, 10, 25 и 50 Гр. Семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой. Проростки фиксировали ацеталкоголем, окрашивали орцеином и использовали для дальнейшего ана-телофазного цитогенетического анализа. Облучение в дозах 25 и 50 Гр приводило к задержке начала прорастания семян салата, при этом лабораторная всхожесть оставалась на уровне контроля. Появившиеся при прорастании корешки внешне не отличались от контрольных. При цитогенетическом анализе наблюдались единичные делящиеся клетки, и процент клеток с хромосомными aberrациями составил $52,70 \pm 5,80$ и $65,45 \pm 6,41$ для проростков, полученных из семян, облученных в дозах 25 и 50 Гр соответственно. Такой уровень aberrантных клеток приводит к гибели корневой меристемы. К 4 суткам после замачивания проростки, полученные из семян, облученных в дозах 25 и 50 Гр, формировали утолщенный укороченный цилиндрический корень. Тогда как проростки, полученные из необлученных и облученных в меньших дозах семян, имели длинный тонкий корень. Что говорит о возможном нарушении процессов растяжения клеток в длину. При облучении семян салата дейтронами с энергией 15,3 МэВ при близкой частоте клеток с хромосомными aberrациями в корневой меристеме такого изменения корня не наблюдалось. У облученных нейтронами семян эффект утолщенного и укороченного корня у проростков сохранялся и после 9 лет хранения семян при температуре 4°C. На 8 сутки длина таких корней была на 84-90% меньше корней проростков, полученных из необлученных семян, длина гипокотила была снижена на 34-28%. На 10 сутки отмечалось образование тонких боковых корней у 48% проростков, полученных из семян, облученных в дозе 25 Гр, при отсутствии таких корней у проростков, полученных из семян, облученных в дозе 50 Гр. Облучение семян салата нейтронами с энергией 1,6 МэВ в дозах 25 и 50 Гр приводит к формированию утолщенного укороченного корня у проростков, что говорит о высокой биологической эффективности нейтронов и серьезном повреждающем воздействии.

Ключевые слова: облучение нейтронами, рост корня, *Lactuca sativa*, семена салата, хромосомные aberrации

DEVELOPMENT OF MORPHOLOGICAL CHANGES OF LETTUCE (*LACTUCA SATIVA* L.) SEEDLING ROOT AFTER HIGH-DOSE NEUTRON IRRADIATION OF SEEDS

Platova N.G., Shurshakov V.A.

The Russian Federation State Research Center – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: neutron irradiation, root growth, *Lactuca sativa*, lettuce seeds, chromosomal aberration

СОСТОЯНИЕ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ У РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ

Плотников А.А.* , Сафина И.И., Аллагулова Ч.Р., Юлдашев Р.А.,
Авальбаев А.М.

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: plotnikow87@mail.ru

Засуха относится к повреждающим факторам среды, существенно тормозящим рост и продуктивность культурных растений, в том числе и пшеницы. В ходе естественного и искусственного отборов у пшеницы сформировались две различающиеся по стратегии адаптации к засухе группы – степной волжский и лесостепной западносибирский экотипы, которые в нашем исследовании представлены сортами Зауральская Жемчужина (ЗЖ) и Экада 70 (Э-70) соответственно. На начальных этапах онтогенеза для растений степного волжского экотипа характерен активный рост и засухоустойчивость в отличие от представителей западносибирского экотипа, которые отличаются замедленным ростом и менее устойчивы. Известно, что в результате воздействия засухи в растениях развивается окислительный стресс, возникающий вследствие избыточной генерации активных форм кислорода (АФК). Нами был проведен анализ состояния про/антиоксидантной системы у растений сортов ЗЖ и Э-70 на начальном этапе их онтогенеза в условиях засухи. Засуха приводила к существенной генерации супероксид радикала и перекиси водорода и последующей усиленной активации антиоксидантных ферментов у обоих экотипов. При этом дисбаланс между АФК и активностью антиоксидантных ферментов в сторону преимущественного накопления АФК был более выражен у представителя лесостепного западносибирского экотипа. В то же время проростки Э-70 характеризовались существенно меньшим уровнем стресс-индуцированного накопления малонового диальдегида (МДА) и экзоосмоса электролитов, что свидетельствует о том, что растения Э-70 в отличие от ЗЖ испытывали меньший стресс. Таким образом, на начальном этапе онтогенеза проростки пшеницы степного волжского экотипа более устойчивы к вызываемому засухой окислительному стрессу в сравнении с растениями лесостепного западно-сибирского экотипа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00246, <https://rscf.ru/project/23-26-00246/>

Ключевые слова: пшеница, экотипы, засуха, активные формы кислорода, антиоксидантная система

ANALYSIS OF THE PRO-/ANTIOXIDANT SYSTEM OF WHEAT ECOTYPES DIFFERING BY DROUGHT ADAPTATION STRATEGIES

Plotnikov A.A., Safina I.I., Allagulova Ch.R., Yuldashev R.A., Avalbaev A.M.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: wheat, ecotypes, drought, reactive oxygen species, antioxidant system

ИНТЕРНАЛИЗАЦИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ФОСФОЛИПИДОВ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ И УЧАСТИЕ АКТИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА

Пожванов Г.А.^{1,2*}, Сенник С.В.¹, Котлова Е.Р.¹

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

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: pozhvanov@binran.ru

Высшие растения – фотоавтотрофные организмы, синтезирующие все органические вещества, необходимые для построения клеток – в т.ч. и мембранные липиды, – из неорганических предшественников. Соотношение молекулярных видов мембранных липидов и их перенос через эндо- и экзомембраны зависит от активности белков флиппаз, среди которых флиппаза ALA10, как известно на данный момент, позволяет корням растений поглощать (интернализировать) фосфолипиды из внешней среды.

Флуоресцентно-меченый синтетический липид 18:1–06:0 NBD PC (NBD-PC) позволяет визуализировать и оценить интернализацию экзогенных фосфолипидов в клетки растений методом конфокальной микроскопии. С помощью данной модели мы оценили паттерн поглощения фосфолипидов у представителей филогенетически удалённых групп: зелёные мхи, печёночники, папоротникообразные, голосеменные, покрытосеменные. Физиологически активные клетки ризодермы, ризоиды активно поглощают NBD-PC. У высших растений (арабидопсис) метка зачастую проникает глубже 2 слоёв коры корня. Этот процесс, по-видимому, проходит при участии актинового цитоскелета, поскольку ингибируется цитохалазином Б, который не влияет на поглощение липидов корневыми волосками. Особенности структуры экзогенных липидов (длина жирнокислотных цепей, наличие и количество двойных связей) в среде не только влияют на паттерн интернализации, но и приводят к изменению фенотипа корней (искривление и скорость роста). Примечательно, что условия этиоляции либо дефицит фосфора в среде выращивания приводят к усилению поглощения экзогенных липидов, локализованного в пэтчах на поверхности корневых волосков и атрихобластов.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 22-24-01152.

Ключевые слова: экзогенные фосфолипиды, арабидопсис, интернализация липидов, флиппазы.

EXOGENOUS PHOSPHOLIPID INTERNALISATION IN ROOTS OF *ARABIDOPSIS THALIANA* WITH INVOLVEMENT OF ACTIN CYTOSKELETON

Pozhvanov G.A.^{1,2*}, Senik S.V.¹, Kotlova E.R.¹

¹ Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

² Herzen University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: exogenous phospholipids, arabidopsis, lipid uptake, flippases.

ПЕРОКСИДАЗЫ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ПОЛЛЮТАНТНОМУ СТРЕССУ

Позднякова * Н.Н., Дубровская Е.В., Щербакова Е.В., Турковская О.В.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов
– обособленное структурное подразделение Федерального
исследовательского центра «Саратовский научный центр
Российской академии наук», г. Саратов, Россия
*E-mail: pozdneyakova_n@ibppm.ru

Пероксидазы участвуют во многих физиологических процессах в растениях, включая механизмы защиты, метаболизм ауксина, биосинтез полимеров клеточной стенки, таких как лигнин и суберин. Они присутствуют во всех органах растений, а также экскретируются в окружающую среду в составе корневых экссудатов. Пероксидазы участвуют в окислении поллютантов и рассматриваются как один из активных компонентов в процессах фиторемедиации загрязненных объектов. Имея широкую субстратную специфичность, эти ферменты подвергают деградации молекулы поллютантов как при непосредственном взаимодействии с ними, так и в присутствии редокс-медиаторов.

Вещества, выполняющие роль редокс-медиаторов, обычно являются субстратами ферментов. В связи с этим нами протестирована способность пероксидазы хрена, катионной и анионной пероксидаз сорго окислять ряд синтетических и природных соединений. Из 22 веществ ферменты окисляли 8, наибольшее сродство выявлено по отношению к 2,7-диаминофлуорену и АБТС. Реакции окисления 2,6-диметоксифенола, пирокатехина, гваякола, 3,4-дигидроксифенилаланина, 3,4-дигидроксибензойной и 1-гидрокси-2-нафтойной кислот были медленными. Показано, что растительные пероксидазы окисляли ПАУ в присутствии медиаторов. Наиболее эффективными медиаторами окисления флуорена были 3,4-дигидроксифенилаланин и 9-гидроксифлуорен; 9-гидроксифлуорена – гидроксибензотриазол; 9-флуоренона – гваякол. Гидроксибензотриазол и гваякол являются известными субстратами пероксидаз, их участие как редокс-медиаторов было прогнозируемым. 3,4-дигидроксифенилаланин и 9-гидроксифлуорен – субстрат тирозиназы и продукт окисления флуорена, соответственно, в качестве редокс-медиаторов пероксидаз ранее описаны не были. Ряд веществ, к которым не выявлено активности пероксидаз, также явились редокс-медиаторами: твин-80, 4-гидроксибензойная, феруловая, 2,2'-дифеновая, фталевая и салициловая кислоты, вератриловый спирт, $MnCl_2$, 9-гидроксифлуорен и 9-флуоренон. Полученные сведения важны для понимания механизмов деградации ПАУ в ризосфере растений.

Работа выполнена в рамках темы госзадания №ГР 121031700141-7

Ключевые слова: пероксидазы растений, окисление, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

PEROXIDASES AS A FACTOR OF PLANT RESISTANCE TO POLLUTANT STRESS

Pozdneyakova N.N., Dubrovskaya E.V., Shcherbakova E.V., Turkovskaya O.V.

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia

Keywords: plant peroxidases, oxidation, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

ГОДИЧНАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «УРАЛ-КАРБОН»

Полянская А.П.* , Бурлакова А.С., Синенко О.С., Ермошин А.А., Тугбаева А.А., Малева М.Г., Трубецкой Д.В., Киселева И.С.

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: anypolyanskaya02@yandex.ru

В современном мире с высокой техногенной и антропогенной нагрузкой важной задачей является контроль климатически активных газов. Созданная программа карбоновых полигонов нацелена на решение этой проблемы. При оценке возможности связывания и удержания углекислого газа важную роль играют основные лесобразующие породы и их способность к активному фотосинтезу.

Отбор образцов производили ежемесячно с июня 2022 по июнь 2023 у 25–30 летних сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), ели европейской (*Picea abies* L.) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.). Содержание основных фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически при 470, 649 и 664 нм в 95% спиртовом экстракте.

В хвое первого года по мере ее роста происходило накопление пигментов. Максимальное содержание суммы хлорофиллов у *P. sylvestris* наблюдали в сентябре – 2,1 мг/г сух массы, у *P. abies* и *A. sibirica* в октябре – 1,8 мг/г и 2,1 мг/г сух массы, соответственно. Максимум содержания каротиноидов у *P. sylvestris* и *A. sibirica* был в октябре, у *P. abies* – в ноябре, вероятно, в связи с выполнением ими функции защиты от фотодеструкции в зимнее время. В феврале содержание хлорофиллов и каротиноидов снижалось в результате фотодеструкции у *P. abies* на 21,6% и 28%, у *A. sibirica* на 13% и 15%, и у *P. sylvestris* на 24,5% и 14%, соответственно. На второй год жизни хвои пул хлорофиллов начинал восстанавливаться с марта, к июню достигая осенних значений. Содержание каротиноидов при этом у всех трех видов осталось без изменений. Полученные данные позволяют предположить, что хвоя 2-го года будет иметь больший вклад в фотосинтетическую активность растения и связывание CO₂, чем хвоя 1-го года.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания FEUZ-2023-0023.

Ключевые слова: хлорофиллы, каротиноиды, хвоя разных лет жизни, карбоновый полигон.

ANNUAL DYNAMICS OF THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE MAIN FOREST-FORMING SPECIES OF THE URAL-CARBON CARBON POLYGON

Polyanska A. P.*, Burlakova A. S., Sinenko O. S., Ermoshin A. A., Tugbaeva A. A., Maleva M. G., Trubetskoy D. V., Kiseleva I. S.

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Keywords: chlorophylls, carotenoids, needles of different age, carbon polygon.

ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДИЗАЦИИ ВИДОВ *LARIX* В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

Помыткин Н.С., Пак М.Э., Третьякова И.Н.*

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН). Красноярск. Россия

*E-mail: culture@ksc.krasn.ru

Внедрение в селекционный процесс биотехнологии соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro* позволяет значительно повысить его эффективность и значительно сократить сроки создания новых сортов на клеточном уровне независимо от времени года и условий окружающей среды. Переход с клеточного уровня на организменный сопровождается процессами регенерации, которые идут по пути соматического эмбриогенеза. Особую ценность представляет применение биотехнологии соматического эмбриогенеза при проведении экспериментов по гибридизации (межвидовое и внутривидовое контролируемое опыление). При гибридизации наиболее перспективным является использование в качестве материнских деревьев-доноров, экспланты которых способны формировать эмбриогенный каллус и соматические зародыши (MacKay et al., 2006; Tretyakova et al, 2021).

Проведено контролируемое опыление трех деревьев-доноров, лиственницы сибирской из эксплантов которых были получены эмбриогенные культуры и клонов (клеточная линия №6). Из гибридных зародышей получено 8 эмбриогенных клеточных линий, одна из которых трехлетнего возраста, семь имеют возраст 1 год, Все КЛ активно пролиферируют. Эмбрионально-суспензорная масса их состоит из глобулярных зародышей, которые мультиплицируют через кливаж. В настоящее время часть эмбриогенных культур перенесена на среду АИ с АБК, где зародыши успешно проходят процессы дифференцировки и вызревают.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 22-14-20008

Ключевые слова: гибридизация, лиственница сибирская, соматический эмбриогенез, клеточные линии

FEATURES OF HYBRIDIZATION OF *LARIX* SPECIES IN *IN VITRO* CULTURE

Pomytkin N.S., Park M.E., Tretyakova I.N.

Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS - Division of Federal Research Center
«Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: hybridisation, Siberian larch, somatic embryogenesis, cell lines

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ДОНБАССЕ

Попытченко Л.М. *, Решетняк Н.В., Полулях Н.Н.

ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова»,
г. Луганск, Россия,

*E-mail: popytchenko@mail.ru

В настоящее время в Донбассе наблюдается потепление климата, что отражается на состоянии агрокультур, их урожайности. Исследовали вопрос изменения биоклиматического потенциала агроландшафтов применительно к районированным культурам, рассчитали показатели эффективности использования биоклиматических ресурсов территории культурами в разных агроклиматических районах, группы спелости культур, рекомендуемые для сева в разных районах. Используя двадцатилетние результаты полевых данных по урожайности подсолнечника разных сроков сева для сорта Казачий (опытное поле Луганского ГАУ) и запас влаги в почве перед севом, в период цветения, количество осадков в фазе цветения, разработали математические и графические модели с высокими показателями корреляции и степени достоверности. Высокие урожаи подсолнечника в годы наших исследований получены при условии оптимальной обеспеченности растений влагой в критические периоды. У подсолнечника отмечают несколько критических периодов: в фазу появления третьей–четвертой пары настоящих листьев, образования корзинки–цветения, что в конечном итоге сказывается на величине будущего урожая. Недостаток влаги в период цветения корзинки и налива семян также неблагоприятно сказывался на выполненности, массе и величине урожая.

Ключевые слова: температура воздуха, осадки, влажность, подсолнечник, урожайность.

INFLUENCE OF ABIOTIC ENVIRONMENTAL FACTORS ON PRODUCTIVITY AND YIELD OF AGRICULTURAL CROPS IN DONBASS

Popytchenko L.M. *, Reshetnyak N.V., Polulyakh N.N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State Agrarian University. K.E. Voroshilov», Lugansk, Russia, E-mail: popytchenko@mail.ru

Keywords: air temperature, precipitation, moisture, sunflower, crop, yield.

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ *CHENOPODIUM QUINOA* В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

Прокофьева М.Ю.* , Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В.

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук,
Москва, Россия

*E-mail: prokofieva@ifr.moscow

Исследовали фотосинтетические характеристики листьев растений факультативного галофита киноа (*Chenopodium quinoa* L.) после 2-недельного засоления разной интенсивности (0, 100, 200, 300 мМ NaCl). Анализировали индукционные кривые быстрой флуоресценции с помощью ЛР-теста, выражающего взаимосвязь между энергетическими потоками поглощения квантов света антенным комплексом мембраны тилакоида (ABS/RC), захвата энергии реакционными центрами (РЦ) фотосистемы II (TR_o/RC) и дальнейшим переносом электронов в электронтранспортной цепи мембраны по квантовому тоннелю (ET_o/RC), восстановлением конечных акцепторов электронов в ФС I и диссипацией энергии одним РЦ в тепло, флуоресценцию или перенос к другой фотосистеме (DI_o/RC). Эффективность фотосинтеза оценивали по максимальному квантовому выходу ФСII (F_v/F_m), эффективности использования энергии возбуждения в ФСII (F_v/F_o) и по суммарному показателю работы фотосинтетического аппарата (PI_{abs}). Анализ индукционных кривых показал, что максимальный квантовый выход ФСII (F_v/F_m) у листьев всех исследуемых растений киноа находился на оптимальном уровне (0.82-0.84). Увеличение максимального потока электронов (ET_o/RC), перенесенных от QA к QB в расчете на один РЦ ФСII происходило у растений, выращенных при 100 и 200 мМ NaCl, и не наблюдалось существенного увеличения рассеивания энергии в тепло (DI_o/RC). При этом значения нефотохимического тушения (NPQ) увеличивались по мере возрастания концентрации NaCl, а скорость линейного транспорта электронов снижалась только при 300 мМ NaCl. Эффективность использования энергии возбуждения в ФСII (F_v/F_o) и суммарный индекс работы фотосинтетического аппарата (PI_{abs}) увеличивались при всех концентрация NaCl, по сравнению с бессолевым вариантом. Таким образом, слабое засоление (100 мМ NaCl) положительно влияло на световые реакции фотосинтеза и является оптимальным для *C. quinoa*. Стрессовые реакции на уровне функционирования ФС II вызывало только засоление 300 мМ NaCl.

Ключевые слова: *Chenopodium quinoa*, флуоресценция хлорофилла *a*, фотосинтетический аппарат, фотосистема II, засоление

PHYSIOLOGICAL STATE EVALUATION OF *CHENOPODIUM QUINOA* PLANTS GROWN UNDER SALINE CONDITIONS BY THE CHLOROPHYLL FLUORESCENCE PARAMETERS

Prokofieva M.Yu., Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V.

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Keywords: *Chenopodium quinoa*, chlorophyll *a* fluorescence, photosynthetic apparatus, photosystem II, salinization

ВАРИАТИВНОСТЬ ПЕРВИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ

Пузанский Р.К.^{1*}, Кирпичникова А.А.², Шаварда А.Л.¹, Шишова М.Ф.²

¹ Ботанический Институт им. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: puzansky@binran.ru

Гетеротрофные суспензионные культуры клеток *Nicotiana tabacum*, растущие на среде с сахарозой интересны своим развитием. Они проходят стадии пролиферации, роста растяжением и фрагментации цепей клеток, а завершается развитие старением и гибелью. Показано, что смена этапов развития регулируется фитогормонами. Однако сопутствующие метаболические перестройки слабо изучены. В ходе гетеротрофного развития субстрат со временем истощается, но часть его депонируется и может быть использована клетками позднее. Развитие культур обеспечивается вариативностью первичного метаболизма. Она позволяет, во-первых, настраивать распределение поступающего углерода и резервов между процессами поддержания жизнеспособности, пролиферации, дифференциации, а также регулировать баланс между активным метаболизмом и депонированием. Во-вторых, гибко менять способы генерации энергии и синтеза необходимых метаболитов. Методом ГХ-МС было установлено, что профили метаболитов существенно варьируют в процессе роста культуры. Начало роста растяжением характеризовалось повышением уровня сахарофосфатов, что указывает на высокую активность гликолиза. Большее содержание аминокислот, согласуется с интенсификацией синтетических процессов. Отмеченное накопление фитостероидов, может отражать активацию формирования клеточных мембран. В дальнейшем детектировали увеличение содержания интермедиатов цикла Кребса, что согласуется с возрастанием роли АТФ в обеспечении энергетических ресурсов клеток на этапе интенсивного роста растяжением.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 23-24-00393.

Ключевые слова: *Nicotiana tabacum*, метаболомика, суспензионная культура, рост растяжением.

VARIABILITY IN PRIMARY METABOLISM OF PLANT CELLS IN SUSPENSION CULTURE

Puzanskiy R.K.¹, Kirpichnikova A.A.², Shavarda A.L.¹, Shishova M.F.²

¹ Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg 199034, Russia

Keywords: *Nicotiana tabacum*, metabolomics, suspension cell culture, elongation growth.

МОДИФИКАЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ПРОРОСТКАХ *HORDEUM VULGARE* РАЗНОГО ВОЗРАСТА ПРИ ТЕПЛОВОМ СТРЕССЕ

Пшибытко Н.Л.^{1*}, Крук Ю.², Лысенко Е.А.³, Стржалка К.², Демидчик В.В.¹

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь;

² Ягеллонский университет, Краков, Польша;

³ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

*E-mail: pshybytko@bsu.by

Температура является одним из основных стрессовых факторов, ограничивающих фотосинтетическую активность, рост и продуктивность растений. До сих пор остается нерешенным вопрос о различии адаптационных стратегий фотосинтетического аппарата на разных стадиях развития к воздействию повышенной температуры. Целью настоящей работы было изучение фотосинтетических потоков электронов при гипертермии (40 °С, 3 ч) на разных стадиях развития листьев (4-, 7- и 11-дневных первых листьев) *Hordeum vulgare* L.). Исследованы параметры флуоресценции хлорофилла *a*, характеристики окислительно-восстановительного состояния P700, пластохинонов, ферредоксина и пластоцианина, а также транскрипция генов *ndhA* и *ndhF*. Повышенная температура ингибировала циклический поток электронов (CEF), катализируемый ферредоксин-пластохинон редуктазой (FQR), во всех протестированных вариантах. В 11-дневных листьях также было выявлено термоиндуцированное подавление линейного потока электронов (LEF). Вызванное нагреванием снижение CEF и LEF в 7- и 11-дневных растениях компенсировалось активацией транспорта электронов, катализируемого НАДН дегидрогеназа-подобным комплексом (NDH). Также выявлено термоиндуцированное повышение транскрипции *ndhA* и *ndhF* генов, кодирующих субъединицы NDH. Гипертермия снижала уровень восстановленности пула пластохинонов во всех исследованных листьях. В 7- и 11-дневных листьях тепловое воздействие уменьшало фотоактивный и увеличивало нефотоактивный пулы пластохинонов. Инфильтрация листьев 2,6-дихлорфеноли-ндофенолом (ДФИФ) предотвращала термоиндуцированное снижение восстановленности пластохинонов, подавляло изменения FQR-зависимого CEF и qE. В то же время, обработка ДФИФ не влияла на термоиндуцированное подавление LEF и перераспределение пластохинонов из фотоактивного в нефотоактивный пул. На основании полученных данных сделан вывод, что снижение эффективности донирования электронов от пластоцианина к ФСІ и акцептирования электронов ферредоксином могло быть причиной термоиндуцированного подавления FQR-зависимого CEF, в то время как уменьшение размера фотоактивного пула пластохинонов потенциально являлось причиной ингибирования LEF при гипертермии.

Ключевые слова: тепловой стресс, *Hordeum vulgare*, фотосинтетические потоки электронов, редокс-состояние пластохинонового пула, ферредоксин, онтогенетическая зависимость стрессовой реакции

HEAT-INDUCED MODIFICATIONS OF PHOTOSYNTHETIC ELECTRON FLOWS IN *HORDEUM VULGARE* LEAVES OF DIFFERENT AGE

Pshybytko N.L.^{1*}, Kruk J.², Lysenko E.A.³, Strzalka K.², Demidchik V.V.¹

¹ Belarusian State University, Minsk, Belarus

² Jagiellonian University, Kraków, Poland

³ Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Moscow, Russia

Keywords: heat stress, *Hordeum vulgare*, photosynthetic electron flows, plastoquinone pool redox state, ferredoxin, age dependence of stress response

РОЛЬ МЕЛАНИНОВ В СТРЕССОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИШАЙНИКОВ

Рассабина А.Е. *, Хабибрахманова В.Р., Даминова А.Г., Минибаева Ф.В.

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*E-mail: AERassabina@yandex.ru

В связи с необходимостью расшифровки механизмов выживания растений в неблагоприятных условиях, особое внимание уделяется организмам, обладающим высокой стрессовой устойчивостью. К данным организмам относят лишайники – эволюционно древние симбиотические системы, представленные мико- и фотобионтом, способные противостоять биотическим и абиотическим стрессовым факторам. Одним из негативных стрессовых факторов является ультрафиолетовая (УФ) радиация. Для защиты от повреждающего действия УФ лишайник способен синтезировать темные пигменты меланины, служащие защитным экраном для фотобионта. При этом, состав, свойства и биологическая активность меланинов лишайников исследованы крайне недостаточно.

С целью количественной оценки накопления меланина лишайник *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. подвергали УФ-Б индуцированной меланизации с помощью эритемных ламп. Для выявления влияния степени меланизации на физиолого-биохимические характеристики лишайника *L. pulmonaria* проводили оценку фотосинтетической активности, основанной на изменении максимального квантового выхода фотосистемы (ФС) II (F_v/F_m), в том числе в условиях обезвоживания и действия ионов Cu^{2+} . С помощью инфракрасной (ИК) спектроскопии в структуре меланина обнаружены гидроксильные и карбоксильные функциональные группы, система сопряженных связей, а также наличие гликозидной связи, свидетельствующей о наличии углеводов. Установленные размеры частиц меланинов, дзета-потенциал и индекс полидисперсности свидетельствовали о способности меланинов лишайников к агрегации и проявлению их супрамолекулярной природы.

Выявленная антиоксидантная, хелатирующая и сорбционная способность меланинов обуславливает их роль в формировании устойчивости лишайников к действию неблагоприятных факторов среды, а также открывают перспективы их практического применения.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН, а также при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-14-00327.

Ключевые слова: лишайник, вторичные метаболиты, меланин, антиоксидантная активность

THE ROLE OF MELANINS IN LICHEN STRESS RESISTANCE

Rassabina A.E., Khabibrakhmanova V.R., Daminova A.G., Minibayeva F.V.

Kazan institute of biochemistry and biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia

Keywords: lichen, secondary metabolites, melanin, antioxidant activity

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ГАЛОФИТА *SEDOBASSIA SEDOIDES* С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ C₃-C₄ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА

Рахманкулова З.Ф.* , Шуйская Е.В., Прокофьева М.Ю., Саидова Л.Т.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений
им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: Zulfirar@mail.ru

Исследовали особенности физиологической и биохимической адаптации галофита *Sedobassia sedoides* с промежуточным C₃-C₄ типом фотосинтеза к условиям слабого засоления (100 mM NaCl) при нормальной (25°C) и повышенной температуре (35°C). Анализировали изменение биомассы, содержания воды в надземной части растений, эффективности ФС II, активности циклического транспорта электронов ФСI, а также содержания пролина и ионов Na⁺ и K⁺ при действии засоления, повышенной температуры, а также при их совместном действии. Проведенные эксперименты показали, что растения *S. sedoides* были достаточно устойчивы к индивидуальному действию слабого засоления, которое не оказывало влияния на сухую массу растений, на функционирование ФСI, оцененное по времени окисления P700 (ФСI) при освещении дальним красным, и эффективность ФС II, измеренной по величине максимального квантового выхода (Fv/Fm). Изучение содержания ионов в побегах *S. sedoides* выявило увеличение, более чем в два раза, содержания ионов Na⁺ при действии засоления и при совместном действии засоления и повышенной температуры, а также снижение содержания ионов K⁺ (на 30% и 40%, соответственно) и значительное уменьшение соотношения K⁺/Na⁺ (на 66% и 70%, соответственно). Полученные данные свидетельствуют об отсутствии влияния температурного фактора на содержание ионов и их соотношение. Таким образом, проведенные исследования показали, что только совместное действие засоления и повышенной температуры вызывало осмотический стресс, который проявлялся в снижении содержания воды и сырого веса побегов, в увеличении содержания пролина, активации циклического транспорта ФСI электронов фотосинтетической ЭТЦ и углерод-концентрирующего механизма промежуточного C₃-C₄ типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 21-54-50006 ЯФ_a)

Ключевые слова: пролин, ионы, фотосистемы I и II

EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL MECHANISMS OF SALT TOLERANCE OF HALOPHYTE *SEDOBASSIA SEDOIDES* WITH INTERMEDIATE C₃-C₄ PHOTOSYNTHESIS

Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Prokofieva M.Yu., Saidova L.T.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Keywords: proline, ions, photosystems I and II

ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* И РЕГЕНЕРАЦИЯ ПОБЕГОВ ИЗ ЭКСПЛАНТОВ КОРНЕЙ *STEMMACANTHA SERRATULOIDES* (GEORGI) M. DITRICH

Рахматулина И.Ф.* , Минеев Я.П., Кулуев Б.Р.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: irishka199812@gmail.com

Большеголовник серпуховидный (*Stemmacantha serratuloides*) - многолетнее травянистое лекарственное растение, источник ряда вторичных метаболитов, главными из которых являются фитоэкдистероиды. Ввиду редкости данного вида растений и зависимости его семенной продуктивности от сезонных и климатических условий, актуальными являются исследования по биотехнологическому способу его культивирования и размножения. Целью исследования стало введение в культуру *in vitro* растений *S. serratuloides*, произрастающих на территории Предуралья Республики Башкортостан, и разработка эффективного протокола их микроклонального размножения. Одним из ключевых моментов размножения *in vitro* является получение интактных растений, способных расти в асептических условиях. Было выявлено, что последовательная обработка семян большоголовника серпуховидного 96% этанолом (1 мин) и 20% белизной (20 мин), а также механическая скарификация, без этапа предварительной стратификации, является эффективным способом введения растительного материала в стерильную культуру. Культивирование эксплантов семядолей и гипокотилей на среде Мурасиге-Скуга содержащей 1 мг/л 2,4 – дихлорфеноксисукусной кислоты и 1.5 мг/л 6-бензиламинопурина индуцировало каллусообразование, но дальнейшей регенерации побегов не наблюдалось. Индукция геммогенеза *S. serratuloides* наблюдалась при культивировании корневых эксплантов на среде Мурасиге-Скуга в присутствии 6-бензиламинопурина и индолилуксусной кислоты в концентрациях 1 мг/л и 1.5 мг/л соответственно. Укоренение побегов проводилось на среде МС содержащей 0.25 мг/л индолилуксусной кислоты. Разработанная технология микроклонального размножения *Stemmacantha serratuloides* может быть использована для дальнейших биотехнологических целей, в том числе для получения волосовидных корней.

Ключевые слова: *Rhaponticum serratuloides*, клональное микроразмножение, экспланты, геммогенез, регенерация

ASEPTIC GERMINATION AND MICROPROPAGATION OF *STEMMACANTHA SERRATULOIDES* (GEORGI) M. DITRICH

Rakhmatullina I.F.* , Mineev Ya.P., Kuluev B.R.

Institute of Biochemistry and Genetics of UFRC RAS, Ufa, Russia

*E-mail: irishka199812@gmail.com

Keywords: *Rhaponticum serratuloides*, clonal micropropagation, explants, shoot regeneration

ПОЛЯРНЫЕ ЛИПИДЫ МХА *HYLOCOMIUM SPLENDENS*: ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРОФИЛЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ СТРЕССЕ

Ренкова А.Г. *, Хабибрахманова В.Р., Валитова Ю.Н., Галеева Е.И.,
Рахматуллина Д.Ф., Минибаева Ф.В.

Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение
Федерального исследовательского центра “Казанский научный центр Российской академии
наук”, Казань, Россия

*E-mail: renkova@kibb.knc.ru

В механизмах устойчивости бриофитов, высших несосудистых растений, к действию стрессовых факторов среды особое место занимают полярные липиды. Эти соединения определяют структурно-функциональные характеристики мембран. У мхов, так же, как и у высших сосудистых растений, полярные липиды представлены фосфолипидами, гликолипидами и сфинголипидами. Отличительной особенностью полярных липидов мохообразных является то, что они характеризуются высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, а также наличием жирных кислот с уникальным химическим строением. Физиологический смысл такого отличия остается неясным, что обуславливает актуальность исследований в данной области. В связи с этим, нами были идентифицированы полярные липиды мха *Hylocomium splendens* (Hedw.), а также проанализирован состав и содержание полярных липидов в условиях стресса. Установлено, что качественный состав липидных экстрактов из образцов мха *H. splendens*, подвергнутых воздействию неблагоприятных температур, представлен широким спектром липидных соединений и включает следующие полярные липиды: фосфатидилинозитол, фосфатидилхолин, фосфатидилэтанолламин, гликоцерамиды двух типов, а также моногалактозилдиглицерид и дигалактозилдиглицерид. Индекс мембранной стабильности при низкотемпературном стрессе был ниже контрольного уровня, что может свидетельствовать о повреждающем действии пониженной температуры на клеточные мембраны мха. Это подтверждалось степенью микровязкости мембран: в условиях температурного стресса неупорядоченность мембран возрастала. Таким образом, особенности липидного состава мхов обуславливают состояние клеточных мембран и, как следствие, устойчивость этих экстремофильных организмов к неблагоприятным условиям.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН, а также при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-393.2022.1.4 (для Ренковой А.Г.).

Ключевые слова: *Hylocomium splendens*, абиотический стресс, стрессовая устойчивость, фосфолипиды, гликолипиды, жирные кислоты

POLAR LIPIDS OF THE MOSS *HYLOCOMIUM SPLENDENS*: IDENTIFICATION AND PROFILE ANALYSIS UNDER ABIOTIC STRESS

Renkova A.G., Khabibrakhmanova V.R., Valitova J.N., Galeeva E.I.,
Rakhmatullina D.F., Minibayeva F.V.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Federal Research Center, Kazan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: *Hylocomium splendens*, abiotic stress, stress tolerance, phospholipids, glycolipids, fatty acids

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОНТЕЙНЕРНЫХ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД, АКТУАЛЬНЫЕ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ШИРОТ

Робонен Е.В.^{1*}, Чернобровкина Н.П.¹, Егорова А.В.¹, Зайцева М.И.²,
Нелаева К.Г.¹

¹ Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", Петрозаводск, Россия

² Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия, 185910;

*E-mail: er51@bk.ru

Двухротационное выращивание контейнерных сеянцев хвойных пород, широко используемое в мировой практике, позволяет увеличивать объемы выращивания сеянцев за один сезон. Такой режим выращивания внедряется в лесопитомниках бореальных лесов России. В условиях высоких широт, характеризующихся коротким вегетационным периодом, это затруднено риском неподготовленности сеянцев второй ротации к стрессам, связанным с высадкой на лесокультурную площадь. Для адаптации двухротационного способа к таким условиям необходимы четкие критерии оценки качества сеянцев, позволяющие прогнозировать продуктивность в полевых условиях. Целью исследования было испытание некоторых морфометрических и экофизиологических критериев качества сеянцев хвойных пород и методов их определения. Широко используются морфометрические показатели: линейные размеры и масса целого сеянца, его надземной части, корневой системы, отдельных органов. Разработаны интегрированные индексы качества сеянцев, основанные на двух или нескольких значимых морфометрических показателях. Наиболее используемыми являются коэффициент SQ, выражающий отношение высоты сеянца (см) к диаметру ствола у корневой шейки (мм); отношение сухой массы надземной части к сухой массе корней и индекс качества Диксона (Dickson's Quality Index) DQI. Очевидна необходимость подключения биохимических и экофизиологических оценок для корреляции показателей сеянцев, определяемых в условиях питомника, с полевыми характеристиками. Важным показателем качества сеянцев является морозостойкость, количественно оцениваемая кондуктометрическим методом по относительному выходу электролитов. Сравнительную оценку выбранных критериев качества сеянцев проводили сопоставлением полученных результатов с процентом приживаемости и темпом роста сеянцев на лесокультурной площади. Высокие их показатели обеспечивают формирование высокопродуктивного древостоя.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>.

Ключевые слова: хвойные, сеянцы, морфометрические показатели, морозостойкость

QUALITY EVALUATION OF CONTAINERIZED CONIFEROUS SEEDLINGS, ACTUAL WHEN CULTIVATED IN HIGH LATITUDES

Robonen E.V.^{1*}, Chernobrovkina N.P.¹, Egorova A.V.¹, Zaitseva M.I.²,
Nelaeva K.G.¹

¹ Forest Research Institute, KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia;

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia;

E-mail: er51@bk.ru

Keywords: conifers, seedlings, morphometric parameters, frost resistance

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЗЕЛЕНИ СЕМЕЙСТВА BRASSICACEAE

Рубаева А.А.^{*}, Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия;

^{*}E-mail: arubaeva@krc.karelia.ru

Для решения задачи повышения эффективности производства на фабриках растений с искусственным освещением (*PFAL – plant factory with artificial lighting*) наиболее перспективными считаются манипуляции со световым фактором. Распределение интеграла дневного освещения (фотопериод \times освещенность) в закрытых системах не обязательно должно учитывать 24 ч продолжительность суток и может быть реализовано в рамках аномальных (отличных от 24 ч) свето-темновых циклов. Целью настоящей работы было изучить влияние двух аномальных свето-темновых циклов (24/12 ч и 48/24 ч) на продуктивность и антиоксидантные свойства микрозелени четырех видов сем. Brassicaceae – брокколи (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), мизуна (*Brassica rapa* ssp. *nipposinica* (L.H. Bailey) Hanelt), горчица сарептская (*Brassica juncea* (L.) Czern.) и рукола (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa* (Mill.) Thell.). За контроль были приняты растения, выращенные при фотопериоде 16/8 ч. Результаты работы выявили видовую специфичность в реакции растений одного семейства на аномальные фотопериоды. Так, растения мизуны в условиях обоих аномальных фотопериодов имели более высокую продуктивность. Биомасса горчицы и руколы снижалась в условиях цикла 24/12 ч и повышалась при цикле 48/24 ч. Реакция растений брокколи была выражена слабее. В большинстве случаев у растений, выращенных в условиях цикла 24/12 ч наблюдалось увеличение интенсивности перекисного окисления липидов, что свидетельствовало о развитии легкого окислительного стресса, в ответ на который растения вырабатывали больше защитных веществ – каротиноидов, антоцианов, флавоноидов и пролина. В целом, изменения отдельных показателей пищевой ценности и продуктивности в ответ на изменение условий освещения носили, как правило, разнонаправленный характер. Аномальные свето-темновые циклы, подобранные с учетом видовой специфики, могут быть нацелены на определенные аспекты качества микрозелени.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

Ключевые слова: микрозелень, Brassicaceae, свето-темновые циклы, антиоксиданты

EFFECTS OF ABNORMAL LIGHT-DARK CYCLES ON PRODUCTIVITY AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF BRASSICACEAE MICROGREENS

Rubaeva A.A., Sherudilo E.G., Shibaeva T.G.

Federal Research Center “Karelian Research Center of Russian Academy of Science”,
Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Key words: microgreens, Brassicaceae, light-dark cycle, antioxidants

РОЛЬ ТИЛАКОИДНЫХ КАРБОАНГИДРАЗ α КА4 И α КА5 В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА *ARABIDOPSIS THALIANA*

Руденко Н.Н.^{1*}, Пермякова Н.В.², Козулёва М.А.¹, Горбачёва В.И.¹,
Невзорова А.А.¹, Игнатова Л.К.¹, Хорощаева Т.П.¹, Надеева Е.М.¹, Дейнеко Е.В.²,
Иванов Б.Н.¹

¹Институт фундаментальных проблем биологии РАН Федерального исследовательского центра «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Пушкино, Россия

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск, Россия

*E-mail: nataliacherry413@gmail.com

Карбоангидразы (КА) – ферменты, катализирующие обратимую гидратацию углекислого газа с образованием бикарбоната и протона. Установлено присутствие в мембранах тилакоидов хлоропластов КА α -семейства, α КА4 в гранальных тилакоидных мембранах, и α КА5 – в стромальных.

Гомозиготная мутантная линия *A. thaliana* с нокаутированным геном *At4g20990*, кодирующим тилакоидную карбоангидразу α КА4, создана с помощью системы редактирования генома CRISPR/Cas9, и проведено сравнение этих мутантов с растениями дикого типа (ДТ) и с мутантами, полученными методом встраивания Т-ДНК инсерций. В листьях всех мутантов, лишённых α КА4, происходило уменьшение, по сравнению с растениями ДТ, величины нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (НФТ). В мутантах наблюдали также более низкие величины ΔpH на тилакоидной мембране. В тилакоидах, выделенных из мутантов, отсутствие α КА4 не влияло на скорость электронного транспорта в функциональной изолированной ФС1, но приводило к увеличению скорости переноса электронов в функциональной изолированной ФС2 от воды до Q_A . В мутантах по α КА4 было снижено, по сравнению с ДТ, содержания D1, основного белка ФС2; при этом существенно возрастало содержание белков, регулирующих НФТ, PsbS и киназы STN7.

Обнаружено, что увеличение скорости фотофосфорилирования при увеличении концентрации ионов бикарбоната в суспензии изолированных тилакоидов определяется активностью α КА5. Нокаутирование как гена *aka4*, так и *aka5*, влияло на скорость освобождения протонов в люмен при окислении пластогидрохинона в цитохромном *b₆f*-комплексе, т.е. на скорость лимитирующей стадии светового этапа фотосинтеза. Действие ингибитора указанного процесса, 2,4-динитрофенилового эфиры йодонитротимола, усиливалось при добавке к тилакоидам бикарбоната в условиях разобщения. В тилакоидах, выделенных из мутантов по α КА4, эффект ингибитора в присутствии бикарбоната был ещё более выраженным, тогда как в тилакоидах, выделенных из мутантов по α КА5, он был значительно слабее, чем в тилакоидах из ДТ.

Исследование было поддержано Российским Научным Фондом (проект № 23-14-00396)

Ключевые слова: карбоангидраза, фотосинтез, тилакоиды, ФС1, ФС2

THE ROLE OF THYLAKOID CARBONIC ANHYDRASES α CA4 AND α CA5 IN THE FUNCTIONING OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *ARABIDOPSIS THALIANA*

Rudenko N.N.¹, Permyakova N.V.², Kozuleva M.A.¹, Gorbacheva V.I.¹,
Nevzorova A.A.¹, Ignatova L.K.¹, Khoroshaeva T.P.¹, Nadeeva E.M.¹, Deineko E.V.²,
Ivanov B.N.¹

¹Institute of Basic Biological Problems, Federal Research Center «Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences» Pushchino, Moscow Region, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Keywords: Carbonic anhydrase, photosynthesis, thylakoids, PSI, PSII.

БАКТЕРИИ *BACILLUS CEREUS* F УЛУЧШАЮТ РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ И ПРИДАЮТ ПОВЫШЕННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ К ФИТОПАТОГЕНАМ

Рукавцова Е.Б.^{1*}, Захарченко Н.С.¹, Звонарев А.Н.², Сиунова Т.В.²,
Кочетков В.В.², Храмов Р.Н.³

¹ Филиал Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пущино, Россия

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

³ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

*E-mail: ruk@bibch.ru

В природных условиях растения обычно существуют в ассоциации с различными полезными микроорганизмами, оказывающими положительное влияние на рост и развитие растений. К таким микроорганизмам относятся бактерии рода *Bacillus*, характеризующиеся относительной безопасностью и оптимальными биотехнологическими свойствами, например антагонистической активностью к фитопатогенам за счет продукции различных антимикробных метаболитов. Перспективно изучение новых штаммов бацилл для создания на их основе различных биопрепаратов. В связи с этим в наших исследованиях были использованы реликтовые бактерии *Bacillus cereus* F, выделенные из вечной мерзлоты Центральной Якутии. Нами показано, что бактерии *B. cereus* F обладают антибиотической активностью по отношению к ряду фитопатогенных грибов и бактерий. Обнаружена стабильная ассоциация бактерий *B. cereus* F с растениями горчицы сарептской *Brassica juncea* L. И табака *Nicotiana tabacum* L. после колонизации *in vitro*. Колонизированные растения обладали повышенной скоростью роста и урожайностью, а также приобрели способность к росту на среде без азота. Нами отмечена повышенная устойчивость исследованных растений к грибным патогенам *Fusarium oxysporum* и *F. culmorum*. Проведено исследование параметров фотосинтеза колонизированных растений при разных видах биотического и абиотического стресса. Полученные нами результаты указывают на перспективность практического применения бактерий *B. cereus* F в виде микробиологических препаратов для стимуляции роста растений и защиты их от микробных и грибных патогенов.

Ключевые слова: *Bacillus cereus* F, ассоциативные микроорганизмы, повышение продуктивности растений, патогены растений

BACILLUS CEREUS F BACTERIA IMPROVES GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS AND GIVES INCREASED RESISTANCE TO PLANT PATHOGENES

Rukavtsova E.B.¹, Zakharchenko N.S.¹, Zvonarev A.N.², Siunova T.V.²,
Kochetkov V.V.², Khramov R.N.³

¹ Branch of Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry RAS, Pushchino, Russia

² G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS, Pushchino, Russia

³ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics RAS, Pushchino, Russia

Keywords: *Bacillus cereus* F, associative microorganisms, increasing plant productivity, plant pathogens

РОЛЬ СИГНАЛЬНОГО ПУТИ ЭТИЛЕНА В РАЗВИТИИ УСТОЙЧИВОСТИ К ОБЫКНОВЕННОЙ ЗЛАКОВОЙ ТЛЕ *SCHIZAPHIS GRAMINUM* (ROND.).

Румянцев С.Д.* , Веселова С.В., Максимов И.В.

Институт биохимии и генетики — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия.

*E-mail: Rumyantsev-Serg@mail.ru

Обыкновенная злаковая тля *Schizaphis graminum* Rond. наносит значительный ущерб посевам зерновых культур, поэтому изучение механизмов устойчивости растений к тлям является одной из первостепенных задач. Заселение тлями запускает в растениях защитные ответы по различным гормональным сигнальным путям. При изучении трех разных по толерантности к злаковой тле сортов мягкой яровой пшеницы *Triticum aestivum* – Жница, Омская35 и Салават Юлаев (СЮ) были выявлены маркерные гены гормональных сигнальных путей – салициловой (СК), жасмоновой (ЖАК) и абсцизовой кислот (АБК), цитокининов (ЦК) и этилена, связанные с устойчивостью пшеницы к злаковой тле. В дальнейшей работе было изучено влияние обработки различными фитогормонами на плодовитость тли и выносливость растений пшеницы сорта СЮ. Обработка ЦК, АБК и этефоном (ЭТ – химическим предшественником этилена) уменьшала количество тли на растениях и положительно влияла на рост растений заселенных тлей. Исследование экспрессии генов гормональных сигнальных путей показало, что обработка растений ЦК или АБК активировала гены СК-, ЖАК- и этиленового сигнальных путей. А обработка растений ЭТ активировала гены СК-, ЖАК-, этиленового-, ЦК- и АБК-сигнальных путей. Особенно сильно обработка ЭТ влияла на транскрипцию генов PR1, WRKY13, PR6, EIN3, GLU1, ABI5. Важно, что ингибиторный анализ показал, что обработка растений 1-МЦП (1-метилциклопропеном – ингибитором связывания этилена с его рецепторами) подавляла активацию генов всех гормональных сигнальных путей. Экспрессия генов PR1, WRKY13, EIN3, GLU1, ABI5, LOX, ERF1 очень сильно снижалась. При этом обработка 1-МЦП не влияла на численность насекомых и не улучшала рост растений заселенных тлей по сравнению с необработанными растениями. Таким образом, на основе полученных результатов предполагаем, что для развития устойчивости растений пшеницы к обыкновенной злаковой тле необходима активация СК-, ЖАК-, ЦК- и АБК- сигнальных путей, которая индуцируется этиленом.

Ключевые слова: *Schizaphis graminum*, *Triticum aestivum*, фитогормоны, сигнальные пути, этилен.

THE ROLE OF THE ETHYLENE SIGNALING PATHWAY IN THE DEVELOPMENT OF RESISTANCE AGAINST GREENBUG APHID *SCHIZAPHIS GRAMINUM* (ROND.).

Rumyantsev S.D., Veselova S.V., Maksimov I.V.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia.

Keywords: *Schizaphis graminum*, *Triticum aestivum*, phytohormones, signaling pathways, ethylene.

ПОИСК БАКТЕРИЙ, МЕТАБОЛИЗИРУЮЩИХ АБК, И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

Рябова А.С. *, Мартыненко Е.В., Кузьмина Л.Ю., Мильман П.Ю.,
Высоцкая Л.Б.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
Уфа, Россия

*E-mail: alenarya@rambler.ru

Абсцизовая кислота (АБК), образуемая в растениях в ответ на неблагоприятные условия среды, при накоплении подавляет прорастание семян и ингибирует развитие растений. Перспективным подходом для регуляции почвенной и эндогенной растительной АБК является применение бактерий, утилизирующих этот гормон. В этой связи был осуществлен поиск микроорганизмов, способных использовать АБК в качестве единственного источника углерода и энергии.

В качестве объектов исследования были выбраны штаммы бактерий из коллекции Уфимского института биологии УФИЦ РАН. Культивирование бактерий производили на минимальной минеральной среде с концентрацией АБК 0,025% в планшетах и в пробирках. Интенсивность роста бактерий оценивали по оптической плотности культуральной жидкости (КЖ) при 600 нм, содержание АБК – методом иммуноферментного анализа.

В ходе исследования было протестировано 112 бактериальных штаммов, в том числе из родов *Bacillus* (56), *Pseudomonas* (12), *Janthinobacterium* (7), *Rugomonas* (5), *Rhodococcus* (6). Культуры микроорганизмов были выделены из разных источников: почвы сельскохозяйственного назначения (42), природных поверхностных и подземных вод (33), грунта спелеосистем (14), техногенно-загрязненной почвы (8), а также из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (8). После предварительного скрининга были отобраны 14 культур, способных расти на абсцизовой кислоте, в основном из родов *Pseudomonas*, *Rugomonas* и *Rhodococcus*. Количественное определение гормона в КЖ показало эффективное потребление АБК (58-72%) штаммами, относящимися к родам *Pseudomonas* и *Rhodococcus*. Обработка семян растений (*Triticum durum*) клетками этих штаммов за исключением нескольких культур, повышала всхожесть семян пшеницы и положительно сказывалась на росте и развитии проростков, в большей степени стимулируя увеличение массы и длины корней (до 50%).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-26-00104.

Ключевые слова: АБК-метаболизирующие бактерии, абсцизовая кислота, *Triticum durum*, рост.

SCREENING BACTERIA METABOLIZING ABA AND THE STUDY OF THEIR EFFECT ON PLANT GROWTH

Ryabova A.S., Martynenko E.V., Kuzmina L.Yu., Milman P.Yu., Vysotskaya L.B.
Ufa Institute of Biology, UFRS, RAS, Prospekt Oktyabrya, 69, 450054, Ufa, Russia

Keywords: ABA-metabolizing bacteria, abscisic acid, *Triticum durum*, growth

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДНОГО N6-БЕНЗИЛАДЕНИНА С АНТИЦИТОКИНИНОВЫМ ДЕЙСТВИЕМ НА КЛУБНЕОБРАЗОВАНИЕ У КАРТОФЕЛЯ

Савельева Е.М.^{1*}, Колачевская О.О.¹, Ословский В.Е.², Романов Г.А.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

² Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия

*E-mail: savelievaek@gmail.com

Управление цитокининовой сигнальной системой может открыть для сельского хозяйства широкие перспективы по эффективному воздействию на рост и продуктивность растений. Решить эту задачу можно через точечную регуляцию цитокининового сигналинга с помощью рецептор-специфичных цитокининов и/или антицитокининов.

В серии экспериментов *in vivo* мы обнаружили новое производное цитокинина N6-бензиладенина (БА), обладающее рецептор-специфичным антицитокининовым эффектом (N6-(4-дигидроксифенилэтил)аденин). В биотестах на проростках арабидопсиса, являющихся двойными мутантами по рецепторам цитокининов, было показано, что оно подавляет действие БА в отношении рецепторов АНК3 и CRE1/АНК4, не оказывая влияния на рецептор АНК2. Прямые радиолигандные эксперименты показали отсутствие связывания этого вещества с сенсорными модулями цитокининовых рецепторов арабидопсиса. Таким образом, N6-(4-дигидроксифенилэтил)аденин не является конкурентным ингибитором цитокининов, но его рецепторспецифичность позволяет предполагать взаимодействие с рецептором на участке, отличном от лиганд-связывающего сайта.

Для изучения действия нового соединения на интактные растения его включили в эксперимент по оценке влияния цитокининового сигналинга на засухоустойчивость. Т.к. в научной литературе существуют противоречивые свидетельства о влиянии цитокининов на данный показатель, использование вещества с антицитокининовым эффектом представляет дополнительный интерес.

N6-(4-дигидроксифенилэтил)аденин был использован для обработок растений картофеля трёх сортов, выращиваемых при достаточном увлажнении или в условиях засухи. На двух сортах был показан достоверный положительный эффект исследуемого вещества на урожайность, по сравнению с отсутствием обработок или обработками БА. Интересно, что эффект был более выражен при достаточном увлажнении, чем в условиях засухи. Механизм действия N6-(4-дигидроксифенилэтил)аденина предстоит выяснить.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-14-00259

Ключевые слова: цитокинины, антицитокинины, клубнеобразование, регуляторы роста

EFFECT OF N6-BENZYLADENINE DERIVATIVE WITH ANTICYTOKININ ACTION ON TUBER FORMATION IN POTATOES

Savelieva E.M.¹, Kolachevskaya O.O.¹, Oslovsky V.E.², Romanov G.A.¹

¹ Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

² Engelhardt Institute of Molecular Biology, RAS, Moscow, Russia

Keywords: cytokinins, anticytokinins, tuberization, growth regulators.

ЖАСМОНАТЫ В ПШЕНИЧНОМ ЗАЗЕРКАЛЬЕ

Савченко Т.В.^{1*}, Пиголев А.В.¹, Мирошниченко Д.Н.^{1,2}, Дегтярев Е.А.¹,
Фролов А.А.^{3,4}

¹ Пушчинский научный центр биологических исследований, Институт фундаментальных проблем биологии, Российской Академии Наук», ул. Институтская 2, 142290, г. Пушкино, Московская область, Россия;

² Филиал Института биоорганической химии РАН им. академиков М. М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова, Проспект Науки 6, 142290, г. Пушкино, Московская область, Россия;

³ Кафедра биоорганической химии, Лейбницкий институт биохимии растений, 06120 Галле (Заале), Германия;

⁴ Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений им. Тимирязева, Российская Академия Наук, 127276 Москва, Россия;

*E-mail: savchenko_t@rambler.ru

Протекторные функции жасмонатов в условиях биотических и абиотических стрессов продемонстрированы на многих растениях, в первую очередь на модельном растении *Arabidopsis thaliana*, однако информация о функциях жасмонатов в пшенице довольно ограничена, при этом большая часть этой информации базируется на данных экспериментов с экзогенной обработкой растений этими гормонами. Для изучения особенностей функционирования жасмонатной гормональной системы в пшенице мы создали коллекцию растений гексаплоидной и тетраплоидной пшеницы с измененной экспрессией генов ферментов биосинтетического пути, алленоксидсинтазы и оксофитодиеноатредуктазы. Анализ нетрансгенных гексаплоидных и тетраплоидных растений пшеницы и созданных на их основе трансгенных растений выявил особенности жасмонатного профиля пшеницы, включая очень низкое содержание метаболитов жасмонатной ветви в тканях исследуемых злаковых культур и малую амплитуду повышения уровня гормона при стрессовых условиях. Совокупность полученных данных свидетельствует о существовании регуляторных механизмов, обеспечивающих жесткий контроль уровня жасмонатов в оптимальных и неблагоприятных условиях окружающей среды. Трансгенные растения, сверхэкспрессирующие гены ферментов биосинтеза жасмонатов, более устойчивы к низким температурам и дефициту воды и более чувствительны к действию повышенных температур и некротрофных патогенов по сравнению с нетрансгенным контролем. Вопреки общепринятому мнению о защитных функциях жасмонатов при инфекционных заболеваниях, вызванных некротрофными патогенами, как в гексаплоидной, так и в тетраплоидной пшенице, жасмонаты, продуцируемые эндогенно и нанесенные экзогенно, провоцируют развитие симптомов инфекции. Созданные трансгенные растения – удобный инструмент для выяснения молекулярных основ измененной устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды.

Ключевые слова: жасмонаты, 12-оксофитодиеноат редуктаза, алленоксид синтаза, хлебная пшеница, пшеница эммер, устойчивость

JASMONS IN THE WHEAT LOOKING GLASS

Savchenko T.V.^{1,*}, Pigolev A.V.¹, Miroshnichenko D.N.^{1,2}, Degtyarev E.A.¹,
Frolov A.A.^{3,4}

¹ Pushchino Scientific Center for Biological Research, Institute of Fundamental Problems of Biology, Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya St., 142290, Pushchino, Moscow Region, Russia;

² Branch of M.M. Shemyakin and Yu.A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Prospect Nauki 6, 142290, Pushchino, Moscow Region, Russia;

³ Department of Bioorganic Chemistry, Leibniz Institute of Plant Biochemistry, 06120 Halle (Saale), Germany;

⁴ Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science, 127276 Moscow, Russia

Keywords: jasmonates, 12-oxophytodienoate reductase, allene oxide synthase, bread wheat, emmer wheat, tolerance

JETGENE – ВЕБ-РЕСУРС ДЛЯ СОЗДАНИЯ И АНАЛИЗА УЗКОСПЕЦИФИЧНЫХ ВЫБОРОК НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РАСТЕНИЙ

Садовская Н.С.^{1*}, Мустафаев О.Н.², Тюрин А.А.¹, Голденкова-Павлова И.В.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

² Институт генетических ресурсов НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

*E-mail: nataliya.sadovskaya@gmail.com

Несоответствие уровней mRNA и их белковых продуктов в клетках эукариот наблюдается на всех стадиях развития организма. Поэтому внимание исследователей сфокусировано на изучении тонких механизмов трансляции.

mRNA имеет регуляторные коды, которые решают судьбу индивидуальной mRNA в процессе трансляции. Для их выявления применяют биоинформатический анализ различных областей mRNA. Нами создан веб-ресурс JetGene (<https://jetgene.bioiset.org/>) для обнаружения регуляторных кодов в mRNA и их взаимосвязи с трансляционной эффективностью. Он содержит последовательности cDNA, CDS, 5'/3'-UTR для представителей шести основных царств живых организмов, включая растения. Информация о CDS и cDNA загружена с сервера Ensembl и регулярно обновляется. JetGene имеет комплекс утилит, позволяющий сделать сравнительный анализ последовательностей, а именно (i) оценить вариации длины, нуклеотидного состава, частоты использования кодонов, проанализировать GC-состав, CpG-острова, изучить окружение стартового кодона трансляции; (ii) выявить и определить статистически значимую представленность потенциальных регуляторных контекстов у mRNA с разной эффективностью трансляции. Анализ можно проводить как по полноразмерным транскриптам, так и по их кодирующим/некодирующим областям. Последовательности, отобранные пользователем, могут быть экстрагированы из JetGene в fasta-формате. Графическая интерпретация результатов сопровождает каждый шаг работы. Кроме того, бета-версия JetGene (<https://beta.bioiset.org>, находится на стадии разработки) позволяет сравнить две выборки mRNA пользователя и, таким образом, применить omics данные для поиска и предсказания регуляторных детерминант трансляции.

Результаты исследований, представленные работе, получены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации России (тема № 122042700043-9).

Ключевые слова: биоинформатический анализ, трансляционная эффективность, регуляторные коды, мотивы, сравнение двух выборок mRNA

JETGENE – WEB-RESOURCE FOR CREATING AND ANALYSIS OF NARROWLY SPECIFIC SETS OF PLANTS NUCLEOTIDE SEQUENCES

Sadovskaya N.S.¹, Mustafaev O.N.², Tyurin A.A.¹, Goldenkova-Pavlova I.V.¹

¹ Timiryazev Institute of Plant Physiology of RAS, Moscow, Russia

² Genetic Resources Institute of ANAS, Baku, Azerbaijan

Keywords: bioinformatics analysis, translation effectivity, regulatory codes, motives, comparison of two samples of mRNA

АНАЛИЗ РЕГИОНА СИМБИОТИЧЕСКИХ ГЕНОВ НА pSymA *SINORHIZOBIUM MELILOTI* – СИМБИОНТОВ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР

Саксаганская А.С.*, Мунтян В.С., Румянцева М.Л.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

*E-mail: allasaksaganskaya@mail.ru

Клубеньковые бактерии формируют азотфиксирующий симбиоз с растениями семейства Бобовые. Геном клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti*, как правило, представлен тремя репликонами: хромосома, мегаплазмиды pSymA и pSymB. Гены вирулентности (*nod/noe/nol*) и азотфиксации (*nif/fix/fix*) локализованы на симбиотической мегаплазмиде pSymA, размер которой, например, у референс-штамма Rm1021 составляет 1 354 226 п.н. Согласно литературным данным, pSymA была приобретена путём горизонтального переноса и является наиболее вариабельным репликоном. Целью работы являлся анализ структуры симбиотически значимого (Sym) региона, содержащего гены *nod/noe/nol* и *nif/fix/fix*, у четырех природных штаммов *S. meliloti* из центра интрогрессивной гибридизации люцерны, расположенного в Приаралье и подверженного засолению, геномы которых были собраны и аннотированы. Анализ репликонов pSymA показал, что Sym регионы фланкированы генами *nodD2* и *nodM*, и их размер варьировал от 81.8 до 101.4 т.п.н. Анализ наличия IS-элементов показал, что Sym регионы содержали до 8-ми полноразмерных указанных последовательностей, относящихся к 6-ти классам. Выявленные IS-элементы, включая реликтовый ISRm7, преимущественно были представлены одной копией, за исключением ISRm2 и ISRm4-1, число которых могло составлять до 3-х копий на Sym регион. Показано, что один и тот же IS-элемент мог иметь разную локализацию в изученных Sym регионах, например, ISRm17, в одном случае был выявлен рядом с геном *noeB*, а в другом случае – между генами *nodD3* и *surA*. Таким образом, Sym регионы являются активными «мишенями» для встройки IS-элементов, что может обуславливать их участие в рекомбинационных процессах и потенциальную нестабильность их структуры. Исследование выполнено в рамках Госзадания № FGEW-2021-0006.

Ключевые слова: Sym регион, IS-элементы, мегаплаزمида pSymA, клубеньковые бактерии, *Sinorhizobium meliloti*

REGION OF SYM GENES ON pSYMA OF *SINORHIZOBIUM MELILOTI* – SYMBIONTS OF ECONOMICALLY VALUABLE LEGUMES

Saksaganskaia A.S., Muntyan V.S., Roumiantseva M.L.

FSBSI All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

Keywords: Sym region, IS-elements, megaplasmid pSymA, nodule bacteria, *Sinorhizobium meliloti*

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ, ОТВЕТСТВЕННЫЕ ЗА ВЫХОД КАЛИЯ ИЗ КЛЕТОК ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ: СТРОЕНИЕ, РЕГУЛЯЦИЯ И ФУНКЦИИ

Самохина В.В., Мацкевич В.С., Гриусевич П.В., Змитрович И.В.,
Соколик А.И., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchyk@bsu.by

Калий – важнейший электролит, осмотик и регулятор электрических явлений растительной клетки. Растения теряют K^+ при стрессе, что приводит к значительному временному снижению его уровня в клетках. Согласно устоявшемуся мнению, стресс-индуцируемый отток K^+ обусловлен повреждением клеточных мембран. Однако, сейчас появились данные, показывающие, что отток K^+ при умеренном стрессе является процессом обратимым и опосредуемым не повреждением мембран, а активацией K^+ -каналов наружного выпрямления, кодируемых *Gork*. Это происходит под действием накапливающихся при стрессе активных форм кислорода (АФК). Ранее нами был идентифицирован АФК-чувствительный центр в структуре калиевого канала GORK (Цис-151) и проведена генетическая модификация данного центра – замена аминокислоты мишени АФК – цистеина (Цис) на редокс-инертный серин (Сер). В настоящей работе было проведено тестирование выхода K^+ из клеток корня *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. с помощью радиоактивного трейсера $^{86}Rb^+$. Также была детально проанализирована стрессоустойчивость нокаутов по GORK (*gork1-1*) и растений с GORK, модифицированным по Цис-151 (GORK-C151S), с использованием различных ростовых методик и цифрового фенотипирования. Было показано, что у растений дикого типа выход $^{86}Rb^+$ ускоряется под действием NaCl в 5 раз, под действием HO^{\bullet} в 3 раза, а H_2O_2 в 2,5 раза. Он резко снижался у нокаутов *gork1-1* и растений, экспрессирующих GORK-C151S. Также у данных линий арабидопсиса отмечалось меньшая степень ингибирования роста корней под действием засоления, АФК, γ -радиации, ионов меди, никеля и алюминия по сравнению с диким типом, т.е. данные растения приобретали общую стрессоустойчивость к стрессорам, которые вызывают отток K^+ . Экспрессия нативного гена *Gork* увеличивалась в 1,5 и 2,7 раза при выращивании растений на фоне 100 и 200 мМ NaCl, соответственно, и снижалась на 25-30% на фоне 1 мМ H_2O_2 . Таким образом, было установлено, что АФК-регулируемый калиевый канал GORK, обладающий функциональным редокс-активным центром Цис-151, имеет ключевое значение в оттоке K^+ из клеток корня высших растений под действием АФК и стресса.

Ключевые слова: калий, GORK, $^{86}Rb^+$, активные формы кислорода

THE TRANSPORT SYSTEMS RESPONSIBLE FOR THE EFFLUX OF POTASSIUM FROM THE CELLS OF HIGHER PLANTS: STRUCTURE, REGULATION AND FUNCTIONS

Samokhina V.V., Mackievic V.S., Hryvusevich P.V., Zmitrovich I.V., Sokolik A.I.,
Demidchik V.V.

Belarusian State University, Minsk, Belarus

Keywords: potassium, GORK, $^{86}Rb^+$, reactive oxygen species

ПОЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ – НОКАУТОВ *MARCHANTIA POLYMORPHA* ПО ГЕНАМ TRB1 И TBP1, И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОЛИ БЕЛКОВ В РЕГУЛЯЦИИ ДЛИНЫ ТЕЛОМЕР

Санникова А.В.^{1*}, Шарипова М.Р.¹, Шакиров Е.В.^{1,2}, Валеева Л.Р.^{1,2}

¹ Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия

² Department of Biological Sciences, College of Science, Marshall University, Huntington, USA

*E-mail: anastasya.sannikova@bk.ru

Теломеры – важные нуклеопротеиновые структуры хромосом эукариот, защищающие ДНК от повреждений и лежащие в основе репликативной способности клеток. За стабильность теломер отвечают специфичные ДНК-связывающие белки, среди которых особое место занимают белки TRF (Telomere Repeat Factor). В растениях были обнаружены гомологичные белки, которые получили название TRFL (TRF-like).

Целью работы является изучение роли TRB1 и TBP1 белков в поддержании длины теломер и развитии растений *M. polymorpha*. Биоинформационный анализ генома показал наличие трех генов - паралога TRFL у *M. polymorpha* (TRB1, TBP, TRFL6). Для получения мутантных линий были использованы растения дикого типа *M. polymorpha* Так-1 (мужское растение) и Так-2 (женское растение). Растения получали методом редактирования генома CRISPR/Cas9 с применением агробактериальной трансформации. Анализ длины теломер у растений-мутантов проводили методом TRF совместно с Саузерн-блот анализом. Методом CRISPR/Cas9 редактирования генома были получены 3 растения-нокаута по гену TBP1, 1 мутантное растение по гену TRB1 и 10 растений-мутантов по гену TRFL6. Укорочение длины теломер обнаружено у растений-мутантов по гену TRFL6. Для нокаутированных по гену TRB1 растений *M. polymorpha* отсутствовало различие в длине теломер по сравнению с диким типом. Однако, у растений – нокаутов наблюдали дефекты роста ткани слоевища, так же как у растений-мутантов по гену TRFL6.

Таким образом, получены растения - нокауты по теломерным белкам и было показано, что роль белка гомолога TRB1 не влияет на длину теломер в растении *M. polymorpha*, в отличии от ранее изученного гомологичного белка MrTRFL6, который отвечает за позитивную регуляцию длины теломер.

В дальнейшем нами будут изучены двойные и тройные растения - нокауты по генам TRFL, что позволит полностью охарактеризовать роль этих консервативных генов в регуляции биологии длины теломер и участии в других регуляторных сетях *M. polymorpha*.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 21-14-00147.

Ключевые слова: теломеры, бриофиты, *Marchantia polymorpha*, CRISPR/Cas9, TRFL.

PRODUCTION OF *MARCHANTIA POLYMORPHA* KNOCKOUT PLANTS FOR THE TRB1 AND TBP1 GENES AND DETERMINATION OF THE ROLE OF PROTEINS IN THE REGULATION OF TELOMERE LENGTH

Sannikova A.V.¹, Sharipova M.R.¹, Shakirov E.V.^{1,2}, Valeeva L.R.^{1,2}

¹ Kazan Federal University, Kazan, Russia

² Department of Biological Sciences, College of Science West Virginia, Huntington Marshall University, Huntington, USA

Keywords: telomeres, bryophytes, *Marchantia polymorpha*, CRISPR/Cas9, TRFL

ИММУНОЛОКАЛИЗАЦИЯ ГОРМОНОВ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЗАРОДЫШАХ ЯЧМЕНЯ *IN VIVO*

Сельдимирова О.А. *, Галин И.Р.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: o_seldimirova@mail.ru

Изучена динамика содержания и распределения АБК, ИУК и аквапоринов (AQP) в развивающиеся зерновках ячменя АБК-дефицитного мутанта AZ34 и его родительского сорта Steptoe. Установлено, что у Steptoe созревание зерновок сопровождалось значительным накоплением АБК, тогда как у AZ34 этот гормон накапливался медленнее и его содержание было ниже. Накопление АБК сопровождалось снижением уровня ИУК, причем у AZ34 этот процесс задерживался в соответствии с более медленным накоплением АБК. АБК в больших количествах накапливалась в клетках колеоризы развивающихся зародышей Steptoe, в то время как, такой эффект не наблюдался у AZ34. Высокий уровень АБК, вероятно, важен для поддержания барьерной функции колеоризы, препятствующей прорастанию корней и обуславливающей наступление покоя семян, а отсутствие накопления АБК в колеоризе AZ34, может, отвечает за инициацию прорастания корней в развивающейся зерновке. Накопление AQP HvPIP2 в зародышевых корнях было выше в начале созревания зерновки у Steptoe и впоследствии снижалось, в то время как уровни AQP увеличились позднее у AZ34 в соответствии с задержкой накопления АБК. Эти результаты свидетельствуют о важности накопления АБК в колеоризе для предотвращения преждевременного роста зародышевых корней и предполагают регулирование уровня ИУК и аквапоринов этим гормоном в процессе созревания зародышей злаков.

Ключевые слова: ячмень, АБК, ИУК, аквапорины, развитие зародыша

IMMUNOLOCALIZATION OF HORMONES IN DEVELOPING BARLEY EMBRYOS *IN VIVO*

Seldimirova O.A., Galin I.R.

Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: ABA, IAA, aquaporins, embryo development

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ И КОНВЕРСИИ ЭКЗОГЕННЫХ ФОСФОЛИПИДОВ НА МОДЕЛИ *ARABIDOPSIS THALIANA*

Сеник С.В.^{1*}, Манжиева Б.С.¹, Пожванов Г.А.^{1,2}, Хакулова А.А.³,
Серебряков Е.Б.³, Котлова Е.Р.¹

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

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

*E-mail: senik@binran.ru

Растения, способные синтезировать весь спектр липидов *de novo* и не нуждающиеся в липидном источнике питания, тем не менее, имеют развитую систему, позволяющую усваивать экзогенные липиды. Основную роль в этом процессе играют флиппазы (группа ALA из семейства P4-АТФаз) – мембранные ферменты, переносящие молекулы липидов через экзо- и эндомембраны. На данный момент известно, что флиппаза ALA10 участвует в поглощении фосфолипидов корнями растений из среды.

Нами разработаны подходы к изучению процессов поглощения и конверсии экзогенных фосфолипидов: а) использование экзогенных флуоресцентно-меченых липидов с дальнейшим анализом их включения в клетки методами конфокальной микроскопии; б) использование экзогенных липидов нетипичной структуры, метаболизм которых можно отследить методами липидомики и в) изучение экспрессии генов ферментов, вовлеченных в интернализацию и метаболизм экзогенных липидов.

Использование флуоресцентных NBD-производных липидов позволяет проследить, в каких зонах корней и листьев *A. thaliana* аккумулируются экзогенные липиды после поглощения. С помощью методов липидомики на основе LC-ESI-QTOF-MS/MS и LC-ESI-QqQ-MS/MS стало возможным проследить путь поглощённых молекулярных видов, их включение в разные классы (ФХ, ФЭ, ФК, МГДГ, ДГДГ). Применение фосфолипидов нетипичной для данного вида структуры позволяет судить о зависимости реакций интернализации липидов от их структурных характеристик (полярной группы, длины жирнокислотных цепей, наличия двойных связей и др.).

В оценке потенциальной интенсивности процесса интернализации липидов помогает анализ экспрессии гена ALA10, а также других генов метаболизма липидов, например, десатураз FAD2 и FAD3, которые, по всей видимости, участвуют в конверсии интернализированных фосфолипидов.

Методы липидомики разработаны на базе РЦ СПбГУ «Методы анализа состава вещества». Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 22-24-01152.

Ключевые слова: экзогенные фосфолипиды, липидомика, экспрессия генов, флиппазы.

DEVELOPMENT OF METHODS TO STUDY ABSORPTION AND CONVERSION OF EXOGENOUS PHOSPHOLIPIDS IN THE MODEL OF *ARABIDOPSIS THALIANA*

Senik S.V.¹, Manzhieva B.S.¹, Pozhvanov G.A.^{1,2}, Khakulova A.A.³,
Serebryakov E.B.³, Kotlova E.R.¹

¹ Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

² Herzen University, Saint-Petersburg, Russia

³ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: exogenous phospholipids, lipidomics, gene expression, flippases.

ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ РАПСА НА БЕЛОМ СВЕТУ

Серафимович М.В. *, Сергеева М.Н., Ефимова М.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: masha_serafimovich@mail.ru

Брассиностероиды (БС) представляют собой стероидные фитогормоны, оказывающие всестороннее влияние на развитие растений в процессе их онтогенеза, в том числе повышают устойчивость растений к абиотическим и биотическим стрессам. Однако для оценки протекторного эффекта БС на развитие проростков рапса при солевом стрессе было необходимо изучить действие БС на прорастание семян и рост проростков в оптимальных условиях.

Исследования проводили на проростках рапса *Brassica napus* L. сорта АНИИСХ. Семена рапса поверхностно стерилизовали в 96% этаноле, затем переносили в чашки Петри с дистиллированной водой (контроль), раствором гомобрассинолида (ГБЛ) или раствором гомокастастерона (ГКС) в концентрациях 10^{-10} , 10^{-8} , 10^{-6} М, и проращивали на белом свете (фотопериод 16/8 ч, температура воздуха $20 \pm 3^\circ\text{C}$). Прорастание семян, длину гипокотилия и корня оценивали на 7-е сутки от начала прорастания семян. Для каждого варианта эксперименты проводили в двух биологических повторностях, каждая из которых содержала не менее 50 проростков.

Результаты исследований показали, что в оптимальных условиях экзогенный ГКС в концентрациях 10^{-10} и 10^{-8} М стимулировал прорастание семян рапса на белом свете; на 7-е сутки проросло 79% и 67% семян соответственно от общего количества семян, посаженных на вариант. На контроле показатель составил 65%. Высокая концентрация ГКС подавляла данный процесс (46%). ГБЛ во всех исследуемых концентрациях не оказывал значительного воздействия на прорастание семян. Было показано влияние экзогенных БС на ростовые показатели проростков рапса. Рост корней стимулировался ГБЛ в концентрации 10^{-8} М (52,30 мм) и ГКС в концентрации 10^{-10} М (45,07 мм), по сравнению с контролем (44,40 мм), тогда как ГБЛ и ГКС в концентрации 10^{-6} М значительно тормозили растяжение зародышевого корня (4,08 мм и 3,58 мм соответственно). В тоже время рост гипокотилия в ответ на БС изменялся незначительно; активация роста наблюдалась на всех вариантах ГБЛ, что составило 12,47-13,70 мм, и на ГКС в концентрации 10^{-8} М (13,64 мм), при контрольном значении этого показателя 11,11 мм.

Таким образом, гомокастастерон в большей степени стимулировал прорастание семян рапса, гомобрассинолид – рост корня и гипокотилия. Положительный эффект брассиностероидов обнаруживался при концентрациях 10^{-10} и 10^{-8} М.

Исследование поддержано программой развития Томского государственного университета (Приоритет-2030; проект № 2.1.2.22).

Ключевые слова: *Brassica napus* L., проростки, гомобрассинолид, гомокастастерон.

INFLUENCE OF BRASSINOSTEROIDS ON THE DEVELOPMENT OF CANOLA SEEDLINGS IN THE WHITE LIGHT

Serafimovich M.V., Sergeeva M.N., Efimova M.V.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Keywords: *Brassica napus* L., seedling, homobrassinolide, homokastasterone.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОРАСТУЩИХ ФОРМ BETULA

Сергеев Р.В. *, Хусаинова А.Р., Тимаков А.А.

ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

*E-mail: sergeevphd@yandex.ru

Мировая практика свидетельствует о том, что одним из эффективных способов лесосырьевого снабжения деревообрабатывающих и лесопромышленных предприятий является выращивание древесины с коротким оборотом рубки. Применение биотехнологий в этом случае играет ключевую роль.

Опытные лесные плантации в Марий Эл были заложены в 2015 году в рамках проекта Минобрнауки России. В исследовании оценивали физиологические параметры клонов *Betula*: БПЗФ; ББ31; БП1Б; tr1; БП4А.

Измерение водного потенциала производили при помощи прибора Model 615 (Pressure Chamber instrument), высоты побегов с использованием высотомера.

В результате исследования было установлено, что максимальное значение водного потенциала было отмечено для клона ББ31. Клоны Tr-1 и БП4А практически не различались по данному параметру и имели самое низкое значение исследуемого параметра.

Одним из основных параметров для оценки эффективности роста растения является изменение его линейных размеров, в первую очередь сезонного прироста побега в высоту. Каждый клон на плантации был представлен не менее чем 50 особями. Величину прироста оценивали от макушки побега до характерного рубца на месте весенней верхушечной почки предыдущего сезона. Среднее значение показателя прироста клона бб4б-1 за период 2020-2023 гг. составило 26 см, лучший рост был продемонстрирован в 2023 году. Не высокие значения прироста обусловлены биотическими факторами, такими как дикие животные которые повредили часть растений. Лучшие значения прироста составили 108 см. В то же время клон БПЗФ показал максимальное значение прироста в 2020 году (38 см), прирост для отдельных особей достигал 117 см.

Было изучено влияние различных концентраций $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ в питательной среде на содержание хлорофилла. В результате исследования было установлено, что наибольшее значение содержания в листьях хлорофилла у клона БПЗФ на среде с половиной концентрацией $MnSO_4 \cdot 5H_2O$.

Ключевые слова: *Betula*, водный потенциал, хлорофилл

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF FAST-GROWING FORMS OF BETULA

Sergeev R.V. *, Khusainova A.R., Timakov A.A.

Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia

Keywords: *Betula*, water potential, chlorophyll

ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ЦИНКА И НИКЕЛЯ У ИСКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ГИПЕРАККУМУЛЯТОРОВ ИЗ СЕМЕЙСТВА BRASSICACEAE

Серегин И.В.^{1*}, Кожевникова А.Д.¹, Схат Х.²

¹ Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.

² Свободный Университет, Амстердам, Нидерланды

*E-mail: ecolab-ipp@yandex.ru

Исключатели накапливают металлы преимущественно в корнях, а (гипер)аккумуляторы – в побегах. Проанализированы способность гипераккумуляторов (*Arabidopsis halleri*, *Noccaea japonicum*, а также 28 экотипов *Noccaea caerulescens*) и исключателей (*Microthlaspi perfoliatum*, *Thlaspi arvense*) накапливать цинк (Zn) и никель (Ni), а также ростингибирующее действие металлов. Растения всех экотипов *N. caerulescens* обладали большей устойчивостью к Zn и Ni по сравнению с другими видами. Растения экотипов с каламиновых почв были более устойчивыми к Zn, чем растения экотипов с неметаллоносных и серпентиновых почв, а растения экотипов с неметаллоносных почв были более устойчивыми к Zn, чем растения с серпентиновых почв. Различия в устойчивости растений к Ni были минимальными у растений с серпентиновых почв по сравнению с растениями экотипов с каламиновых и неметаллоносных почв. Содержание Zn в побегах гипераккумуляторов было выше, чем у других видов, а содержание Ni в побегах *N. caerulescens* было выше, чем у исключателей. Вариация по способности накапливать Zn и Ni между экотипами *N. caerulescens* с каламиновых почв была значительно выше, чем между экотипами с серпентиновых почв и между экотипами с неметаллоносных почв. Обнаружена высокая отрицательная (для Zn) и положительная (для Ni) корреляция между накоплением металлов в корнях и устойчивостью растений. Цинк у *N. caerulescens* и *T. arvense* найден во всех тканях и накапливался в апексе корня, примордиях боковых корней, в корневых волосках, а у гипераккумулятора также в замыкающих и основных клетках эпидермы листа. Никель у *T. arvense* выявлялся в апексе корня, ризодерме, эндодерме и накапливался в протопластах клеток коры корня. В побегах *N. caerulescens* Ni накапливался преимущественно в крупных основных клетках эпидермы, что позволяет рассматривать накопление Zn и Ni в эпидерме гипераккумуляторов как эффективный механизм детоксикации металлов.

Исследования выполнены за счет средств РФФ (проект № 21-14-00028).

Ключевые слова: цинк, никель, распределение металлов, гипераккумуляция

TOXIC EFFECTS AND ACCUMULATION OF ZINC AND NICKEL IN EXCLUDERS AND HYPERACCUMULATORS FROM BRASSICACEAE FAMILY

Seregin I.V.¹, Kozhevnikova A.D.¹, Schat H.²

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands

Keywords: zinc, nickel, metal distribution, hyperaccumulation

ТРАНСПОРТ УГЛЕРОДА ПО ФЛОЭМЕ В КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ – ПУТЬ АДАПТАЦИИ СОСНЫ В РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Серкова А.А. *, Тарелкина Т.В., Галибина Н.А., Мошников С.А.,
Иванова Д.С., Семенова Л.И.

Институт леса - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск, Россия

*E-mail: aserkova@krc.karelia.ru

В настоящее время влияние анатомических характеристик флоэмы на ее теоретическую проводимость и транспорт углерода в корневые системы изучено недостаточно.

Были подобраны пробные площади в 3 типах леса (сосняк лишайниковый, брусничный и черничный) в заповеднике «Кивач», Республика Карелия. В каждом типе леса было выбрано по 5 модельных деревьев одного возраста (70-80 лет). Деревья имели хорошо развитую крону и не имели видимых повреждений. Образцы коры отбирали 22-24 июня 2021 года в период активного камбиального роста. Фиксацию образцов и изготовление поперечных срезов проводили по общепринятым методикам. Проводимость ситовидных клеток рассчитывали по формуле Хагена – Пуазёйля.

Площадь флоэмы в сосняке лишайниковом (СЛ), брусничном (СБ) и черничном (СЧ) составила 219.0, 143.5, 235.4 мм² соответственно. Диаметры и число ситовидных клеток на единицу площади флоэмы в трех типах леса достоверно не отличались. На основании анатомических параметров мы вычислили теоретическую проводимость флоэмы у деревьев, произрастающих в трех типах леса. В СЛ этот показатель был в 1.91 и в 2.49 раз выше по сравнению с деревьями, произраставшими в СЧ и в СБ, соответственно. Высказана гипотеза, что более высокая проводимость флоэмы в СЛ, вероятно, отражает повышенный запрос на ассимиляты со стороны корневой системы в условиях произрастания на бедных и сухих почвах, типичных для этого типа леса.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Ключевые слова: анатомия, донорно-акцепторные отношения, проводимость флоэмы, углерод

CARBON TRANSPORT VIA PHLOEM TO ROOT SYSTEMS IS A WAY OF PINE ADAPTATION IN DIFFERENT FOREST GROWTH CONDITIONS

Serkova A.A., Tarelkina T.V., Galibina N.A., Moshnikov S.A., Ivanova D.S.,
Semenova L.I.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Keywords: anatomy, source-sink relations, phloem conductance, carbon

РОЛЬ ГЕНА *MAKR6* В РЕГУЛЯЦИИ РАЗВИТИЯ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

Сидоренко А.Д.^{1,2*}, Новикова Д.Д.³, Миронова В.В.⁴, Землянская Е.В.^{1,2}

¹ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;

³ Университет Лозанны, Лозанна, Швейцария;

⁴ Университет Радбауд, Неймеген, Нидерланды

*E-mail: a.sidorenko1@g.nsu.ru

Мембран-ассоциированные регуляторы киназ (МАКР) – недавно открытое семейство, включающее семь белков. Его представители являются важными регуляторами развития растений. ВК11 и МАКР1 регулируют сигнальный путь брассиностероидов; МАКР2, МАКР4 и МАКР5 контролируют гравитропизм, формирование боковых корней и протофлоэмы корня, соответственно. Однако, биологические функции МАКР6 остаются неизвестными. В данной работе мы выдвигаем предположение о роли гена *MAKR6*, основываясь на паттерне его экспрессии и потенциальных регуляторах его транскрипции. Мы показали, что промотор *MAKR6* обеспечивает тканеспецифическую экспрессию гена в проростках *Arabidopsis thaliana*, а также у взрослых растений, в первую очередь в клетках развивающейся сосудистой системы. Используя количественную ОТ-ПЦР, мы продемонстрировали, что *MAKR6* является геном раннего ответа на ауксин, увеличение экспрессии которого детектируется уже после 30 минут обработки данным фитогормоном. Для описания паттерна экспрессии мы использовали эпифлуоресцентную и конфокальную микроскопию репортёрных линий *A. thaliana pMAKR6:nls3GFP*, в которых GFP экспрессируется под контролем промотора гена *MAKR6*. В проростках репортёрных линий *pMAKR6:nls3GFP* экзогенное воздействие ауксина индуцирует эктопическую экспрессию GFP в зоне дифференцировки корня. С помощью пересечения координат промоторного района гена с координатами пиков DAP-seq для 365 ТФ мы составили список транскрипционных факторов (ТФ) – потенциальных регуляторов экспрессии *MAKR6*. В промоторе *MAKR6* были выявлены пики связывания ТФ, ассоциированных с ответом на ауксин, в том числе ARF5, являющегося регулятором раннего ответа на ауксин. Обработка проростков с мутацией в гене *ARF5* не привела к увеличению экспрессии *MAKR6*, что подтверждает ключевую роль ARF5 в регуляции экспрессии этого гена ауксином.

Работа поддержана грантом РНФ № 21-14-00240

Ключевые слова: корень, сосудистая система, ауксин, мембран-ассоциированные регуляторы киназ

THE ROLE OF THE *MAKR6* GENE IN THE REGULATION OF THE DEVELOPMENT OF THE VASCULAR SYSTEM IN *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

Sidorenko A.D.^{1,2}, Novikova D.D.³, Mironova V.V.⁴, Zemlyanskaya E.V.^{1,2}

¹ Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia;

³ University of Lausanne, Lausanne, Switzerland;

⁴ Radboud University, Nijmegen, The Netherlands

Keywords: root, vascular system, auxin, membrane-associated kinase regulators

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ *GFP*-ГЕНА В ЛИСТЬЯХ ТРАНСПЛАСТОМНЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА (*NICOTIANA TABACUM* L.)

Сидорчук Ю.В.* , Белавин П.А., Загорская А.А., Самодуров Д.Е.,
Хайрулина Е.С., Дейнеко Е.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный
исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения
Российской академии наук», Новосибирск, Россия

*E-mail: sidorch@bionet.nsc.ru

Модификация хлоропластного генома (пластома) растений является весьма привлекательным подходом в биотехнологии растений, поскольку даёт возможность получать высокие уровни выхода рекомбинантных белков за счёт чрезвычайно высокой копийности пластома в клетках. Однако эта методика до сих пор остаётся нетривиальной на всех этапах ее исполнения. Наиболее проблемными являются этапы доставки генетических конструкций в хлоропласты, крайне низкая частота интеграции трансгена и отбор гомопластомных клеток. В лаборатории биоинженерии растений с помощью биобаллистики получены транспластомные растения табака, экспрессирующие репортерный ген *gfp* и селективный маркер *aadA* под управлением промотора 16S РНК (*PrnG10L*) и терминатора *TpsbA*. Максимальное количество рекомбинантного GFP-белка, выделенного из листьев транспластомных растений, не превышало $0,19 \pm 0,02\%$ от ОРБ. Необходимо отметить, что количество GFP в листьях контрольных трансформантов с ядерной экспрессией трансгена было выше, чем в листьях транспластомных растений, и в среднем составило $0,49 \pm 0,05\%$ от ОРБ. Выделение форм транспластомных растений с более высоким уровнем накопления рекомбинантного белка в тканях в значительной степени ограничивается крайне низким выходом исходных трансформантов, что требует оптимизации подходов к доставке трансгенов в хлоропласты и повышения частоты их интеграции в пластом. Эффективность целевой доставки генетических конструкций в пластиды и получение стабильных трансформантов предлагается повысить с помощью однослойных углеродных нанотрубок, нагруженных рекомбинантной ДНК. Одним из ключевых моментов интеграции трансгенов в хлоропластный геном является наличие двунитевых разрывов в ДНК пластидного генома. Повышению эффективности этого процесса может способствовать предлагаемый нами подход увеличения частоты двунитевых разрывов ДНК в целевых районах пластома за счёт использования CRISPR-Cas9 системы редактирования генома хлоропластов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 23-24-00545.

Ключевые слова: хлоропласты, пластом, трансформация, редактирование, углеродные нанотрубки

PECULIARITIES OF *GFP* GENE EXPRESSION IN LEAVES OF TRANSPLASTOMIC TOBACCO PLANTS (*NICOTIANA TABACUM* L.)

Sidorchuk Y.V., Belavin P.A., Zagorskaya A.A., Samodurov D.E., Khairulina E.S.,
Deineko E.V.

Institute of Cytology and Genetics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk,
Russia

Keywords: chloroplasts, plastome, transformation, editing, carbon nanotubes

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ОКСИДАЗА МИТОХОНДРИЙ ВЛИЯЕТ НА МЕТАБОЛИЗМ АСКОРБАТА

Силина Е.В., Шелякин М.А., Гармаш Е.В.*

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук
ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»,
Сыктывкар, Россия

*E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Аскорбат – важный низкомолекулярный антиоксидант в растительной клетке, субстрат аскорбатпероксидазы (APX) в аскорбат-глутатионовом цикле (АГЦ). Синтез аскорбата (Asc) по L-галактозному пути связан с электрон-транспортной цепью митохондрий (мЭТЦ) и зависит от скорости транспорта электронов по альтернативному пути (АП) через альтернативную оксидазу (АОХ). Для изучения взаимосвязи синтеза Asc и функционирования АОХ исследовано влияние подавления экспрессии *AOX1a* и генов ферментов синтеза Asc (*VTC2*, *GLDH*) на активность АП и процессы метаболизма Asc в листьях растений *Arabidopsis thaliana* (стадия роста 1.14) и изолированных из них хлоропластах при умеренно-повышенной освещенности (400 мкмоль/м²с). После 8 ч эксперимента антисенсовые по *AOX1a* растения (AS-12) показывали резкое увеличение соотношения уровня окисленного аскорбата к восстановленному (DHA/Asc). Одновременно повышалась активность и экспрессия генов APX (*APX1*, *SAPX*), что указывало на включение компенсаторных механизмов антиоксидантной защиты. При этом содержание восстановленного глутатиона (GSH), используемого для регенерации ДНА в АГЦ, увеличивалось, а экспрессия генов и активность ферментов – дегидроаскорбатредуктазы (DHAR) и глутатионредуктазы (GR), участвующих в восстановлении окисленной формы глутатиона, снижалась. Это свидетельствовало об ослаблении способности АГЦ регенерировать Asc за счет GSH. Растения линий *vtc2* и *gldh* реагировали на повышенную освещенность вовлечением АП на уровне экспрессии *AOX1a* и активности АОХ, а также некоторым усилением синтеза Asc, в линии *vtc2* – за счет активации L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназы (GLDH). Судя по экспрессии генов и активности APX и DHAR, величины пула Asc было недостаточно для эффективного вовлечения в АГЦ. Результаты свидетельствуют о ключевой роли АОХ в поддержании синтеза Asc, однако при стабильном дефиците Asc активация АОХ не может полностью обеспечить пополнение пула Asc даже при умеренном стрессе.

Работа поддержана грантом РФФ № 22-24-01082.

Ключевые слова: аскорбат, альтернативная оксидаза, L-галактозный путь синтеза, аскорбат-глутатионовый цикл, повышенная освещенность

ALTERNATIVE MITOCHONDRIAL OXIDASE AFFECTS ASCORBATE METABOLISM

Silina E.V., Shelyakin M.A., Garmash E.V.

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, Russia

Keywords: ascorbate, alternative oxidase, L-galactose pathway, ascorbate-glutathione cycle, moderately high light

РАЗРАБОТКА КЛЕТОЧНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТИНЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Силинская С.А.^{1*}, Мешалкина Д.А.^{2,3}, Фролов А.А.¹

¹ Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: svetlanasilsv@mail.ru

Болезнь Альцгеймера (БА) представляет собой нейродегенеративное заболевание, которое характеризуется тяжелым поражением головного мозга и является наиболее распространенным типом деменции. На сегодняшний день, БА является неизлечимым расстройством, молекулярные основы которого охарактеризованы не полностью. В настоящее время проводятся многочисленные исследования, направленные на поиск подходов для подавления образования аномальных агрегатов амилоидного пептида А β и связанной с этим токсичности. В результате этих исследований был выявлен ряд веществ, которые обеспечивают, замедление и прекращение полимеризации или даже разборку бета-амилоидных агрегатов (полифенолы, тетрациклины, стеролы).

В ходе исследования была успешно поставлена клеточная модель болезни Альцгеймера для дифференцированных клеток линии SH-SY5Y. Было установлено, что концентрация А β ₍₂₅₋₃₅₎ 15 мкмоль/л позволяет достичь 80%-ной выживаемости клеток, необходимой для получения адекватного ответа на внесение пептида А β в среду. Клеточная модель была успешно валидирована с помощью референсных соединений с доказанной эффективностью. При добавлении розмариновой кислоты в концентрации 5 мкмоль/л, наблюдали протекторную активность клеток нейробластомы человека. С использованием созданной модели была выявлена нейропротекторная активность при добавлении экстрактов бурых водорослей *Pelvetia canaliculata* и *Fucus vesiculosus* в концентрациях 0,01 мг/мл и 0,003 мг/мл, соответственно.

Ключевые слова: болезнь Альцгеймера; клетки нейробластомы человека линии SH-SY5Y; флоротаннины; бурые водоросли; *Pelvetia canaliculata*; *Fucus vesiculosus*.

DEVELOPMENT OF A CELL-BASED TEST SYSTEM FOR ASSESSING THE ANTINEURODEGENERATIVE EFFECTS OF PLANT EXTRACTS AND THEIR COMPONENTS

Silinskaia S.A.¹, Meshalkina D.A.^{2,3}, Frolov A.A.¹

¹ Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

³ Institute of Experimental Medicine, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: Alzheimer's disease; human neuroblastoma cells of the SH-SY5Y line; phlorotannins; brown algae; *Pelvetia canaliculata*; *Fucus vesiculosus*.

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПРИ ПОЗЕЛЕНЕНИИ ПЕРВОГО ЛИСТА ЯЧМЕНЯ

Синенко О.С.* , Малева М.Г., Киселева И.С.

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: olga_sinenko@list.ru

Первый лист ячменя является одной из классических моделей для изучения процессов онтогенеза клетки. Неразрушающий метод флуоресценции позволяет проследить изменения, происходящие в пластидах и фотосинтетических комплексах в процессе позеленения этиолированных проростков.

Этиолированные 7-дневные растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Ача» облучали белым светом 350 мкмоль/м²с в течение 16 часов. Начальную флуоресценцию (F_0), максимальную флуоресценцию (F_m) и максимальную фотохимическую эффективность фотосистемы II (F_v/F_m) измеряли флуориметром «Nandy PEA+» Hansatech по стандартной методике к прибору через 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 12, 16 ч после начала освещения. В каждой временной точке первый лист разделяли на 3 зоны: I – деления клеток, II – растяжения, III – закончивших рост клеток.

Через 30 минут после начала освещения F_0 фиксировали только в III зоне (1119,5 отн. ед.). Через 3 ч F_0 увеличилась в 2,3 раза, а к 8 ч освещения снизилась в 1,5 раза и вышла на плато. Во II зоне F_0 зафиксировали через 4 ч (750 отн. ед.), к 6 ч она увеличилась в 4,7 раза, к 8 ч ее значение снижалось и вышло на плато. В I зоне F_0 (517 отн.ед.) зафиксировали через 8 ч после начала освещения, через 12 ч F_0 увеличилась в 10 раз и далее не изменилась. Кривая F_m имеет схожую динамику с кривой F_0 во всех трех зонах. В норме у растений $F_v/F_m = 0.83$; во всех трех зонах значение этого показателя было ниже, свидетельствуя о неэффективности переноса электронов между молекулами пигментов в светособирающем комплексе фотосистемы II и недостаточной сформированности фотосистем. В первые часы после начала освещения в III зоне, где клетки завершили рост, активно происходило формирование фотосинтетических комплексов и мембранных структур хлоропластов. В клетках, локализованных у основания листа, комплексы фотосистем в пластидах начали формироваться только через 8 ч освещения.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, этиолированные растения, позеленение флуоресценция

CHANGES IN FLUORESCENCE PARAMETERS DURING THE GREENING OF THE FIRST BARLEY LEAF

Sinenko O.S., Maleva M.G., Kiseleva I.S.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Keywords: *Hordeum vulgare*, etiolated plants, greening, fluorescence

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ЧАСТОТОЙ 14,3 ГЦ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОРОСТКОВ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Синицына Ю.В. *, Кальясова Е.А., Мшенская Н.С., Ашутова Е.А.,
Кощеева В.М., Ракова Ю.В.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород, Россия

*E-mail: jsin@inbox.ru

Исследовали воздействие магнитного поля с частотой 14,3 Гц, совпадающей со второй гармоникой электромагнитного излучения Шумановского диапазона (ШЭМИ) – природного излучения, характерного для ионосферы Земли. Опытную группу проростков пшеницы с момента замачивания и по четырнадцатый день вегетации ежедневно в течение 30 мин подвергали обработке ШЭМИ с частотой 14,3 Гц и напряженностью 18 мкТл. Контрольная группа находилась в аналогичных условиях, но без магнитного поля. Для оценки влияния хронического облучения ШЭМИ на проростки раз в несколько дней регистрировали длину побега, первого и второго листьев, время появления второго листа. На 14 сутки эксперимента оценивали состояние устьичного аппарата размер, долю закрытых и открытых устьиц, плотность устьиц, устьичный индекс.

Показано, что при воздействии ШЭМИ у растений уменьшались длина побега на 12-15% и длина первого ювенильного листа на 11-13%, но длина второго листа статистически не отличалась от контроля. Воздействие ШЭМИ замедляло появление второго листа на одни сутки. Были обнаружены изменения морфологии эпидермиса и состояния устьичного аппарата, наиболее выраженные на втором листе: увеличилось количество открытых устьиц на адаксиальной стороне на 30%, на абаксиальной – на 20%, уменьшилась ширина закрытых устьиц на 20%. Устьичный индекс опытной и контрольной групп растений при этом не различался.

Таким образом, ежедневное получасовое воздействие электромагнитного излучения с частотой 14,3 Гц на проростки растений пшеницы уменьшало их размеры и замедляло формирование второго листа. Вызванные воздействием магнитного поля морфологические перестройки устьичного аппарата, вероятно, могут вызывать изменение скорости транспирации и модифицировать устойчивость растений к неблагоприятным воздействиям.

Ключевые слова: пшеница, устьица, электромагнитное поле, резонанс Шумана

STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION WITH A FREQUENCY OF 14.3 Hz ON THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL STATE OF WHEAT SEEDLANTS

Sinitsyna Yu.V., Kalyasova E.A., Mshenskaya N.S., Ashutova E.A.,
Koshcheeva V.M., Rakova Yu.V.

Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod, Russia

Keywords: wheat, stomata, electromagnetic field, Schumann resonance

ВЛИЯНИЕ САХАРОЗЫ И ЭКЗОГЕННОГО ЦИТОКИНИНА НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ СЕНСОРНЫХ ГИСТИДИНКИНАЗ КАРТОФЕЛЯ *SOLANUM TUBEROSUM*

Синькевич И.А.* , Мякушина Ю.А., Колачевская О.О., Гетман И.А.,
Архипов Д.В., Дейграф С.В., Романов Г.А.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, 127276 Москва, Россия

*E-mail: sinkevich_ia@mail.ru

Картофель является ценной продовольственной культурой, которая занимает второе место по объему производства после зерновых. На урожайность картофеля влияет множество внешних факторов, таких, как фотопериод, температура и доступность минеральных удобрений. Кроме того, важную роль в формировании клубней играют эндогенные соединения, к которым относятся фитогормоны. Ранее было показано, что такие гормоны, как цитокинины, могут ускорять и усиливать клубнеобразование картофеля. В еще большей степени индукция клубнеобразования зависит от углеводов. В условиях *in vitro* индукция образования клубней происходит только на среде с 5-10% сахарозы. В этой связи приоритетной задачей является изучение взаимодействия гормональной и метаболитной (углеводной) регуляции морфогенеза картофеля, в том числе на уровне генной экспрессии. Мы изучили экспрессию генов рецепторов цитокининов в различных органах растений картофеля *Solanum tuberosum* сорта Дезире, выращенных *in vitro* на среде с различным содержанием сахарозы (1.5 и 5%). Кроме того, была исследована реакция данных генов на воздействие экзогенного цитокинина N6-бензиладенина (БА) в концентрации 1 мкМ. На среде с 1.5% сахарозы в листьях доминировала экспрессия гена *StHK3*, а в стеблях превалировала экспрессия гена *StHK4*. Оба гена проявляли значительную активность также и в корнях. На среде с 5% сахарозы происходила активация экспрессии генов *StHK2* в корнях и *StHK3* во всех органах картофеля. В присутствии 1.5% сахарозы обработка растений гормоном цитокинином вызывала активацию экспрессии рецептора *StHK4* в листьях в 2.5 раза. Также было зарегистрировано достоверное увеличение экспрессии гена *StHK2* в листьях и стеблях. В присутствии 5% сахарозы отмечалось резкое усиление экспрессии гена *StHK3* в листьях и корнях. Таким образом, сахароза влияет на гормональную систему растений картофеля на уровне генной экспрессии. При этом эффекты сахарозы гено- и органо-специфичны. Воздействуя на экспрессию рецепторов цитокининов, сахароза влияет тем самым на чувствительность клеток и тканей к соответствующим фитогормонам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проекты №23-24-00540 и №22-14-00259).

Ключевые слова: цитокининовые рецепторы, N6-бензиладенин, сахароза, взаимодействие, картофель, клубни.

EFFECT OF SUCROSE AND EXOGENOUS CYTOKININ ON THE EXPRESSION OF SENSOR HISTIDINE KINASES IN POTATO *SOLANUM TUBEROSUM*.

Sinkevich I.A., Myakushina Y.A., Kolachevskaya O.O., Getman I.A.,
Arkhipov D.V., Deigraf S.V., Romanov G.A.

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, 127276 Moscow, Russia

Keywords: cytokinin receptors, N6-benzyladenine, sucrose, crosstalk, potato, tubers.

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ АГРОЦЕНОЗОВ РИСА И МОНИТОРИНГ ИХ СОСТОЯНИЯ

Скаженник М.А.^{1*}, Чижиков В.Н.¹, Петрушин А.Ф.², Киселев Е.Н.³,
Балясный И.В.¹, Метрофанов Е.П.², Пшеницына Т.С.¹

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», п. Белозерный, 3, Краснодар, Россия.

² ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, Россия.

³ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», ул. Ставропольская, 149, Краснодар, Россия.

*E-mail: sma_49@mail.ru

Целью работы является изучить продукционный процесс разных типов сортов риса и разработать научно обоснованные способы мониторинга физиологического состояния посевов в течение вегетации и прогнозирования урожая. Фотосинтетическую деятельность растений интенсивных и экстенсивных сортов риса на разных фонах минерального питания изучали по листовой поверхности посевов, биомассе растений с единицы площади. При образовании сомкнутого посева, когда приход энергии ФАР и концентрация CO₂ в воздухе лимитируют образование биологического урожая (общей биомассы), характер распределения ассимилятов по органам растения и побега является основным физиологическим механизмом формирования разной урожайности интенсивных и экстенсивных сортов риса, приводящий к неодинаковой доле стеблей и метелок в общей надземной биомассе посевов в период выхода в трубку, что является причиной неодинаковой величины уборочного индекса (K_{хоз}). Получено уравнение линейной регрессии, которое оценивает степень связи урожайности с NDVI, индексом листовой поверхности (ИЛП) и надземной биомассой. Аналогичные данные были получены по распределению вегетационного индекса NDVI в полевом эксперименте с помощью БПЛА с мультиспектральной камерой в 2021 году. На поле 9 представлена гистограмма (сортов Фаворит и Каурис), отражающая распределение вегетационного индекса по данным съемки с БПЛА в фазу кущения в зависимости от фона азотного питания с преобладанием в пределах 0,48-0,64 (N₁₁₅) и 0,80-0,82 (N₁₆₁) единиц, что соответствует средней и оптимальной обеспеченности растений азотом. При внесении N₁₁₅ урожайность сорта Фаворит составила 5,3 т/га, на фоне N₁₆₁ она увеличилась до 7,0 т/га, а у сорта Каурис - 6,6 и 7,2 т/га. Диагностика тестовых участков на основе средств дистанционного зондирования позволяет контролировать состояние посевов. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-416-230021.

Ключевые слова: рис, надземная масса, индекс листовой поверхности, вегетационный индекс, беспилотный летательный аппарат, урожайность

RESEARCH OF RICE CROPS IN RELATION TO THEIR STATE

Skazhennik M.A.¹, Chizhikov V.N.¹, Petrushin A.F.², Kiselev E.N.³, Balyasnyi I.V.¹,
Mitrofanov E.P.², Pshenitsyna T.S.¹

¹ FGBNU «Federal Scientific Rice Centre»,
p/o Belozernoe, 3 Krasnodar, Russia

² FGBNU «Agrophysical Research Institute», Saint Petersburg, Russia

³ FGBOU VO «Kuban State University», Stavropol st., 149, 350040, Krasnodar, Russia

Keywords: rice, aboveground mass, leaf area index, vegetation index, unmanned aerial vehicle, yield

АНТИМИКРОБНЫЕ ПЕПТИДЫ *THINOPYRUM ELONGATUM*

Слезина М.П.* , Одинцова Т.И.

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия;

*E-mail: omey@list.ru

Пырей удлинённый *T. elongatum* – растение семейства Poaceae, которое растет повсеместно и обладает высокой урожайностью. Устойчивость пырея к грибным заболеваниям, низким температурам, засоленности почвы, засухе делает этот вид уникальным объектом для изучения механизмов формирования устойчивости растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам. Антимикробные (АМП) и регуляторные пептиды, являющиеся неотъемлемой частью защитной системы всех растений, у пырея не изучены.

Цель настоящей работы состояла в поиске *in silico* генов АМП и регуляторных пептидов в геноме пырея удлинённого. С использованием разработанного нами ранее алгоритма был выявлен 151 ген АМП-подобных и регуляторных пептидов, связанных с активацией и развитием иммунного ответа. Из АМП-подобных пептидов выявлены дефензины, липид-переносящие белки, снакины, тионины, гевеиноподобные пептиды. Из регуляторных пептидов обнаружены пептиды семейств Ole e 1, MEG, RALF и PEP. Кроме того найдены пептиды с новым цистеиновым мотивом. В генах дефензинов, снакинов, пептидов Ole, PEP и тионинов выявлены интроны. Все последовательности пептидов являются новыми, сходство с пептидами злаков, аннотированными в базах данных NCBI, составило 62–99%. Исследование антимикробной активности γ -коров АМП пырея, идентичных по аминокислотной последовательности с γ -корами АМП пшеницы, выявило их высокую антимикробную активность против грибных и бактериальных патогенов растений и человека, таких как *Fusarium* spp., *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans*, *Clavibacter michiganensis*, и др.

Выявленное разнообразие АМП и регуляторных пептидов пырея удлинённого открывает новые возможности для их функционального исследования и вносит вклад в представление об иммунной системе этого вида. Обнаруженные в ходе функциональных исследований биологически активные пептиды смогут найти практическое применение в защите сельскохозяйственных культур от болезней и абиотического стресса, а также в медицине при создании новых лекарственных препаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-16-00010.

Ключевые слова: антимикробные пептиды (АМП), иммунитет растений, *Thinopyrum elongatum*

ANTIMICROBIAL PEPTIDES OF *THINOPYRUM ELONGATUM*

Slezina M.P., Odintsova T.I.

Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: antimicrobial peptides (AMPs), plant immunity, *Thinopyrum elongatum*

МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛИСТЬЕВ МЕЗОФИТНОГО И ГИДРОФИТНЫХ ВИДОВ КИПРЕЯ

Смирнов П.Д.^{1*}, Пузанский Р.К.^{1,2}, Ванисов С.А.¹, Дубровский М.Д.¹, Шаварда А.Л.^{1,2}, Емельянов В.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: p.d.smirnov@gmail.com

Проблемы адаптации к кислородной недостаточности чаще всего изучаются на представителях культурных растений или модельных объектах, которые в большинстве своем слабоустойчивы к гипоксии. Исследования, посвященные адаптивным механизмам флоры водных экосистем, практически отсутствуют. К числу таких растений можно отнести представителей рода Кипрей (*Epilobium* L.).

В настоящем исследовании проведено метаболомическое профилирование листьев двух гидрофитных и мезофитного вида кипреев для выявления наиболее характерных изменений метаболома, свойственных устойчивым к дефициту кислорода растениям. С помощью ГХ-МС нами были проанализированы метаболитные профили листьев *Epilobium angustifolium* (мезофит), *E. hirsutum* и *E. palustre* (гидрофиты). Полученные профили включали около 360 соединений, из которых было идентифицировано около 70 соединений, еще для примерно 50 соединений был определен класс.

Для выявления сходств и различий метаболомов был применен метод главных компонент (PCA). По главной компоненте 1, объясняющей 28,6 % дисперсии, профиль метаболитов *E. angustifolium* резко отличался от таковых двух других видов, практически неотличимых друг от друга.

Для выявления метаболитов, характерных для мезофита и гидрофитов, мы применили дискриминантный анализ методом ортогональных проекций на латентные структуры (OPLS-DA). Таким образом, были выявлены различия метаболитных профилей мезофита и гидрофитов. Метаболиты гидрофитных кипреев практически не отличались друг от друга и характеризовались аккумуляцией аминокислот, в том числе интермедиатов ГАМК-шунта, дикарбоновых кислот цикла Кребса и метаболитов гликолиза и молочнокислого брожения, что отражает стимуляцию у них анаэробного дыхания, азотного обмена и альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н. Подобные изменения характерны и для других устойчивых к дефициту кислорода растений и могут быть использованы для оценки степени устойчивости к кислородной недостаточности.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 22-24-00484).

Ключевые слова: гипоксия; гидрофиты; мезофит; метаболомика; ГХ-МС; *Epilobium*

METABOLITE PROFILING OF LEAVES OF MESOPHYTIC AND HYDROPHYTIC FIREWEED SPECIES

Smirnov P.D.¹, Puzanskiy R.K.^{1,2}, Vanisov S.A.¹, Dubrovskiy M.D.¹, Shavarda A.L.^{1,2}, Yemelyanov V.V.¹

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

² Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Keywords: hypoxia; hydrophytes; mesophyte; metabolomics; GC-MS; *Epilobium*

ВЛИЯНИЕ РОСТСТИМУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К ДЕЙСТВИЮ КАДМИЯ

Смирнова Ю.В.* , Лебедева Э.И., Кадырова М.Н.

Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВО «УУНиТ», Стерлитамак, Россия

*E-mail: bh84@mail.ru

Исследовано влияние ростстимулирующих препаратов на ростовые показатели и содержание малонового диальдегида (МДА) в тканях гороха посевного (Воронежский зеленый) при воздействии кадмия. Эксперименты проводили в условиях лаборатории. Семена обрабатывали препаратами: «НаноКремний» на основе наночастиц кремния (ООО «НАНОКРЕМНИЙ»), разбавляли дистиллированной водой в 2000 раз; суспензией 10^6 кл/мл *Bacillus subtilis* Cohn: 26Д (коллекция ВНИСХМ С.-Пб., Пушкин, №128); культурой *Chlorella vulgaris*, или баковой смесью препаратов. Семена контрольных растений обрабатывали дистиллированной водой. Растения выращивали 30 дней в вегетационных сосудах с почвой, содержащей Cd^{2+} в концентрации: 10, 200 мг/кг. Далее измеряли массу побегов, отбирали растительный материал для анализа на содержание МДА как индикатора интенсивности окислительного стресса. Содержание МДА в растительных тканях оценивали согласно методу Costa с соавторами (2002), основаному на способности МДА реагировать с 2-тиобарбитуровой кислотой, образуя розовый триметиловый комплекс.

Наибольший ростстимулирующий эффект на растениях гороха как в «чистой» почве, так и при воздействии кадмия был отмечен при обработке смесью «*B.subtilis*+*Ch.vulgaris*+Нанокремний». Определено, что в тканях растений гороха, совместно обработанных клетками бацилл, микроводоросли и «Нанокремнием» концентрация МДА при действии кадмия была ниже, чем у необработанных. В тканях растений, выросших при низкой концентрации кадмия, как обработанных, так и необработанных препаратами, уровень МДА был ниже, чем у проростков, выросших без кадмия. При высокой концентрации металла в почве (200 мг/кг) в тканях необработанных растений происходило накопление МДА: его уровень был выше, чем у контрольных растений на 17%. Растения, обработанные препаратами, как совместно, так и по отдельности, имели более низкие показатели МДА при данной концентрации металла. Наиболее низкие показатели МДА отмечены в варианте «*B. subtilis* 26Д» и «*B.subtilis*+*Ch.vulgaris*+Нанокремний».

Ключевые слова: эндофиты, микроводоросли, тяжелые металлы, кадмий

THE EFFECT OF GROWTH-STIMULATING DRUGS ON PLANT RESISTANCE TO CADMIUM

Smirnova Yu.V.* , Lebedeva E.I., Kadyrova M.N.

Sterlitamak Branch of the Ufa University of Science and Technology, Sterlitamak, Russia

*E-mail: bh84@mail.ru

Keywords: endophytes, microalgae, heavy metals, cadmium

ВЛИЯНИЕ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ ПУТИ БИОСИНТЕЗА ЖАСМОНАТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕМЯН МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Смоленская А.Е.^{1*}, Силинская С.А.², Орлова А.А.², Мирошниченко Д.Н.³, Пиголев А.В.³,
Савченко Т.В.³, Фролов А.А.²

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Москва, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук, Пушкино, Россия

*E-mail: nastya-smolenska.n@ya.ru

Пшеница (*Triticum*) — род однодольных, травянистых растений. Является одной из ведущих зерновых культур мира. Качество мучных изделий напрямую зависит от генотипа и определяемых им особенностей состава пшеничного зерна, и в значительной степени связано с устойчивостью растений к биотическим и абиотическим стрессорам. Растительные гормоны жасмонаты, часто называемые стрессовыми гормонами, являются основными регуляторами устойчивости растений к стрессам как биотической, так и абиотической природы. Несмотря на то, что многочисленные работы, проведенные на различных растениях, включая сельскохозяйственные культуры, подтвердили защитные функции жасмонатов, эти мощные регуляторы до сих пор не нашли широкого применения в сельскохозяйственной практике. В первую очередь это объясняется отсутствием необходимых данных о том, как активация жасмонатной системы сказывается на биологической продуктивности растений и качестве сельскохозяйственной продукции, т.е. содержании в семенах воды, белка, углеводов.

Поэтому, в данной работе были изучены 15 линий тетраплоидной и гексаплоидной яровой пшеницы, характеризующихся измененной экспрессией ключевых генов пути биосинтеза жасмонатов: алленоксидсинтазы (AOS) и 12-оксофитодиеноат редуктазы (OPR), включая растения, сверхэкспрессирующие хорошо охарактеризованные гены *Arabidopsis thaliana* AtAOS и AtOPR3, а также их мало охарактеризованные гомологи из пшеницы. В основе испытываемых трансгенных линий были взяты сорта тетраплоидной яровой полбы Руно и гексаплоидной яровой Саратовская-60.

Для анализа пищевой ценности семян проводилось определение относительного влагосодержания зерновок, а также оценивалось содержание в них тотального белка по методу Кельдаля, крахмала методом Эверса, с определением основных фракций последнего – амилозы и амилопектина. Определение сырой клетчатки методом Weende и суммы фенольных соединений по методу Фолина и Чокальтеу в модификации Синглтона и Росси. В исследуемых зерновках гексаплоидных трансгенных линиях с суперэкспрессией гена AtOPR3 наблюдалось повышение доли общего белка, наряду с пониженным влагосодержанием. У семян с суперэкспрессией гена алленоксидсинтазы AOS тетраплоидных линий пшеницы зафиксирован повышенный процент влагосодержания по сравнению с контролем, при этом у них наблюдалось снижение уровня белка. В результате анализа данных у трансгенных линий присутствовала отрицательная корреляция ($r = -0,666$) между содержанием белка и крахмала в зерне. К видимому снижению доли амилозы привела суперэкспрессия генов алленоксидсинтазы как у гексаплоидных, так и тетраплоидных линий пшеницы. Результаты анализа на содержание сырой клетчатки выявили наибольшие показатели у нетрансгенных растений (Саратовская-60) $2,73 \pm 0,07\%$, а наименьшее у семян линии RA4 до $1,45 \pm 0,09\%$. Изученные трансгенные линии пшеницы характеризовались низким содержанием суммарных фенолов в пределах от $0,86 \pm 0,01$ мг*экв/ г сухой муки в образцах линии RC29 до $1,62 \pm 0,03$ мг*экв/ г сухой муки у растений RA3.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 22-16-00047).

Ключевые слова: пшеница, *Triticum*, биохимия зерна, трансгенные растения, жасмонаты, качество зерна

EFFECT OF OVEREXPRESSION OF JASMONATE BIOSYNTHESIS PATHWAY GENES ON BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SOFT WHEAT SEEDS

Smolenskaya A.E.¹, Silinskaya S.A.², Orlova A.A.², Miroshnichenko D.N.³, Savchenko T.V.³,
Pigolev A.V.³, Frolov A.A.²

¹ Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

² K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

³ Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Keywords: wheat, *Triticum*, grain biochemistry, transgenic plants, jasmonates, grain quality

ФУНКЦИИ ХЛОРОФИЛЛОВ В СЕМЕНАХ РАСТЕНИЙ

Смоликова Г.Н.^{1*}, Степанова Н.В.², Медведев С.С.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Институт биоинженерии им. К.Г. Скрябина ФГУ ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

*E-mail: g.smolikova@spbu.ru

Большинство исследований, связанных с повышением продуктивности сельскохозяйственных растений, сосредоточены на анализе и измерениях параметров фотосинтеза на уровне листа. Тем не менее, в клетках других органов растений также могут синтезироваться хлорофиллы и формироваться функционально активные хлоропласты. В последнее десятилетие стало активно развиваться направление, связанное с изучением механизмов «нелистового» (non-foliar) фотосинтеза, происходящего в черешках листьев, стеблях, коре, плодах и др. Несмотря на то, что эти процессы вносят значительный вклад в продуктивность растений, их вклад часто игнорируется, а механизмы изучены недостаточно. К «нелистовому» типу фотосинтеза относят также процессы, происходящие в формирующихся семенах растений с зеленым зародышем. При этом образующиеся в зародышах НАДФН и АТФ расходуются не на фиксацию атмосферного CO₂, а на фиксацию CO₂, выделяющегося при дыхании, и превращение поступающей из материнского растения сахарозы в жирные кислоты. Следует отметить, что O₂, выделяющийся при фотоокислении воды, также играет важную роль, поскольку поддерживает митохондриальное дыхание формирующихся семян. Таким образом, эмбриональный фотосинтез обеспечивает преимущество растений вследствие более эффективного использования углерода и накопления запасных питательных веществ. На завершающих этапах созревания семян фотохимические процессы прекращаются и эмбриональные хлорофиллы должны деградировать. Однако, у разных видов растений степень деградации хлорофиллов может различаться. Неполная деградация хлорофиллов – нежелательное явление, сопряженное с нарушением поздних этапов созревания семян и приводящее к снижению устойчивости семян к абиотическим стрессорам при хранении и прорастании. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22–26–00273, (<https://rscf.ru/project/22-26-00273>).

Ключевые слова: семена, формирование семян, хлорофиллы, «нелистовой» фотосинтез, устойчивость семян

FUNCTION OF CHLOROPHYLLS IN PLANT SEEDS

Smolikova G.N.^{1*}, Stepanova N.V.², Medvedev S.S.¹

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

² Federal Research Centre “Fundamentals of Biotechnology”, RAS, Institute of Bioengineering, Moscow, Russia

Keywords: seeds, seed development, chlorophylls, "non-foliar" photosynthesis, seed tolerance

КЛЕТОЧНАЯ СЕЛЕКЦИЯ ГОРОХА НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ

Соболева Г.В.¹, Соболев А.Н.^{2*}

¹ ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур», Орел, Россия

² ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Россия

*E-mail: alniksobolev@rambler.ru

Для целенаправленного создания сортов гороха устойчивых к засухе использовали клеточную селекцию *in vitro*. Разработаны эффективные селективные системы с ПЭГ-6000 для дифференциации генотипов к водному дефициту *in vitro* и отбора резистентных каллусов. Определены основные условия для стимуляции побегообразования и получения корнесобственных растений-регенерантов. На уровне каллусных культур в условиях смоделированной засухи *in vitro* не выявлено достоверных отличий между листочковым и усатым морфотипами гороха. Но по способности к регенерации побегов и индукции ризогенеза листочковые морфотипы превосходят усатые. Семенное потомство полученных после клеточной селекции растений-регенерантов по физиологическим показателям имело большую устойчивость к засухе в сравнении с исходными генотипами и сортами-стандартами. Оценка хозяйственно значимых признаков выявила различия как между регенерантными линиями, так и в сравнении со стандартом. В результате по комплексу показателей была выделена регенерантная линия, переданная на Государственное сортоиспытание как сорт Столетник. Сорт листочковый, белоцветковый, детерминантный, формирует плотный стеблестой, устойчивый к полеганию. Средняя урожайность семян за годы конкурсного сортоиспытания составила 32,3 ц/га. Максимальная урожайность получена в 2019 году в условиях дефицита влаги в почве и высокого температурного фона в критические фазы онтогенеза растений, определяющих продуктивность. Сорт более скороспелый в сравнении со стандартом. Вкусовые качества зерна высокие.

Ключевые слова: горох, морфотип, *in vitro*, каллус, засухоустойчивость, регенерация.

SELL SELECTION OF PEA FOR DROUGHT-RESISTANCE

Soboleva G.V.¹, Sobolev A.N.^{2*}

¹ FSBSI «Federal scientific center of legumes and groat crops», Orel, Russia

² FSBEI HE «I.S. Turgenev State University, Orel», Orel, Russia

Keywords: peas, morphotype, *in vitro*, callus, drought-resistance, regeneration

ПЕРВИЧНЫЕ, ВТОРИЧНЫЕ И ТРЕТИЧНЫЕ ЭНДОСИМБИОЗЫ ХЛОРОПЛАСТОВ У РАСТИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Стадничук И.Н. *, Кузнецов В.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Российская федерация
E-mail: stadnichuk@mail.ru

Теория эндосимбиотического происхождения хлоропластов создана в 1905 г. выдающимся русским биологом К.С. Мережковским на основе выявленных им одинаковых свойств цианобактерий и хлоропластов диатомовых водорослей. Теория создана несмотря на отсутствие к тому времени разделения организмов на про- и эукариоты и разную пигментацию клеток диатомей и цианобактерий. После длительного периода отрицания эндосимбионтная теория с созданием молекулярной биологии получила множество подтверждений, стала важнейшим достижением современной биологии и является базовой в понимании эволюции оксигенного фотосинтеза. Нами анализируются и обсуждаются этапы эндосимбиоза хлоропластов. Первичный эндосимбиоз с предковой цианобактерией возник в трех группах одноклеточных гетеротрофных эукариот, давших начало зеленым, красным и глаукофитовым микроводорослям. Во всех трех группах, названных архепластидными, сформировались двумембранные хлоропласты, затем унаследованные высшими растениями. Фагоцитарный захват красных и зеленых микроводорослей разнообразными микрогетеротрофами привел к появлению четырехмембранных хлоропластов. Этот тип более поздних эндосимбиозов назван вторичным. Самым экзотичным является третичный эндосимбиоз, когда некоторые виды динофлагеллят в условиях изобилия органики утрачивали хлоропласты, а при оскудении органического питания возвращались к фотоавтотрофии, присваивая хлоропласты иных микроводорослей. Эндосимбиогенез имеет большее значение, чем лишь проявление в фотосинтезе, став одним из решающих факторов биологического прогресса, приведшего к разнообразию и огромной сложности эукариотных организмов. Поэтому феномен эндосимбиоза неотделим от теории клеточной эволюции в целом. Современный эволюционизм строится на объединении феномена эндосимбиоза, параллельного переноса генов, теории естественного отбора и данных филогеномики. Эукариогенез объединил в составе клеток разные надмолекулярные комплексы, создал разнообразие органелл, приведя к оксигенации биосферы и современному многообразию форм жизни.

Ключевые слова: фотосинтез, хлоропласты, цианобактерии, эволюция, эндосимбиозы

PRIMARY, SECONDARY, AND TERTIARY ENDOSYMBIOSES

Stadnichuk I.N., Kusnetsov V.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russian Federation

Keywords: cyanobacteria, endosymbioses, chloroplasts, photosynthesis

ФОТОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПЛОДОВ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА

Степанова Н.В.^{1,2*}, Камионская А.М.¹, Медведев С.С.², Смоликова Г.Н.²

¹ Институт биоинженерии им. К.Г. Скрябина ФГУ ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: stepanovanataliia.v@yandex.ru

У многих растений для формирования семян необходим не только фотосинтез листьев, но также фотохимические реакции, происходящие в плодах. Целью работы является анализ фотохимических реакций, протекающих в листьях и формирующихся плодах гороха (*P. sativum*). Оценка светопропускания тканей показала, что ФАР, проходящая сквозь перикарпий и кожуру, характеризуется высокой долей зеленого света; при этом синий свет отсутствует, а количество красного света составляет около 2%. Несмотря на низкую освещенность и спектральные диапазоны, нехарактерные для фотосинтеза листа, семядоли являются фотохимически активными. Мы предположили, что зеленый свет может частично компенсировать отсутствие синего и красного света и, тем самым, повышать количество энергии, используемой семядолями для синтеза запасных питательных веществ. Растения выращивали в вегетационных сосудах в 2-х модулях: модуль КС – освещался синими (400–500 нм) и красными (600–700 нм) светодиодами; модуль КЗС – добавлены зеленые (500–600 нм) светодиоды. Эффективность фотохимических реакций оценивали методом РАМ-флуориметрии с использованием PAR-FluorPen FP 110 (PSI, Чехия) и MINI-PAM (Walz, Германия). Различий по светопропусканию, максимальному (F_v/F_m) и эффективному ($Y(II)$) квантовому выходу ФС II в листьях и плодах растений, сформированных в модулях КС и КЗС, не выявлено. Однако обнаружен эффект значительного увеличения показателя $Y(NO)$ в центре семядолей, сформированных в обоих модулях. Далее мы планируем провести биохимическую оценку семян по количеству накопленных белков, жиров и углеводов, а также метаболомный анализ с использованием ГХ-МС. Также планируется изучить экспрессию ключевых генов, участвующих в фотохимических процессах и реакциях углеродного метаболизма у листьев, перикарпия, кожуры и семядолей. Полученные данные позволят лучше понять механизмы углеродного и энергетического метаболизма при формировании семян с зеленым зародышем. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22–26–00273.

Ключевые слова: семена, формирование семян, светопропускание тканей, спектральный состав света, хлорофиллы, фотохимическая активность, РАМ-флуориметрия

PHOTOCHEMICAL ACTIVITY OF DEVELOPING PEA (*PISUM SATIVUM* L.) PODS DEPENDING ON THE LIGHT SPECTRAL COMPOSITION

Stepanova N.V.^{1,2*}, Kamionskaya A.M.¹, Medvedev S.S.², Smolikova G.N.²

¹ Federal Research Centre “Fundamentals of Biotechnology”, RAS, Institute of Bioengineering, Moscow, Russia

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Keywords: seeds, seed development, tissue light transmission, light spectral composition, chlorophylls, photochemical activity, PAM-fluorometry

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА БАЗЕ КОЛЛЕКЦИИ БОРОДАТЫХ КОРНЕЙ ИФР РАН

Степанова А.Ю. *, Соловьева А.И. Малунова М.В., Евсюков С.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, группа специализированного метаболизма корней Отдела биологии клетки и биотехнологии, Москва, Россия

*E-mail: step_ann@mail.ru

Коллекция бородастых корней «*hairy roots*» ИФР РАН была основана Кузовкиной И.Н. на базе Группы специализированного метаболизма корней. В настоящее время в Коллекции поддерживается более 50 штаммов *hairy roots*, принадлежащих к 25 видам растений и, 16 линий каллусных культур. Основными объектами исследования являются *hairy roots* представителей рода *Scutellaria*. Бородастые корни являются уникальной системой *in vitro*, способной к быстрому росту на безгормональной среде и значительному синтезу вторичных метаболитов, характерных как для подземной, так и для надземной части растений. Поскольку бородастые корни представляют собой дифференцированные структуры, их можно использовать в качестве модели для изучения пространственного распределения вторичных метаболитов в корнях растений. В нашей группе такие исследования проводятся на примере корней *Ruta graveolens* и *Scutellaria baicalensis*. Бородастые корни могут быть не только инструментом для проведения различных фундаментальных и прикладных исследований, но и способом сохранения редких и исчезающих видов растений, таких как *Rhodiola quadrifida*, которая в коллекции представлена не только в виде бородастых корней, но и каллусов. Чрезвычайно интересно выявить особенности синтеза вторичных метаболитов в дифференцированных и недифференцированных культурах, полученных из них, а также на средах различного состава. Последнее может иметь большое практическое значение. Помимо исследований по выяснению роли вторичных метаболитов в защите растений от стрессовых воздействий и поиска новых продуцентов биологически активных соединений, на базе Коллекции ведется работа по генетической паспортизации штаммов. В заключении хочется отметить, что наличие коллекции дает возможность проводить широкий спектр исследований, что невозможно сделать, имея в своем распоряжении одну или несколько линий.

Ключевые слова: *hairy roots*, коллекция ИФР РАН, *Scutellaria* sp.

BASIC AND APPLIED RESEARCH BASED ON THE HAIRY ROOTS COLLECTION OF THE IFR RAS

Stepanova A.Y., Solov'eva A.I., Malunova M.V., Evsyukov S.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, 127276 Moscow, Russia

Keywords: *hairy roots*, collection of IPP RAS, *Scutellaria* sp.

ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ ГРИБОВ–ЭНДОФИТОВ ВЕРЕСКОВЫХ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАСТЕНИЯ-ХОЗЯИНА

Стручкова И.В.^{1,2*}, Михеев В.С.¹, Марко А.А.¹

¹ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия;

² ООО «Микофит», Бор, Россия;

*E-mail: struchkova65@inbox.ru

При биотехнологическом размножении вересковых микоризация корневой системы является эффективным приемом усиления развития растений. Одной из причин такого улучшения является облегчение поступления в растение фосфат-ионов. Грибы прямо способствуют высвобождению фосфат-ионов из органических соединений почвы посредством выделения фосфатаз, например, фитаз. Накопление фосфора в тканях растения также может быть вызвано грибом опосредовано – изменением корневой архитектуры на более разветвленную, что увеличивает площадь минерального питания. Ранее нами была показана способность некоторых эндофитов вересковых усиливать накопление фосфора у клюквы крупноплодной, однако, для грибов *Phialocephala fortinii* и *Oidiodendron maius* эти механизмы остаются неизученными.

Целью данного исследования являлась оценка способности изолятов *P. fortinii* и *O. maius* к прямому и опосредованному воздействию на накопление фосфора клюквой крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon*).

Активность экстрацеллюлярных фитаз измеряли на 7, 14, 21 и 28 сутки роста. За условную единицу фитазной активности (U) принимали массу фосфора, высвобождаемого ферментом из фитата натрия за 1 мин в расчете на 1 мг белка.

В эксперименте по сокультивированию грибы подсаживали к микрклонально размноженным растениям, высаженным в грунт. После 6 месяцев сокультивирования измеряли морфометрические показатели, и содержание фосфора в растениях.

Максимальная активность фитаз наблюдалась у *O. maius* на 14 сутки (7,4 U), у *P. fortinii* – на 21 сутки (6,91 U). После сокультивирования с *P. fortinii* у растений возрастала разветвленность (на 41%) и длина (на 17%) корневой системы. Сокультивирование с грибом *O. maius* не повлияло на изменение морфологии и содержание фосфора в тканях растения. Наличие фитазной активности у *P. fortinii* и *O. maius* указывает на способность высвобождать фосфор из почвы. Возрастание разветвленности и длины корней – на способность *P. fortinii* изменять строение корневой системы на более эффективное для поступления фосфора.

Ключевые слова: Фосфатмобилизация, темные септированные эндофиты, вересковые растения

PHOSPHORUS NUTRITION OF HEATHER ENDOPHYTE FUNGI AND ITS SIGNIFICANCE FOR THE HOST PLANT

Struchkova I.V.^{1,2}, Mikheev V.S.¹, Marko A.A.¹

¹ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia;

² LLC «Mikofit», Bor, Russia

Keywords: Phosphatmobilization, dark septate endophytes, heather plants

АНТАГОНИСТИЧЕСКОЕ И ИММУНОСТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*, ЗАСЕЛЯЮЩИМИ ВЕГЕТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ, В КОНТРОЛЕ МИЛДЬЮ ВИНОГРАДА

Сундырева М.А.

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, Россия

E-mail: mari.sundy@bk.ru

Одной из существенных проблем широкого применения средств химической защиты растений является проявление резистентности патогенов. Альтернативным способом предотвращения или снижения распространения инфекций является использование биологических средств защиты растений на основе антагонистических или сенсibiliзирующих микроорганизмов. Взаимодействие растения с неспециализированными патогенами способно спровоцировать иммунную реакцию, сенсibiliзировать растение, однако не приведет к заболеванию, и при последующем взаимодействии со специализированным патогеном, будет обладать необходимым пулом метаболитов и защитных веществ для снижения распространения совместимого патогена. Обработка листьев винограда дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* (SC) показала наибольшую эффективность, и площадь листьев с симптомами милдью составила 8 % при 57 % в контроле. SC стимулировали повышение экспрессии генов MYC2, липоксигеназы, алленоксидсинтазы, связанных с синтезом и сигналингом жасмоновой кислоты, салицилат-связанного PR1, а также PR10 и стильбенсинтазы, обеспечивающих защитные реакции против патогенов. Обработка SC обеспечивала снижение содержания малонового диальдегида за счет повышения активности супероксиддисмутазы и пероксидаз, повышение содержания стильбенов ресвератрола и виниферина. Заражение винограда милдью (PV) на фоне SC приводило к большей активности POX, обеспечивающей трансформацию фенольных соединений в микроботоксичные формы, снижению активности SOD, а также увеличению баланса стильбенов в сторону виниферина. Применение SC, существенно снизившее поражаемость милдью, стимулировало паттерны экспрессии защитных генов и биохимических изменений аналогично PV. Биологическая эффективность SC связана, вероятнее всего, не только со стимуляцией защитных реакций, но и с выраженным антагонистическим действием дрожжей по отношению к милдью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-016-00210 А

Ключевые слова: виноград, биоконтроль, прайминг, *Saccharomyces cerevisiae*, *Plasmopara viticola*

ANTAGONISTIC AND IMMUNOSTIMULATING ACTION OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* AS A BIOCONTROL AGENT OF DOWNY MILDEW IN GRAPES

Sundyreva M.A.

Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Research Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking», Krasnodar, Russia

Keywords: grapes, biocontrol, priming, *Saccharomyces cerevisiae*, *Plasmopara viticola*

МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ САХАРОЗЫ НА ГРАВИТРОПИЗМ ПОБЕГОВ *ARABIDOPSIS THALIANA*

Суслов Д.В.^{1*}, Пожванов Г.А.², Липчинский А.А.³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ ГБОУ СОШ №619 Калининского района Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Россия;

*E-mail: d.suslov@spbu.ru

Отклонение побега растения от вертикали запускает его гравитропизм – ростовой изгиб, восстанавливающий нормальное положение данного органа относительно вектора силы тяжести. Известно, что сахароза усиливает гравитропизм за счет накопления крахмала в амилопластах, участвующих в восприятии гравитационного стимула. Мы обнаружили, что в гипокотилиях проростков арабидопсиса, выращенных на среде с сахарозой, наблюдается снижение уровня маннанов – минорных гемицеллюлоз, которые тормозят гравитропизм на уровне механики клеточных стенок. Целью настоящего исследования было выяснение возможного вклада маннанов в механизм усиления гравитропизма побегов сахарозой. Изучали состав метаболитов (ГХ-МС) и биомеханику (метод крипа) гипокотилей гравистимулированных (поворот на 90° относительно вектора силы тяжести) и негравистимулированных проростков арабидопсиса, выращенных на среде с сахарозой или без нее. Сравнивали полученные данные с результатами анализа тройного мутанта арабидопсиса *cs1a2cs1a3cs1a9* с отсутствием маннанов в клеточных стенках.

Анализ биомеханики клеточных стенок гипокотилей выявил большую скорость крипа у выращенных в присутствии сахарозы гравистимулированных проростков по сравнению с негравистимулированными при рН 5. Таким образом, влияние сахарозы на гравитропизм, по-видимому, связано с увеличением активности белков экспансинов, опосредующих кислое растяжение клеточных стенок. Метаболомный анализ показал мощную перестройку метаболизма под влиянием сахарозы, которая маскировала вероятные тонкие изменения уровня метаболитов, ответственные за формирование гравитропического изгиба. С другой стороны, усиление гравитропизма гипокотилей у мутанта *cs1a2cs1a3cs1a9* сопровождалось изменением характера взаимодействий между полимерами клеточной стенки с вероятным участием обогащенных гидроксипролином структурных гликопротеинов. Полученные данные не поддерживают вклад маннанов в механизм действия сахарозы на гравитропизм побегов.

Работа поддержана грантом РФФ № 23-24-00379.

Ключевые слова: гравитропизм, клеточная стенка, сахароза, маннаны, крип, метаболомика

MECHANISMS OF THE SUCROSE EFFECT ON *ARABIDOPSIS THALIANA* SHOOT GRAVITROPISM

Suslov D.V.¹, Pozhvanov G.A.², Lipchinsky A.A.³

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

² Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

³ School №619 of the Kalininsky district of St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

Keywords: gravitropism, cell wall, sucrose, mannans, creep, metabolomics

КООРДИНАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ В ОТВЕТ НА ВОДНЫЙ СТРЕСС

Суслов М.А.

Казанский институт биохимии и биофизики, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Казань, Россия
E-mail: makscom87@mail.ru

Адаптация растений к абиотическим стрессам происходит, в частности, путём изменения в работе гидравлической системы растений, как в отдельных её частях, так и на уровне всего растения. Одной из важных проблем в этой области является проблема исследования координации и динамики физиологических и молекулярных процессов в различных частях целого растения, вовлечённых в адаптацию гидравлической системы к стрессам. В работе была исследована динамика радиального транспорта воды в корнях и интенсивность транспирации в листьях интактных растений кукурузы, а также экспрессия генов и локализация аквапоринов в корнях и листьях в условиях водного стресса, индуцированного действием на корни 10% раствора ПЭГ6000. Параметры транспорта воды в корнях и интенсивность транспирации в листьях измеряли в интактных растениях непрерывно в течение длительного времени непосредственно при действии водного стресса в контролируемых условиях окружающей среды. Показано, что в течение первых минут после начала воздействия водного стресса интенсивность трансмембранного и симпластного транспорта воды в корнях снижается с параллельным, кратковременным повышением скорости транспирации в листьях и, предположительно, апопластного переноса в корнях. Затем, после снижения транспирации интенсивность трансклеточного переноса воды восстанавливается приблизительно до исходных значений и сопровождается параллельным увеличением уровня экспрессии некоторых генов РІР аквапоринов в корнях и листьях, изменением локализации аквапоринов в тканях корня и изменением рН ксилемного сока. Таким образом, в условиях водного стресса, в корнях растений кукурузы преобладающим становится межклеточный транспорт воды через аквапорины. Предполагается, что изменение рН ксилемного сока может быть сигналом, вовлечённым в механизмы координации корней и побегов, в ответ на водный стресс.

Работа поддержана грантом № 22-74-10087 Российского научного фонда (<https://rscf.ru/en/project/22-74-10087>).

Ключевые слова: транспорт воды, гидравлическая система растений, механизмы координации, аквапорины

COORDINATION OF COMPONENTS OF HYDRAULIC SYSTEM OF MAIZE PLANTS IN RESPONSE TO WATER STRESS.

Suslov M.A.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: water transport, plant hydraulic system, coordination mechanisms, aquaporins

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛЯЦИИ ТРАНСЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ (НА МОДЕЛИ ТОМАТА) В УСЛОВИЯХ ХОЛОДОВОГО СТРЕССА

Сухорукова А.В. *, Тюрин А.А., Голденкова-Павлова И.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: sualsha@yandex.ru

В природе растения подвергаются различным биотическим и абиотическим стрессам. Абиотические стрессы влияют на распространение растений, а также негативно сказываются на экономике, влияя на производительность урожая. Поэтому понимание того, как растения адаптируются к неблагоприятным условиям окружающей среды, является важной задачей для глобальной продовольственной безопасности. Низкая температура относится к числу наиболее распространенных стресс-факторов, оказывающих повреждающее воздействие на растительный организм. Представленная работа была направлена на изучение механизмов формирования низкотемпературной устойчивости у растений.

В качестве модели использовали растения томатов (*Solanum lycopersicum*), геном которого достаточно хорошо аннотирован. Растения томатов выращены в нормальных условиях жизнедеятельности - температура +22°C, 16-часовой фотопериод и освещенность 100 мкмоль/(м² с), в возрасте шести недель (5–7 листьев), осуществлено закаливание растений (температура +4°C, 16-часовой фотопериод и освещенность 100 мкмоль/(м² с)) с последующим низкотемпературным стрессом для растений (после закаливания и без применения закаливания) при температуре +1°C в течение 2 часов.

На основании классических физиолого-биохимических маркеров (индекс повреждения за счет оценки выхода электролитов, накопление сахарозы и малонового диальдегида) проведена оценка наличия стрессовой реакции на низкотемпературное воздействие у экспериментальных растений.

Для оценки трансляционного статуса применены методы высокопроизводительного анализа: профилирование полисомом и RNA-Seq.

В результате полученных данных получилось оценить относительную трансляционную эффективность. Результаты секвенирования послужат основой для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Работа поддержана грантом РФФИ №22-74-10064

Ключевые слова: Трансляция, регуляторные элементы, регуляция экспрессии, полисомное профилирование, транскриптом, низкие температуры

FUNCTIONAL ANALYSIS OF PLANT REGULATION OF TRANSLATION (ON TOMATO MODEL) IN COLD STRESS CONDITIONS

Suhorukova A.V., Tyurin A.A., Goldenkova-Pavlova I.V.

Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: Translation, regulatory elements, expression regulation, polysomal profiling, transcriptome, low temperatures

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ *SOLANUM TUBEROSUM* L.

Сушкова Д.В.* , Мурган О.К., Ефимова М.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Биологический институт, Томск, Россия;

*E-mail: dary.108@mail.ru

Изучение brassinosteroidов является перспективным направлением исследований в биологии растений. Агропромышленный потенциал стероидных гормонов выражается в экологической безопасности, эффект стимулируется в условиях низкой концентрации гормона в среде. Brassinosteroidы оказывают влияние на разные этапы онтогенеза растений, изменяя активность ферментов, гормональный статус, стимулируя рост клеток. Лактонсодержащие brassinosteroidы (brassinolide, 24-эпibrassinolide (ЭБЛ) и др.) являются активными и наиболее изученными представителями стероидных фитогормонов, однако, остаётся недостаточно исследованным длительное воздействие данной группы гормонов на рост и развитие растений.

Наша работа посвящена определению влияния длительного действия ЭБЛ на ранние этапы развития микроклонов картофеля. Для этого была проведена оценка динамики роста микроклонов картофеля в условиях *in vitro* на агаризованной питательной среде с добавлением ЭБЛ и при последующем переносе растений на жидкую питательную среду без добавления гормонов. В качестве объекта исследования использовали оздоровленные растения-регенеранты картофеля сорта Луговской, полученные из боковой меристемы в условиях *in vitro*.

Данное исследование показало, что интенсивность роста микроклонов картофеля определялась действующей концентрацией гормона. Присутствие 24-эпibrassinolida в агарозной питательной среде ингибировало процессы прорастания и дальнейшего роста картофеля. Эффект усиливался с повышением концентрации гормона в среде. Однако, при переносе на условия гидропоники, гормон, аккумулированный в микроклонах, оказывал стимулирующее действие. Так, спустя неделю после переноса растений на жидкую среду, длительная предобработка ЭБЛ увеличивала прирост длины побега в среднем на 17% и 11% соответственно при 10 и 1000 нМ. Также динамика накопления массы клонов показала значительный прирост при гормональной обработке в низкой концентрации (10 нМ).

Работа поддержана грантом программой развития ТГУ «Приоритет 2030», проект №2.1.2.22.

Ключевые слова: картофель, лактонсодержащие brassinosteroidы, 24-эпibrassinolide.

THE PHYSIOLOGICAL ROLE OF LONG-ACTING BRASSINOSTEROIDS IN THE STRESS REGULATION OF POTATO PLANTS *SOLANUM TUBEROSUM* L.

Sushkova D.V., Murgan O.K., Efimova M.V.

National Research Tomsk State University, Biological Institute, Tomsk, Russia;

Keywords: potatoes, lactone-containing brassinosteroids, 24-epibrassinolide.

ГИДРОФОБИНЫ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ *MICRODOCHIUM NIVALE* – ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ОРУДИЕ ДЛЯ КОЛОНИЗАЦИИ РАСТЕНИЯ-ХОЗЯИНА

Сыромятникова Е.Д.^{1,2*}, Тендюк Н.В.², Горшков В.Ю.^{1,2}

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

² Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия;

*E-mail: syrolen07@mail.ru

Гидрофобины — это небольшие поверхностно-активные белки, которые встречаются только у грибов. Они могут самостоятельно собираться в амфипатические монослои на границе раздела гидрофобно-гидрофильных фаз. Эти секретируемые грибами белки способствуют прикреплению к поверхности, образованию воздушных гиф, а также защищают споры от внешней среды и участвуют в колонизации растений-хозяев. Гидрофобины ранее не исследовались у грибов, вызывающих у озимых злаковых культур снежную плесень — заболевание, которое прогрессирует под снежным покровом. Недавно собранный и аннотированный нами геном возбудителя розовой снежной плесени — психротолерантного гриба *Microdochium nivale* — позволил нам провести поиск генов, кодирующих гидрофобины у этого фитопатогенного гриба. Мы выявили четыре гена, которые кодируют белки, относящиеся к гидрофобинам II класса. Мы продемонстрировали, что экспрессия генов, кодирующих эти гидрофобины, дифференциально регулируется в различных условиях культивирования и во время колонизации растения-хозяина. И для того, чтобы лучше понять роль гидрофобина *M. nivale* с самым высоким показателем дифференциальной экспрессии при колонизации растения, мы создали генетическую конструкцию для получения соответствующего рекомбинантного белка в клетках дрожжей *Pichia pastoris*.

Ключевые слова: гидрофобины, *Microdochium*, злаки, снежная плесень, *Pichia*.

HYDROPHOBINS OF THE PHYTOPATHOGENIC FUNGUS *MICRODOCHIUM NIVALE* – PUTATIVE WEAPONS FOR HOST PLANT COLONIZATION

Syromyatnikova E.D.^{1,2}, Tendiuk N.V.², Gorshkov V.Y.^{1,2}

¹ Kazan Federal University, Kazan, Russia

² Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics FRC «KSC of RAS», Kazan, Russia

Keywords: hydrophobins, *Microdochium*, cereals, snow mold, *Pichia*

ИЗОЛИРОВАННЫЕ ПРОТОПЛАСТЫ РАСТЕНИЙ: МЕТОДИКА, КОТОРАЯ ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЙТИ ЗА РАМКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Сырчина Н.Г.^{*1,2}, Мокшина Н.Е.^{1,2}

¹ Казанский институт биохимии и биофизики, ФИЦ Казанский научный центр РАН, ул. Лобачевского, 2/31, 420111, Казань, Россия;

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, 420008, Казань, Россия.

*E-mail: ngsyrchina@gmail.com

Растительная клеточная стенка обуславливает множество аспектов формирования и развития растительных клеток. Эта надмолекулярная структура является мощным барьером на пути патогенов и негативных факторов среды, от которых так сильно зависят растительные организмы, ведущие прикрепленный образ жизни. При этом клеточная стенка может и серьезно усложнить исследования внутриклеточных процессов растений.

Что если мы попробуем убрать клеточную стенку? Мы получим хрупкие растительные протопласты, которые еще в большей степени, нежели полноценные растительные клетки, будут зависеть от окружающей среды. Однако это откроет множество перспектив для опытов и исследований. Получение соматических гибридов, транзientная экспрессия генов, оценка белковых локализаций в клетке, геномное редактирование, получение и регенерация трансгенных растений – вот лишь малая часть тех возможностей, которые открываются перед исследователем, освоившим метод получения изолированных растительных протопластов. Несмотря на то, что этот метод был взят на вооружение биологов еще с начала 80-х годов прошлого столетия, он до сих пор относится к числу трудоемких, особенно если с протопластами в дальнейшем проводятся сложные генно-инженерные манипуляции.

На примере немодельного растительного объекта мы сумели оптимизировать протокол получения изолированных растительных протопластов. Мы трансформировали протопласты генами факторов транскрипции, которые предположительно регулируют формирование первичной клеточной стенки. Для этого мы не только оптимизировали протокол получения здоровых протопластов, но и провели отбор генов-кандидатов факторов транскрипции, подготовили несущие их векторные конструкции, провели отбор потенциальных мишеней для исследуемых факторов транскрипции. Конечно, практически на всех этапах процесса оптимизации мы сталкивались с разнообразнейшими трудностями, и теперь готовы поделиться хитростями и тонкостями работы с протоколами для этой методики.

Ключевые слова: клеточная стенка, протопласты, факторы транскрипции, транзientная экспрессия.

ISOLATED PLANT PROTOPLASTS: A METHOD THAT MAKES YOU GO BEYOND POSSIBILITIES

Syrchina N.^{1,2}, Mokshina N.^{1,2}

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Lobachevsky Str., 2/31, 420111 Kazan, Russia;

² Kazan Federal University, Kremleovskaya Str., 18, 420008, Kazan, Russia.

Keywords: cell wall, protoplasts, transcription factors, transient expression.

**АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПИГМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИСТЬЕВ
БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH)
В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА
В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН, УФИМСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР)**

Тагирова О.В., Гиниятуллин Р.Х., Иванов Р.С., Кулагин А.Ю.*

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, г. Уфа, Россия

*E-mail: coolagin@list.ru

Береза повислая (*Betula pendula* Roth) используется в озеленении Уфимского промышленного центра (УПЦ). Получены данные о количественных изменениях индекса азотного баланса (NBI, у.е.), который представляет собой соотношение количества хлорофиллов и флавоноидов (азота/углерода), в листьях березы в течение вегетационного периода («Dualex Scientific+», «Force-A», Франция). На модельных деревьях (возраст 65 лет) было пронумеровано по 10 листьев, расположенных на брахибластах. Динамику изменений NBI в листьях оценивали в июне–июле–августе–сентябре (в режиме реального времени в 11–13 часов, 13–15 числа каждого месяца, 2022 г.). Установлено, что в промышленной зоне (северная часть УПЦ) NBI в листьях в течение вегетационного периода изменяется следующим образом: у деревьев с листьями среднего размера 12.6–41.4 при среднем значении 23.41 ± 6.43 (CV 27.5%); у деревьев с мелкими листьями – 16.6–52.3 при среднем значении 29.71 ± 6.51 (CV 21.9%). В парковой зоне (юго-западная часть УПЦ) NBI у деревьев с листьями среднего размера изменяется 22.8–48.1 при среднем значении 32.84 ± 5.3 (CV 16.14%); у деревьев с мелкими листьями 14.9–45.6 при среднем значении 25.5 ± 5.05 (CV 19.8%). В условиях загрязнения окружающей среды выявлен эффект снижения NBI у деревьев березы с листьями среднего размера; в этих же условиях отмечен эффект увеличения NBI у деревьев березы с мелкими листьями. О феномене адаптивных реакций свидетельствует повышенный CV показателя NBI в промышленной зоне по сравнению с парковой зоной. В период активного роста деревьев (июнь–июль) повышение NBI отмечается в листьях березы как в промышленной, так и в парковой зоне. Сезонная динамика изменений NBI в листьях березы позволяет отметить адаптивный характер реакции пигментного комплекса на воздействие промышленных выбросов. Изменения NBI свидетельствуют об адаптации ассимиляционных органов в части обеспечения устойчивого функционирования фотосинтетического аппарата в условиях загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: береза повислая, листья, индекс азотного баланса, адаптация

**ADAPTIVE CHANGES IN THE PIGMENT COMPLEX
OF PLATE BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) LEAVES
DURING THE VEGETATION PERIOD UNDER CONDITIONS
OF ENVIRONMENTAL POLLUTION
(REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN, UFIMSKY INDUSTRIAL CENTER)**

Tagirova O.V., Giniyatullin R.Kh., Ivanov R.S., Kulagin A.Yu.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa,
Russia

Keywords: birch, leaves, nitrogen balance index, adaptation

ПЛАТФОРМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ФЕНОТИПИРОВАНИЮ РАСТЕНИЙ В ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Тараканов И.Г. *, Слепцов Н.Н., Анташкевич А.А., Котов Г.Е.

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Россия

*E-mail: ivatar@yandex.ru

Целью нашего проекта является разработка платформы для высокопроизводительного цифрового фенотипирования растений для фундаментальных фотобиологических исследований, объединяющей протоколы скрининга растительного материала, программное обеспечение и конструктив, представляющий интегрированный роботизированный комплекс с использованием для изучения растений методов анализа изображений на основе подходов компьютерного зрения и машинного обучения. Исследования включают традиционное «ручное» фенотипирование с анализом структурных характеристик растений: габитус, морфометрические показатели, площадь и удельная поверхностная плотность листьев. Важным элементом является регистрация функциональной активности растений на создаваемых градиентах факторов внешней среды или при разных спектральных режимах светокультуры: интенсивность фотосинтеза и дыхания, интенсивность транспирации, устьичная проводимость, показатели переменной флуоресценции, изменения изотопного состава углерода биомассы в ходе фотосинтеза и фотодыхания, биосинтез целевых вторичных соединений и т.д. Расширенное фенотипирование включает определение критической длины дня, длины ювенильного периода, уровня чувствительности к сумеречному свету. Для недеструктивных исследований разработаны режимы функционирования сканирующих устройств установки автоматического фенотипирования, усовершенствованы методы обработки и анализа изображений при использовании подходов на основе компьютерного зрения в технологии массового фенотипирования. В ходе сравнительно-физиологического изучения механизмов фоторегуляции морфогенеза и продукционного процесса у разных морфобиотипов растений уже получены важные экспериментальные результаты.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Ключевые слова: высокопроизводительное фенотипирование растений, фотобиологические исследования, компьютерное зрение

PLATFORM SOLUTIONS FOR PLANT PHENOTYPING IN PHOTOBIOLOGICAL RESEARCH

Tarakanov I.G., Sleptsov N.N., Antashkevich A.A., Kotov G.E.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural academy, Moscow, Russia

Keywords: high-throughput plant phenotyping, photobiological studies, computer vision

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И РАЗВИТИЯ

Тарасов С.С. *, Крутова Е.К.

Нижегородский государственный агротехнологический университет,
Нижний Новгород, Россия;

*E-mail: tarasov_ss@mail.ru

Известна способность регуляторов роста и развития растений влиять на уровень экспрессии ряда генов. В данной работе в качестве регуляторов рассматривались: ультразвук (физический регулятор) и экстракт вешенки (комплексный регулятор). Цель исследования – выявить влияние регуляторов (разного времени ультразвукового воздействия и дозы экстракта) на экспрессию генов АОС в прорастающих семенах и проростках пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L).

Ультразвуковое воздействие на семена проводилось через 24 часа после замачивания в течение 5, 10 и 20 минут. Обработка экстрактом осуществлялась путём замачивания семян в растворах концентрации 10 и 100% в течение суток. По окончании экспозиции определялся уровень экспрессии генов *SOD-1*, *CAT-1* и *POD* пшеницы. Содержание транскриптов иРНК фиксировалось полуколичественно с помощью полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией по конечной точке, с последующей визуализацией в агарозном геле. Подбор праймеров проводился по кодирующему участку гена в программе Primer-BLAST.

Было показано, что спустя час после ультразвукового воздействия экспрессия гена *SOD-1* во всех опытных образцах была выше, а у генов *CAT-1* и *POD* достоверно не отличалась от контроля. Через 24 часа содержание иРНК гена *SOD-1* достоверно было выше в семенах, обработанных в течении 20 минут, а иРНК *CAT-1* во всех опытных группах становилась выше, чем в контрольных образцах, а содержание иРНК гена *POD* не отличалась от контроля. В листьях недельных проростков экспрессия всех генов АОС достоверно не отличалась от контроля. При применении 10% экстракта содержание иРНК генов *SOD-1* и *POD* не отличалось от контроля, а при применении 100% экстракта было ниже контроля. А экспрессия гена *CAT-1* достоверно не изменялась во всех опытных образцах. В листьях проростков культивированных на 10% экстракте уровень экспрессии исследуемых генов был выше, чем в контроле, а в образцах, выращенных с применением 100% экстракта, не было зафиксировано достоверных отличий в сравнении с контролем.

Ключевые слова: экспрессия генов, антиоксидантная система, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза.

EXPRESSION OF THE WHEAT ANTIOXIDANT SYSTEM GENES WITH THE APPLICATION OF GROWTH AND DEVELOPMENT REGULATORS

Tarasov S.S., Krutova E.K.

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: gene expression, antioxidant system, superoxide dismutase, catalase, peroxidase.

ВОЗРАСТ ИНИЦИАЦИИ ЯДРОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СТВОЛАХ *PINUS SYLVESTRIS* L. В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ

Тарелкина Т.В.*, Галибина Н.А., Ершова М.А., Мошников С.А.,
Никерова К.М., Афошин Н.В., Семенова Л.И.

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", г. Петрозаводск, Российская Федерация;

*E-mail: karelina.t.v@gmail.com

Считается, что формирование ядровой древесины (НВ) у сосны начинается в возрасте 9 – 20 лет, однако целенаправленные исследования возраста инициации НВ у этого вида ранее не проводились. Мы отобрали образцы со 105 деревьев *P. sylvestris* возрастом от 10 до 25 лет, произраставших в средней и северной подзонах тайги, а также на границе тайги с тундрой. Образцы отбирали по единой методике и обрабатывали для выявления двух биохимических и двух анатомических маркеров, характеризующих различные процессы при формировании НВ. Биохимические маркеры показали завышение числа годичных колец НВ по сравнению с определением НВ на основании анатомических критериев в среднем на 1-3 года. Мы впервые показали, что настоящая НВ (не содержит живых клеток) у сосны обыкновенной выявляется в образцах с камбиальным возрастом 15-17 лет. Число годичных колец НВ у молодых деревьев зависело от условий произрастания. Полученные результаты важны для понимания механизмов формирования НВ и разработки реалистичных моделей этого процесса в условиях изменяющегося климата.

Исследование выполнялось в рамках Гранта РНФ № 21-14-00204 «Закономерности формирования ядровой древесины у сосны обыкновенной в диапазоне климатических условий: физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы».

Ключевые слова: пероксидаза, пиносилвин, экстрактивные вещества, гибель паренхимных клеток, камбиальный возраст

AGE OF HEARTWOOD INITIATION IN TRUNKS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. TREES IN THE TAIGA ZONE

Tarelkina T.V., Galibina N.A., Ershova M.A., Moshnikov S.A., Nikerova K.M.,
Afoshin N.V., Semenova L.I.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russian Federation

Keywords: peroxidase, pinosylvin, extractives, parenchyma cell death, cambial age

СТРЕССОВЫЕ БЕЛКИ В ФОРМИРОВАНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕЗЫ (*BETULA L.*) К УСЛОВИЯМ КРИОЛИТОЗОНЫ

Татарина Т.Д. *, Перк А.А., Пономарев А.Г., Васильева И.В.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: t.tatarinova@gmail.com

Для экстремального климата Центральной Якутии характерны сверхнизкие зимние температуры и многолетняя мерзлота, что определяет специфику адаптации растений к условиям криолитозоны. В формировании низкотемпературной устойчивости березы (*Betula L.*) – рода, широко представленного на территории Сибири, вероятно, принимают участие индуцируемые стрессовыми факторами специфические белки, в т.ч. дегидрины и БТШ.

В центрально-якутских популяциях разных видов *Betula L.*: березы повислой (*B. pendula* Roth), березы кустарниковой (*B. fruticosa* Pall.), березы карликовой (*B. Nana* L.), выявлено значительное сходство состава дегидринов. Независимо от видовых особенностей, обнаружены мажорные дегидрины с мол. м. 64–69 кД и переменный 17 кД. Высокий уровень этих белков в побегах и почках, а также в тканях ксилемы и коры березы формировался во время осенней подготовки к покою и устойчиво сохранялся в зимний период. Для дегидринов в области 15–21 кД в побегах и почках отмечался выраженный внутривидовой полиморфизм. Весной уровень всех белков заметно снижался, 15 и 17 кД дегидрины полностью исчезали к началу вегетации, тогда как 66–69 кД дегидрины были представлены круглогодично.

При изучении накопления БТШ в годичном цикле березы обнаружено, что изменения их относительного уровня отчетливо прослеживаются у БТШ-17,6 и БТШ-70. Подобно дегидринам, наибольшие количества этих БТШ выявлялись в зимние месяцы (январь-февраль), однако к маю их содержание существенно уменьшалось (в несколько раз). Аналогично, подъем уровня данных белков отмечался осенью, с конца августа. В отличие от БТШ-17,6 и БТШ-70, несколько сглажен в зимнее время ход изменений БТШ-101, однако его уровень также снижался в летние месяцы.

Сходство состава дегидринов разных видов, их разнообразие в органах и тканях березы, однотипный характер накопления БТШ и дегидринов в холодный период зимнего покоя могут указывать на их важную роль в механизмах формирования низкотемпературной устойчивости *Betula L.* к условиям криолитозоны.

Ключевые слова: *Betula L.*, криолитозона, низкие температуры, стрессовые белки, устойчивость

STRESS PROTEINS IN THE FORMATION OF LOW-TEMPERATURE RESISTANCE OF BIRCH (*BETULA L.*) TO CRYOLITHOZONE CONDITIONS

Tatarinova T.D., Perk A.A., Ponomarev A.G., Vasileva I.V.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

E-mail: t.tatarinova@gmail.com

Keywords: *Betula L.*, stress proteins, low temperatures, resistance, cryolithozone

РОЛЬ БЕЛКА SVX ПЕКТОБАКТЕРИЙ В РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Тендюк Н.В.^{1*}, Коннова Т.А.¹, Петрова О.Е.¹, Осипова Е.В.¹,
Макшакова О.Н.¹, Дьяконова А.А.¹, Мухаметзянов Т.А.², Горшков В.Ю.^{1,2}

¹ Казанский институт биохимии и биофизики - обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, РФ

² ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, РФ;

*E-mail: natasha.tendjuk@rambler.ru

В арсенале фитопатогенных пектобактерий – возбудителей мягких гнилей растений – помимо экстраклеточных полисахарид-деградирующих ферментов есть и другие детерминанты патогенности, и конкретные функции некоторых из них остаются неизвестными. К таким факторам вирулентности относится экстраклеточный белок Svх. Целью нашей работы является характеристика структуры и свойств белка Svх для того, чтобы выяснить его роль в патогенезе. В ходе биоинформатического анализа аминокислотной последовательности белка Svх нами установлено, что он имеет два функциональных домена: протеазный, активный сайт которого образован цинк-связывающим мотивом НЕХХНХ(8,28)Е, и ацилтрансферазо-подобный. Наличие протеазной активности у рекомбинантного белка Svх дикого типа было доказано нами экспериментально. Ферментативная активность мутантных форм белка Svх по остаткам аминокислот, расположенных в активном центре протеазного домена, была значительно снижена по сравнению с диким типом, что свидетельствует о том, что белок Svх является цинк-зависимой металло-протеазой. В результате моделирования взаимодействия «белок-лиганд» *in silico* мы продемонстрировали, что Svх потенциально способен связываться с экстенсинами – основными структурными гликопротеинами растительной клеточной стенки, разрушение которых может способствовать развитию патологического процесса. Кроме того нами показано, что инфильтрация белка Svх дикого типа в листья растений табака, в отличие от его мутантной формы, приводит к снижению уровня перекиси водорода в растениях, обработанных хитоолигосахаридами – классическими индукторами устойчивости, а также индуцирует этилен-опосредуемые восприимчивые ответы растений. Таким образом, нами продемонстрировано, что белок Svх может способствовать развитию исследуемой инфекции благодаря способности подавлять иммунные ответы и индуцировать восприимчивые ответы растения-хозяина. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-14-00194 и госзадания.

Ключевые слова: белок Svх, *Pectobacterium*, факторы вирулентности, фитоиммунитет, индуцируемая восприимчивость растений

ROLE OF SVX PROTEIN OF PECTOBACTERIUM IN PLANT-MICROBAL INTERACTIONS

Tendiuk N.V.¹, Konnova T.A.¹, Petrova O.E.¹, Osipova E.V.¹, Makshakova O.N.¹,
Diakonova A.A.¹, Mukhametzyanov T.A.², Gorshkov V.Y.^{1,2}

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal Research Center
«Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences», Kazan, Russia.

² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Kazan (Volga Region)
Federal University», Kazan, Russia

Keywords: Svх protein, *Pectobacterium*, virulence factors, phytoimmunity, the induced susceptibility of plants

ВЛИЯНИЕ АУКСИНПРОДУЦИРУЮЩЕГО ШТАММА БАКТЕРИЙ И ГУМАТОВ НА ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Тимергалин М.Д., Феоктистова А.В., Рамеев Т.В., Кенджиева А.А.,
Четвериков С.П.

УИБ УФИЦ РАН, Уфа, Россия;

*E-mail: timemax@mail.ru

Поддержание урожайности зерновых культур при нехватке воды в почве является одной из наиболее актуальных проблем растениеводства. Положительное влияние на рост растений оказывают бактерии стимулирующие рост растений. В наших экспериментах обработка растений пшеницы бактериями *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-D увеличивала массу и длину побега, стимулировала рост корня. Изучен эффект сочетания бактерий и гуматов на рост растений пшеницы на уровень хлорофилла, показатели оксидативного стресса и водный баланс при нехватке влаги в почве. Засуха приводила к снижению уровня хлорофилла, относительного содержания воды (ОСВ) и увеличивала содержание МДА в побеге и корне. При этом бактерии (как совместно с гуматами, так и по отдельности) повышали ОСВ, уровень хлорофилла и снижали оксидативный стресс.

Комбинация бактерий и гуминовых веществ оказалась более эффективной, чем использование бактерий по отдельности. Растения, обработанные бактериями совместно с гуматами, имели более высокое ОСВ и более высокую скорость удлинения листьев, что может быть связано с большей гидравлической проводимостью корней, так как они имели большую массу. Это может свидетельствовать о повышении эффективности применения бактерий совместно с гуматами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00147, <https://rscf.ru/project/22-26-00147/>.

Ключевые слова: засуха, пшеница, гуматы, бактерии.

INFLUENCE OF AUXIN-PRODUCING STRAIN OF BACTERIA AND HUMATES ON WATER METABOLISM OF WHEAT PLANTS IN DROUGHT CONDITIONS

Timergalin M.D., Feoktistova A.V., Rameev T.V., Kenjieva A.A., Chetverikov S.P.
UIB UFRC RAS, Ufa, Russia

Keywords: drought, wheat, humates, bacteria.

ВКЛАД ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕГУЛЯЦИЮ СИНТЕЗА ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ

Тимофеева О.А.* , Бименьиндавыи Э.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

*E-mail: otimofeeva2008@mail.ru

Проведено сравнительное изучение фитохимического состава в разных органах надземной части (листья, цветы и стебли) лекарственных растений: *B. pilosa*, *G. parviflora*, *B. tripartita*, *C. album* и *G. cruciata* в условиях Республики Татарстан и Бурунди. Наиболее высокое суммарное содержание фенольных соединений выявлено в листьях и значительно ниже — в стеблях. Наиболее высокое содержание БАВ обнаружено в видах рода *Bidens*, при этом содержание в *B. tripartite* выше, чем *B. pilosa*. Виды, произрастающие в условиях умеренно-континентального (Татарстан) и тропического (Бурунди) климата, слабо различаются по содержанию фенольных соединений, что свидетельствует о генетически обусловленной узкой амплитуде изменчивости метаболизма этих видов. У вида *G. parviflora* выявлены климатические различия содержания фенольных соединений в растениях: в условиях умеренно-континентального (г. Казань) в составе фенольных соединений преобладает кверцетин, а в условиях тропического (регион Мугамба) — коричная кислота. Обнаружена положительная корреляция между содержанием изучаемых групп БАВ и элементами корневого питания (Mg, Ca, K) у растений видов *B. pilosa*, *B. tripartite* и *C. album*, температурой и количеством солнечных дней у растений *G. parviflora* в РТ и высотой над уровнем моря и количеством осадков в Республике Бурунди (регион Мугамба); температурой, количеством солнечных дней для фенольных соединений у растений *G. cruciata*. Выявлено, что почвенные условия (высокое содержание магния, низкое содержание азота и довольно кислые почвы) и относительно высокие температуры (19 °C), характерные для региона Киримири, способствуют накоплению БАВ в растениях *C. album*, *B. pilosa* и *B. tripartite*. Впервые для каждого изученного растения были охарактеризовано сочетание факторов окружающей среды и выделены перспективные районы Республики Татарстан и Республики Бурунди для сбора и выращивания высококачественного лекарственного сырья.

Ключевые слова: лекарственные растения, фенольные соединения, эколого-географические факторы

THE CONTRIBUTION OF ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS TO THE REGULATION OF THE SYNTHESIS OF SECONDARY METABOLITES

Timofeeva O.A., Bimenyindavyi E.

Kazan Federal University

Keywords: herbal plants, phenolic compound, ecological and geographical conditions

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕНЕНИЮ СПЕКТРА ОБЛУЧЕНИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПРОЦЕССЕ ОНТОГЕНЕЗА ДЛЯ УСЛОВИЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

Тихомиров А. А.^{1,2*}, Величко В.В.^{1,2}, Молокеев М.С.³

¹ Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

² Сибирский университет науки и технологий, Красноярск, Россия

³ Сибирский федеральный университет Красноярск, Россия;

*E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru

Рассматриваются возможные физиологические подходы для возможной смены спектрального состава излучения фотосинтетически активной радиации (ФАР) в процессе онтогенеза растений в целях повышения продуктивности растений при заданных уровнях облученности в условиях полной светокультуры. Для обоснования динамики изменения спектра ФАР в докладе учитывается характер взаимодействия разноспектральных потоков с фотосинтетическим аппаратом растений на разных уровнях его организации, начиная от молекулярного и заканчивая ценотическим, где завершается формирование реального урожая. Уделяется внимание феномену специфики видовых реакций растений на спектральный состав ФАР, а также характеру протекания и количеству этапов онтогенеза, необходимых для получения хозяйственно полезного урожая. С привлечением собственных данных и данных других исследователей рассматриваются условия обоснованности привлечения данных по тестовым (минуты) и долговременным (сутки) фотосинтетического аппарата растений на спектральный состав ФАР. Для экспериментальной проверки предлагаемых подходов анализируется цикл проведенных исследований по оценке динамики смены спектра ФАР на примере коротковегетирующих ценозов редиса при использовании специализированных светодиодных облучателей с переменным спектральным режимом освещения растений. В рамках выполненных исследований рассматривается целесообразность смены спектра ФАР для коротковегетирующих ценозов растений в условиях полной светокультуры. На основании полученных данных делается физиологически обоснованный прогноз по целесообразности динамики смены спектра ФАР с учетом этапа онтогенеза у растений.

Ключевые слова: смена спектра ФАР, фотосинтез, продуктивность, фитоценозы

PHYSIOLOGICAL APPROACHES TO CHANGING THE IRRADIATION SPECTRUM OF PHYTOCENOSES IN THE PROCESS OF ONTOGENESIS FOR LIGHT CULTURE CONDITIONS

Tikhomirov A.A.¹, Velichko V.V.², Molokeev M.S.³

¹ Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

³ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: PAR spectrum changing, photosynthesis, productivity, phytocenoses

ВЛИЯНИЕ ЭНДОГЕННЫХ ЖАСМОНАТОВ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ РЕЗУШКИ ТАЛЯ ПРИ ХОЛОДОВОМ СТРЕССЕ

Тихонов К.Г.^{1*}, Лещенко Е.Ф.^{1,2}, Савченко Т.В.¹

¹ Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пушкино, Россия

² Пушкинский филиал Российского биотехнологического университета (РОСБИОТЕХ), Пушкино, Россия

*E-mail: ktikhonov@rambler.ru

Жасмонаты – одна из групп оксипиринов, производимая путём ферментативного окисления ненасыщенных жирных кислот. Жасмонаты вовлечены в развитие защитных ответов растений на действие стрессоров как биотической, так и абиотической природы. В работе использованы растения резушки Таля (*Arabidopsis thaliana*) дикого типа и мутанты, не способные синтезировать жасмонаты. Показано, что семидневная выдержка растений при +5 °С увеличивает содержание в листьях малонового диальдегида и антоцианов, увеличивает активность водорастворимых ферментов пероксидазы и супероксиддисмутазы, и снижает активность каталазы. В присутствии жасмонатов увеличиваются выработка антоцианов при стрессе и активность пероксидазы до и после стресса. Полученные данные подтверждают роль жасмонатов в накоплении антоцианов и в регуляции активности пероксидазы.

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-24-00489.

Ключевые слова: жасмонаты, холодовой стресс, антиоксидантная система, *Arabidopsis*

INFLUENCE OF ENDOGENOUS JASMONATES ON THE ANTIOXIDANT SYSTEM OF ARABIDOPSIS THALIANA UNDER COLD STRESS

Tikhonov K.G.¹, Leshchenko E.F.^{1,2}, Savchenko T.V.¹

¹ Institute of Basic Biological Problems RAS, Pushchino, Russia

² Pushchino branch of Russian Biotechnological University, Pushchino, Russia

Keywords: jasmonates, cold stress, antioxidant system, *Arabidopsis*

ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ НА РОСТ И АДАПТАЦИЮ МИКРОКЛОНОВ КАРТОФЕЛЯ И ЗЕМЛЯНИКИ

Ткаченко О.В.^{1*}, Евсеева Н.В.², Каргаполова К.Ю.¹, Денисова А.Ю.¹,
Позднякова Н.Н.², Бурьгин Г.Л.^{1,2}, Куликов А.А.¹

¹ ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

² Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ Саратовский научный центр РАН, Саратов, Россия

*E-mail: oktkachenko@yandex.ru

Микрорастения картофеля сортов Невский и Кондор, а также земляники сортов Азия и Кимберли, культивируемые в условиях *in vitro*, инокулировали парой штаммов ризобактерий *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 или *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Kocuria rosea* T1Ks19. Целью данного исследования являлось изучение влияния инокуляции *in vitro* микрорастений картофеля и земляники консорциумом ризосферных бактерий разных таксономических групп на адаптационную способность растений в процессе адаптации их к условиям *ex vitro* в аэропонной установке. Анализировали морфометрические и биохимические показатели контрольных (без инокуляции) и опытных (инокулированных) микрорастений после совместного культивирования с бактериями *in vitro* и в течение 20 суток выращивания в аэро/гидропонной установке. Содержание на корнях растений ризобактерий каждого штамма контролировалось иммунохимическими методами с использованием иммунофлуоресцентной микроскопии.

Инокуляция микрорастений во всех вариантах опыта приводила к стимулированию роста микрорастений картофеля в условиях культивирования *in vitro* и в аэропонной установке. Для земляники уровень стресса, создаваемого бактериями и высадкой в условия *ex vivo*, был значительно выше, чем для картофеля. Стресс на этапе адаптации к условиям *ex vitro* проявлялся в повышении содержания перекиси водорода и малонового диальдегида, а также в повышенной активности антиоксидантных ферментов, в основном каталазы и пероксидазы. При этом бактериализация микрорастений вызывала существенный рост активности антиоксидантных ферментов каталазы и пероксидазы, что приводило к ускоренному снижению уровня перекиси водорода в листьях опытных растений по сравнению с контрольными. Бактерии всех штаммов были обнаружены на корнях микрорастений, но с разной плотностью.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-26-00087, <https://rscf.ru/en/project/22-26-00087>

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, *Fragaria* × *ananassa*, стимулирующие рост растений ризобактерии, адаптация *ex vitro*, аэропоника

INFLUENCE OF RHIZOBACTERIA ON THE GROWTH AND ADAPTATION OF POTATO AND STRAWBERRY MICROCLONES

Tkachenko O.V.¹, Evseev N.V.², Kargapolov K.Yu.¹, Denisov A.Yu.¹,
Pozdnyakov N.N.², Burygin G.L.^{1,2}, Kulikov A.A.¹

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

² Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, FRC Saratov Scientific Centre of RAS, Saratov, Russia

Keywords: *Solanum tuberosum*, *Fragaria* × *ananassa*, plant-growth-promoting rhizobacteria, adaptation *ex vitro*, aeroponic

ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ РЯДА КАРБОКСИАЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА И АМИНОКИСЛОТ В ОТНОШЕНИИ РАСТЕНИЙ

Тобышева П.Д.^{1,2*}, Хамидуллина Л.А.^{1,2}, Пузырев И.С.¹, Пестов А.В.^{1,2}

¹ Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: tobysheva@list.ru

Объединение аминокислот как с низкомолекулярными, так и с высокомолекулярными фрагментами позволяет построить ряд карбоксиалкилпроизводных и оценить влияние их химического строения на ростостимулирующую активность.

Аминокислота β-аланин является прекурсором Коэнзима А, повышение биосинтеза которого приводит к увеличению выхода продуктов цикла трикарбоновых кислот. Функционализация β-аланина различными фрагментами, начиная с карбоксиалкильных и заканчивая биополимерной цепью хитозана, известного в агроботехнологии элиситора растений, задает аминокислоте новые биологические свойства.

Важным этапом исследования росторегулирующих свойств хитозана является правильный выбор молекулярной массы полимера, а также солевой формы карбоксиалкилпроизводного, поскольку данные факторы непосредственно влияют на характер оказываемых ими биологически активных свойств.

Целью данной работы является установление взаимосвязи химического строения карбоксиалкилпроизводных хитозана и β-аланина: N-(2-карбоксиэтил)хитозана (КЭХ) с молекулярной массой от 50 до 500 кДа в виде натриевых и аммониевых солей, N,N'-бис(2-гидроксиэтил)-β-аланина (ДБАЛ), N,N'-ди(2-карбоксиэтил)-пиперазина (КЭП), N-трис(гидроксиметил)метил-3-аминопропионовой кислоты (КЭТрис) и N-(2-карбоксиэтил)иминодиуксусной кислоты (КЭИДА) – и их росторегулирующих свойств в отношении развития растений.

В ходе исследования показано, что низкомолекулярные хитозаны обладают повышенной биологической активностью по сравнению с высокомолекулярными, а ионы аммония придают наибольший ростостимулирующий эффект карбоксиэтильному производному хитозана в отличие от ионов натрия в отношении сельскохозяйственного растения *S. lycopersicum*. Установлено влияние различных заместителей на ростостимулирующую активность β-аланина в отношении лекарственных растений *E. purpurea* и *C. officinalis*.

Ключевые слова: аминокислоты, производные хитозана, росторегуляторы растений

INVESTIGATION OF THE GROWTH-STIMULATING ACTIVITY OF A NUMBER OF CARBOXYALKYL DERIVATIVES OF CHITOSAN AND AMINO ACIDS IN RELATION TO PLANTS

Tobysheva P.D.^{1,2}, Khamidullina L.A.^{1,2}, Puzyrev I.S.², Pestov A.V.^{1,2}

¹ Postovsky Institute of Organic Synthesis, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

² Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Keywords: amino acids, chitosan derivatives, plant growth regulators

ФОТОМОРФОГЕНЕЗ РАСТЕНИЙ ТОМАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ СВЕТОВОГО ДОВОЛЬСТВИЯ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

Товстыко Д.А.* , Тараканов И.Г.

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Россия

*E-mail: tov.dasha@mail.ru

Свет оказывает значительное регуляторное воздействие на рост и развитие растения. В закрытых контролируемых условиях можно регулировать параметры света (фотопериода, спектрального состава и др.) и подобрать оптимальный режим выращивания для каждой с.-х. культуры.

Изучали влияние искусственного освещения на основе белых светодиодов на растения томата, *Solanum lycopersicum*. Использовали томата супердетерминантного типа для выращивания в вертикальных теплицах, выведенного на кафедре физиологии растений РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва). Растения характеризуются ограниченным ростом и высокой скороспелостью, что чрезвычайно важно при выращивании в системах интенсивного культивирования.

Была проведена серия экспериментов в контролируемых условиях в специальной многофункциональной фотобиологической исследовательской установке. Изучали комбинированное влияние параметров освещения (фотопериода и интенсивности облучения) на морфогенез и продуктивность растений. Растения выращивали на фотопериодах 6, 12 и 18 ч с ППФ 146, 220, и 440 мкмоль /м²·с. При этом интеграл суточной радиации (ИСР) на режимах составлял 9,5 или 19 моль/ м²*сут.

Было показано, что ускоренное развитие растений происходило при увеличении ИСР, что может быть связано с высокой аттрагирующей способностью генеративных органов на фоне улучшенного светового довольствия. Образование более компактных растений с большей площадью листьев (в 1,5-2 раза по сравнению с условиями с ИСР 19 моль/ м²*сут.) наблюдали при интеграле 9,5 моль/ м²*сут. В этих условиях наблюдали отставание в формировании метамеров и генеративных органов по сравнению с вариантом 19 моль/ м²*сут. При этом по продуктивности можно выделить режим с повышенным интегралом радиации 19 моль/ м²*сут (12-часовой режим с интенсивностью облучения 440 мкмоль/м²*с). В условиях данного варианта облучения происходило формирование до 5 плодов на растении. Представлены также данные по фенотипированию растений, накоплению фотосинтетических пигментов, определению интенсивности фотосинтетической активности растений томата. Полученные результаты дают материалы для физиологического обоснования технологии светокультуры томата в системах интенсивного культивирования.

Ключевые слова: томат, фотоморфогенез, светокультура, интеграл суточной радиации

PHOTOMORPHOGENESIS OF TOMATO PLANTS DEPENDING ON THE LIGHT CONTENT LEVEL IN THE LIGHT CULTURE CONDITIONS

Tovstyko D.A., Tarakanov I.G.

RSAU-MTAA named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

Keywords: tomato, photomorphogenesis, horticultural lighting, daily light integral

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЛИТЕЛЬНО ПРОЛИФЕРИРУЮЩИХ ЭМБРИОГЕННЫХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*.

Третьякова И.Н.* , Пак М.Э.

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН). Красноярск. Россия

*E-mail: culture@ksc.krasn.ru

Коллекция эмбриогенных культур *Larix sibirica* состоит из 22 активно пролиферирующих клеточных линий (КЛ, всего 54 КЛ), полученных в разные годы (2008-2022г.г.) от эксплантов (незрелых зиготических зародышей) 6 деревьев- доноров, устойчивых к листовенничной почковой галлице. На коллекционных КЛ проводятся структурно- функциональные и молекулярно-генетические исследования развития соматических зародышей, а также рассматривается возможность использования разработанной биотехнологии соматического эмбриогенеза для плантационного выращивания листовенничных лесов.

Морфологическими маркерами эмбриогенных КЛ является молочный цвет каллуса и его рыхлая структура. Гистологические маркеры эмбриогенной культуры проявляются в удлинении соматических клеток, их поляризации и неравномерном делении, образовании глобулы соматического зародыша и эмбриональных трубок суспензора. Физиологическими маркерами служит локализация ауксина (ИУК) на одном из концов удлинённых клеток. В глобулярных зародышах идет четкое распределение гормонов. ИУК, цитокинины и АБК локализуются в клетках глобулы и полностью отсутствуют в клетках суспензора. В длительно пролиферирующих КЛ (11-14 лет) активно идут процессы мультипликации соматических зародышей через кливаж. Большинство КЛ пролиферируют 1-3 года. Пролиферация отдельных КЛ продолжается в течении 11-14 лет и более (Tretyakova, Park, 2018). Генетическая стабильность их нарушается. Однако отдельные КЛ (КЛ № 6) сохраняют генетическую стабильность в течении 11 лет (Goryochkina et al., 2018). Из этой КЛ получены клонированные деревья листовенницы сибирской, которые в течении 9 лет успешно растут в почве лесопитомника на Погорельском стационаре Института леса. Клоны отличаются интенсивным ростом и сверхнормальным развитием генеративных органов и не повреждаются листовенничной почковой галлицей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 22-14-20008

Ключевые слова: листовенница сибирская, соматический эмбриогенез, клеточные линии

STRUCTURAL-FUNCTIONAL AND MOLECULAR-GENETIC FEATURES OF LONG-PROLIFERATING EMBRYOGENIC CULTURES OF SIBERIAN LARCH IN *IN VITRO* CULTURE.

Tretyakova I.N., Park M.E.

Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS - Division of Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS, Krasnoyarsk, Russia

Key words: Siberian larch, somatic embryogenesis, cell lines

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА ЦИНКА НА АКТИВНОСТЬ КИСЛОЙ ФОСФАТАЗЫ ПРОРОСТКОВ СОИ

Трофимцова И.А. *, Козак Д.К.

Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенк, Россия

*E-mail: trofimtsova.irina@yandex.ru

Избыточное содержание химических элементов в окружающей среде оказывает токсическое воздействие на живые организмы. Существует утверждение, что нет токсичных металлов, есть токсичные концентрации. Невысокие концентрации цинка в почве усиливают рост и развитие растений и, напротив, дефицит цинка индуцирует окислительный стресс. Окислительный стресс может являться причиной перекисного окисления липидов (ПОЛ). Маркерами окислительного стресса являются интенсивность ПОЛ и функционирование антиоксидантной системы, включающей высокомолекулярные (ферментативные) и низкомолекулярные (неферментативные) системы дезактивации активных форм кислорода.

В наших исследованиях изучался уровень окислительного стресса под влиянием сульфата цинка и активность кислой фосфатазы проростков культурной и дикой сои. Отмечено, что семена культурной и дикой сои прорастали в самой большой из изученных концентраций сульфата цинка (3мМ). При использовании сульфата цинка в концентрации 1,5 мМ установлено увеличение энергии прорастания семян дикой сои.

Показано, что в первые сутки прорастания семян сои в среде с избытком металла, его содержание возрастало в прямой зависимости от времени воздействия, а через 168 часов отмечено увеличение Zn^{2+} более чем в два раза. При этом установлено снижение активности кислой фосфатазы и числа множественных форм фермента в проростках дикой сои. Выявлено увеличение уровня малонового диальдегида и снижение удельной активности пероксидазы, что свидетельствует о высоком стрессе растения.

Таким образом, показано, что сульфат цинка в исследуемых концентрациях вызывает окислительный стресс в проростках сои, что подтверждается накоплением в клетках конечного продукта окисления липидов – малонового диальдегида и увеличением удельной активности пероксидазы. Увеличение удельной активности кислой фосфатазы в наших исследованиях свидетельствует об участии фермента в адаптации культурной и дикой сои к действию ионов цинка.

Ключевые слова: окислительный стресс, тяжёлые металлы, сульфат цинка, кислая фосфатаза, пероксидаза, малоновый диальдегид.

INFLUENCE OF ZINC SULFATE ON THE ACID PHOSPHATASE ACTIVITY OF SOYBEAN PROBE

Trofimtsova I.A., Kozak D.K.

Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchenk, Russian Federation

Keywords: oxidative stress, heavy metals, zinc sulfate, acid phosphatase, peroxidase, malondialdehyde

УСИЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗ III КЛАССА И ЛИГНИФИКАЦИИ КАК НЕСПЕЦИФИЧЕСКАЯ ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ НА АБИОТИЧЕСКИЙ СТРЕСС

Тугбаева А.С.* , Ермошин А.А., Киселева И.С.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия;

*E-mail: anastasia.tugbaeva@urfu.ru

Засоление почвы, ее загрязнение тяжелыми металлами являются актуальными проблемами сельского хозяйства. Барьерным органом при действии этих факторов является корень. Укрепление его клеточных стенок рассматривают как неспецифическую реакцию на действие стрессоров. В нашем исследовании изучена активность цитозольных и ассоциированных с клеточной стенкой пероксидаз III класса, спектр их изоформ и содержание лигнина в корнях растений *Nicotiana tabacum* сорта Petit Havana линии SR1 в условиях засоления и при избытке сульфата меди в субстрате в длительном эксперименте.

Засоление субстрата приводило к утолщению корня в зоне проведения. Биосинтез лигнина в ответ на солевой стресс (25 и 50 мМ NaCl) усиливался, что подтверждает идею о лигнификации как способе акклимации к данному стрессору. Усиление лигнификации было связано с ростом активности ассоциированных с клеточной стенкой пероксидаз, а именно синрингалдазиновой пероксидазы. Активность цитозольной гваяколовой пероксидазы также возрастала. Это сопровождалось уменьшением содержания пероксида водорода и фенольных соединений как субстратов для пероксидаз. Активность высокомолекулярных изоформ пероксидаз также возрастала при стрессе, при этом новые изоформы не были обнаружены.

Усиление лигнификации и утолщение клеточных стенок сосудов метаксилемы в корне табака наблюдали в ответ на длительную обработку субстрата CuSO₄ (100 и 300 мкМ). В обоих вариантах опыта в сравнении с контролем активность цитозольной гваяколовой пероксидазы возрастала, а активность ассоциированных с клеточной стенкой пероксидаз менялась мало. Увеличение тотальной активности этой пероксидазы было связано с увеличением активности существующих изоформ, а также появлением высокомолекулярной изоформы в варианте с длительным действием 300 мкМ CuSO₄.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-24-00817, <https://rscf.ru/project/22-24-00817/>.

Ключевые слова: изоформы пероксидаз, засоление, избыток CuSO₄, окислительный стресс, устойчивость растений

INCREASED ACTIVITY OF CLASS III PEROXIDASES AND LIGNIFICATION AS A NON-SPECIFIC RESPONSE TO ABIOTIC STRESS

Tugbaeva A.S., Ermoshin A.A.* , Kiseleva I.S.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Keywords: peroxidase isoforms, heavy metals, salinity, oxidative stress, plant resistance

ОСОБЕННОСТИ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОКСФОС В МИТОХОНДРИЯХ РАСТЕНИЙ

Уколова И.В.^{1*}, Кондакова М.А.¹, Кондратов И.Г.², Боровский Г.Б.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

² Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Россия

*E-mail: irina@sifibr.irk.ru

Система окислительного фосфорилирования (ОКСФОС) мультифункциональна и помимо выполнения основной энергетической функции, обеспечивает клетку интермедиатами цикла Кребса, участвует в поддержании процессов митохондриального биогенеза и регуляции сигнальных путей. Система включает дыхательные комплексы I, II, III и IV, фосфорилирующую АТФ-синтазу, а также мобильные переносчики электронов, убихинон и цитохром *c*. Представления об организации ферментов ОКСФОС *in vivo* существенно менялись по мере получения новых данных. Современные биохимические и структурные исследования показали, что дыхательные ферменты во внутренней мембране митохондрий всех изученных организмов образуют суперкомплексы различной стехиометрии. Система ОКСФОС растений имеет ряд особенностей: (1) отличается меньшим содержанием и более хрупкими N-респирасомами $I_1III_2IV_n$, (2) более разветвленная в связи с присутствием альтернативных ферментов и (3) дыхательные комплексы содержат дополнительные субъединицы, функции которых напрямую не связаны с переносом электронов. При помощи мультимерной электрофорезной системы на основе BN-PAGE, энзимографии и денситометрии нами были получены новые данные об организации растительной ОКСФОС на примере митохондрий этиолированных побегов гороха. Обнаружены новые, неописанные ранее, структуры: мегакомплекс $(II_xIII_yIV_z)_n$ и суперкомплекс IV_1Va_2 , а также новая форма АТФ-синтазы, Va. Показано, что свободные формы комплексов I, IV и V в геле более активны по сравнению с ассоциированными. Сравнение структурной и функциональной организации ОКСФОС в митохондриях побегов гороха, озимой пшеницы и кукурузы обнаружило как существенное сходство, так и видовые особенности в составе, содержании и активности компонентов системы, которые, по-видимому, имеют важное значение для реализации жизненной стратегии каждого вида. Дальнейшие исследования позволят более детально изучить выявленные видоспецифичные черты, а также факторы, определяющие их наличие.

Ключевые слова: система ОКСФОС, митохондрии растений, BN-PAGE, горох, озимая пшеница, кукуруза.

FEATURES OF SUPRAMOLECULAR OXPHOS ORGANIZATION IN PLANT MITOCHONDRIA

Ukolova I.V., Kondakova M.A., Kondratov I.G., Borovskii G.B.

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia
Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia

Keywords: OXPHOS system, plant mitochondria, BN-PAGE, pea, winter wheat, maize.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ МОДУЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДОЙ ПРИ СОЗДАНИИ РАБОЧИХ ЗОН В ОБЛАСТИ АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ

Усатов А.В.^{1*}, Волков А.В.²

¹ АНО «АВТех», г. Москва, РФ

² ООО «ИНПРЕН», г. Москва, РФ

*E-mail: service@awtec.ru

Значительные капитальные вложения при организации традиционных технологических комплексов с системой чистых помещений существенно тормозят развитие и широкое использование сельскохозяйственной биотехнологии в стране. Однако применение современных технологий позволяет найти экономически выгодные и технически обоснованные решения данной проблемы. Одним из таких решений является организация биотехнологического производства на основе использования *трансформируемых модульных конструкций, оснащенных индивидуальными вентиляционными установками и образующих чистые зоны любой конфигурации*. Такие трансформируемые модульные укрытия с контролируемой средой представляют собой эффективный и недорогой вариант реализации барьерных технологий при создании чистых зон и технологических комплексов на их основе и являются реальной альтернативой традиционным строительным технологиям создания чистых зон. Предлагаемые трансформируемые модульные конструкции могут применяться во всех областях, где требуется создание локальных чистых зон с обеспечением класса чистоты воздуха в рабочей зоне от 8 ИСО до 6 ИСО включительно (ГОСТ ИСО 14644-1-2002), а также при организации необходимого перепада давлений между смежными помещениями и зонами (за счёт оснащения их индивидуальными вентиляционными установками), что дает возможность разделять пространство на отдельные участки с разной степенью чистоты. В качестве показательных примеров предложены готовые планировочные решения по созданию биотехнологического комплекса для клонального микроразмножения растений и агродиагностической лаборатории контроля качества, где все функциональные зоны организованы с помощью трансформируемых модульных укрытий, что существенно снижает затраты на возведение ограждающих конструкций и кардинально меняет структуру капитальных вложений при строительстве. Предлагаемая технология организации технологического и лабораторного пространства обеспечивает конструктивно и экономически выгодные решения, являющиеся альтернативой традиционным строительным технологиям создания чистых зон.

Ключевые слова: инжиниринг; чистые зоны; модульные конструкции; биотехнология; клональное микроразмножение; агролаборатория.

THE USE OF MODERN FLEXIBLE TECHNOLOGIES FOR CREATING CLEAN ZONES FOR THE DEPLOYMENT OF WORK AREAS IN THE FIELD OF AGROBIOTECHNOLOGY.

Usatov A.V.¹, Volkov A.V.²

¹ ANO "AWTech", Moscow, Russia

² INPREN LLC, Moscow, Russia

Keywords: engineering; cleanroom technologies; flexible technologies; biotechnologies; clonal micropropagation; agricultural laboratory.

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ РУКОЛЫ НА СООТНОШЕНИЕ КРАСНОГО И ДАЛЬНЕГО КРАСНОГО СВЕТА В СПЕКТРЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Фадеева Ю.Ю. *, Тараканов И.Г.

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия

*E-mail: yulia.fadeewa2011@mail.ru

Свет как фактор среды, влияющий на рост и развитие растений, играет существенную роль в их онтогенезе. Известно, что соотношение красного и дальнего красного света является определяющим фактором в важных процессах жизнедеятельности растений, контролируемых фитохромами. В наших фотобиологических исследованиях мы использовали установку «Люмитест» с разным соотношением красного ($\lambda=660$ нм) и дальнего красного ($\lambda=730$ нм) света (К/ДК), с фоновым синим ($\lambda=460$ нм) и красным ($\lambda=640$ нм) светом. Варианты световых режимов: 100% дальнего красного света, соотношение К/ДК=30%/70%, соотношение К/ДК=70%/30%, 100 % красного света. Изучали фотоморфогенетические реакции у растений руколы сортов Виктория и Рококо с характерной длиннодневной фотопериодической реакцией.

На разных этапах развития растений можно наблюдать различия в их ростовых реакциях. В вегетативный период у растений сорта Рококо наибольшая биомасса была накоплена на режиме с преобладанием дальнего красного света. У растений руколы Виктория наибольшая биомасса формировалась при отсутствии в спектре дальнего красного света. В этом же варианте четко выражен наиболее поздний переход к фазам бутонизации (на две недели позже) и цветения (на 20 дней позже, чем в варианте со 100 % ДК). У руколы сорта Рококо переход к фазе бутонизации произошел с менее длительной задержкой – через 8 дней, а к фазе цветения – через 13 дней.

Наибольшая интенсивность фотосинтеза была отмечена на режиме 100 % дальнего красного света, способном существенно влиять на уровень фотосинтеза через активацию ростовых процессов. При полном отсутствии дальнего красного, наоборот, фотосинтетическая активность была наименьшей. Самые высокие значения устьичной проводимости и интенсивности транспирации у обоих сортов зафиксированы на режиме с присутствием небольшой доли дальнего красного света.

Таким образом, присутствие ДК света в спектре оптического излучения в начале онтогенеза может стимулировать ускоренное накопление ювенильными растениями биомассы, однако в дальнейшем оно приводит к ранней индукции цветения.

Ключевые слова: рукола, фотоморфогенез, красный свет, дальний красный

ARUGULA PLANTS RESPONSES TO THE RATIO OF RED TO FAR-RED LIGHT IN THE OPTICAL RADIATION SPECTRUM

Fadeeva Yu.Yu., Tarakanov I.G.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Keywords: arugula, photomorphogenesis, red light, far-red light

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БИОДЕСТРУКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ

Фархутдинов Р.Г.^{1*}, Сотникова Ю.М.¹, Григориади А.С.¹, Федяев В.В.¹, Хисамова Р.Р.¹, Галин И.Р.², Шарипова Г.В.², Ямалева А.А.¹, Кудоярова Г.Р.²

¹ Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

² Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

*E-mail: frg2@mail.ru

Фиторемедиация почв, загрязненных нефтью, зависит от ассоциации растений с ризосферными бактериями, способными стимулировать рост растений и разрушать соединения нефти. Изучено влияние биопрепарата «Ленойл», содержащего бактерии *Pseudomonas turukhanskensis* IB 1.1, способные разрушать нефтяные углеводороды, на растения ржи полевой. Внесение в почву нефти увеличило содержание олигонитрофильных и углеводородокисляющих микроорганизмов, но снизило содержание целлюлозолитических микроорганизмов в ризосфере. Применение биопрепарата привело к увеличению численности целлюлозолитических и углеводородокисляющих микроорганизмов и снижению численности олигонитрофильных микроорганизмов. При нефтяном загрязнении в корнях побегов растений ржи снижалось содержание ИУК, зеатинрибозида, зеатиннуклеотида и зеатина, а содержание АБК увеличивалось. Обработка биопрепаратом приводила к увеличению содержания ИУК в корнях и снижению содержания АБК в надземной части и корнях. При обработке нефтезагрязненных почв препаратом «Ленойл» происходило увеличение корневой массы за счет развития боковых корней при высоком содержании ИУК в корнях. Нефтяное загрязнение усиливало отложение лигнина и суберина в корнях, что усиливало апопластический барьер. Таким образом, биопрепарат снижал ростингибирующее действие нефти на растения ржи за счет повышения содержания ростостимулирующих фитогормонов (ИУК и цитокининов) и снижения содержания АБК. Работа выполнена при поддержке гранта № 23-24-00358 Российского научного фонда, <https://rscf.ru/project/23-24-00358/>

Ключевые слова: нефтяное загрязнение почвы, микроорганизмы ризосферы, «Ленойл», фитогормоны.

TECHNOLOGY OF APPLICATION OF BIODESTRUCTORS OF HYDROCARBONS AND PLANT GROWTH STIMULANTS DURING PHYTOREMEDIATING MEASURES ON OIL-CONTAMINATED SOIL

Farkhutdinov R.G.^{1*}, Sotnikova Yu.M.¹, Grigoriadi A.S.¹, Fedyaev V.V.¹, Khisamova R.R.¹, Galin I.R.², Sharipova G.V.², Yamaleeva A.A.¹, Kudoyarova G.R.²

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

² Ufa Institute of Biology, UFIC Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

*E-mail: frg2@mail.ru

Keywords: soil oil pollution, rhizosphere microorganisms, Lenoil, phytohormones.

УЧАСТИЕ ГЛИКОПРОТЕИНОВ В ФОРМИРОВАНИИ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ ЛЬНА

Федина Е.О.* , Ларская И.А.

Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение
Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии
наук», Казань, Россия

*E-mail: solo_nika@mail.ru

Впервые было проведено масштабное профилирование транскриптомов различных участков стебля льна, осуществляемое с целью выявления характера и молекулярных механизмов гликозилирования белков в клетках с различной функциональной специализацией и степенью ее выраженности. При анализе транскриптомов флоэмной и ксилемной частей стебля льна была выявлена экспрессия генов основных ферментов, катализирующих реакции N-гликозилирования белков. Дифференциальная экспрессия генов этих ферментов в различных участках стебля льна наблюдалась для транскриптов альфа-маннозидазы III, а также генов белков галактозилтрансферазного семейства, участвующих в процессе созревания сложных N-гликанов. Проведен сравнительный анализ N-гликопротеома флоэмной и ксилемной частей стебля льна, клетки которых находятся на разных стадиях дифференцировки. Наибольшим содержанием N-гликопротеинов отличалась флоэмная часть стебля, содержащая волокна со зрелой утолщенной третичной клеточной стенкой. При сопоставлении результатов транскриптомного и протеомного анализа была обнаружена корреляция между ткане-специфичной экспрессией генов пероксидазы PRXR1 и уровнем N-гликозилирования изоформ этого белка. Максимальная экспрессия PRXR1 и содержание идентифицированной пероксидазы наблюдались в образце, содержащем волокна с утолщенной третичной клеточной стенкой.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum*, N-гликозилирование белков растений, клеточная стенка, гликопротеомика, растительный транскриптом, волокна

THE GLYCOPROTEIN PARTICIPATION IN THE FORMATION OF THE FLAX CELL WALL

Fedina E.O.* , Larskaya I.A.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FIC KazanSC of RAS, Kazan, Russia

Keywords: *Linum usitatissimum*, N-glycosylation of plant proteins, cell wall, glycoproteomics, plant transcriptome, fibers

ОСОБЕННОСТИ ДЫХАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АНТОЦИАНОВ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ СОСТАРИВАНИИ

Федяев В.В.^{1*}, Заикина Е.А.², Кулуев Б.Р.^{1,2}, Байгильдина Г.И.¹,
Гарипова М.И.¹, Фархутдинов Р.Г.¹

¹ Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

² Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

*E-mail: yadim.fedyaev@gmail.com

В то время как структура путей дыхания растений изучена хорошо, их регуляция оставляет еще много вопросов. Остается недостаточно исследованной роль вторичных метаболитов в регуляции дыхания. Антоцианы (АЦ) представляют собой гликозилированные фенольные соединения группы флавоноидов обладающие широким спектром функций в защите растений от стресса. Установлена положительная связь содержания АЦ и активности альтернативной оксидазы у растений. При состаривании покоящихся органов растений путем оксигенации тканей, происходит синтез дыхательных ферментов *de novo*, что позволяет изучать дыхание на всех уровнях регуляции процесса. Объектами исследования были бесцветные клубни картофеля (сорт Удача) и клубни содержащие АЦ (сорт All Blue), находившиеся в состоянии покоя и искусственно состаренные путем оксигенации тонких срезов. Способность цитохромоксидазного пути (ЦП) покоящихся клубней обоих сортов имела близкие значения (в среднем 55 мкл O₂/г сырой массы · час). При состаривании способность ЦП у сорта Удача возрастала в 2,4 раза, а у сорта All Blue – в 1.8 раза. Способность альтернативного пути (АП) у обоих сортов в покое составляла в среднем 4,5 мкл O₂/г сырой массы · час. При состаривании этот показатель возрастал у сорта Удача в 5,5 раза, а у сорта All Blue – в 14 раз. Содержание транскриптов ядерного гена *PGSC0003DMG400030628*, кодирующего цитохромоксидазу у сорта Удача возрастал при состаривании в 1,4 раза. У сорта All Blue этот показатель был одинаков и покое, и при оксигенации. Содержание транскриптов гена *PGSC0003DMG400007614*, кодирующего белок АОХ1а, у сорта All Blue в покое была ниже, чем у бесцветного сорта в 1,25 раза. При состаривании экспрессия гена у сорта Удача возрастала в 1,1 раза, а у окрашенного сорта – в 1,6 раза. Таким образом, показаны различия величин способности ЦП и АП и экспрессии соответствующих генов в тканях клубней картофеля в зависимости от содержания АЦ при состаривании.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, антоцианы, дыхание, альтернативная оксидаза

PECULIARITIES OF THE RESPIRATION OF POTATO TUBERS WITH DIFFERENT ANTHOCYANIN CONTENT DURING ARTIFICIAL AGING

Fedyaev V.V.^{1*}, Zaikina E.A.², Kuluev B.R.^{1,2}, Baigildina G.I.¹, Garipova M.I.¹,
Farkhutdinov R.G.¹

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

² Institute of Biochemistry and Genetics UFRC RAS, Ufa, Russia

*E-mail: yadim.fedyaev@gmail.com

Keywords: *Solanum tuberosum*, anthocyanins, respiration, alternative oxidase

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ ШТАММА БАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS PLECOGLOSSICIDA* 2,4-D С ГУМИНОВЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА РОСТ И ГОРМОНАЛЬНЫЙ СТАТУС РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

Феоктистова А.В.* , Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В., Четвериков С.П.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия;

*E-mail: feoktistova.arisha@yandex.ru

В работе использовали проростки мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), штамм бактерий *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-D и гуминовые вещества (ГВ), извлеченные из бурого угля. Растения обрабатывали опрыскиванием суспензией бактерий и/или гуматами. Контрольные растения поливали до 80% от полной влагоемкости песка, а засуху поддерживали на уровне 20-30%. Содержание фитогормонов определяли через 3 дня после обработки растений, а показатели роста через неделю. Засуха значительно снижала массу побегов и корней растений, однако, обработка бактериями и ГВ повышала массу корня, но наиболее эффективной было их совместное действие. Ростостимулирующий эффект штамма бактерий *P. plecoglossicida* 2,4-D обусловлен его способностью продуцировать ауксины и увеличивать их концентрацию в корнях, тем самым увеличивая их массу. ГВ также увеличивали концентрацию ауксинов в корнях. Аддитивный эффект при совместной обработке ГВ и бактерий мог быть связан с увеличением продукции бактериального ауксина, индуцируемого гуминовыми веществами, тем самым способствуя активации роста корня. Концентрация АБК повышалась в корнях растений испытывающих засуху. Бактериальная обработка (отдельно или в комбинации с ГВ) предотвращала накопление АБК, вызванное дефицитом воды. Содержание цитокининов в корнях растений, растущих в условиях засухи, обработанных только ГВ, повышалось и являлось причиной обнаруженного снижения их массы. Концентрация цитокинина не была повышена в корнях растений, обработанных комбинацией гуминовых веществ и бактерий. Таким образом, было выявлено накопление массы корня у растений пшеницы при обработке их комбинацией *P. plecoglossicida* 2,4-D и ГВ в условиях засухи. Более высокая эффективность совместного действия на растения комбинации бактерий и гуматов может быть связана с аддитивным действием этих обработок на гормональный статус.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00147, <https://rscf.ru/project/22-26-00147/>.

Ключевые слова: *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-D, пшеница, засуха, фитогормоны.

EFFECT OF COMBINATION OF *PSEUDOMONAS PLECOGLOSSICIDA* 2.4D-BACTERIAL STRAIN WITH HUMIC SUBSTANCES ON GROWTH AND HORMONAL STATUS OF WHEAT PLANTS WITH SOIL MOISTURE DEFICIENCY

Feoktistova A.V., Timergalin M.D., Rameev T.V., Chetverikov S.P.

Ufa Institute of Biology of the UFRS RAS, Ufa, Russia;

Keywords: *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-D, wheat, drought, phytohormones.

ХЕМОТИПИРОВАНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕМЯН КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Фролов А.А.^{1,2*}, Леонова Т.С.³, Ерофеева Н.О.⁴, Орлова А.А.¹, Силинская С.А.¹, Попова В.В.⁴, Фролова Н.В.¹, Смоликова Г.Н.⁴, Куркиев К.У.², Билова Т.Е.^{1,4}, Хлесткина Е.К.²

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Москва, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Министерство науки и высшего образования, Санкт-Петербург, Россия

³ Лейбниц-Институт Биохимии Растений, Департамент Биоорганической Химии, Галле-Заале, Германия

⁴ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Кафедра Физиологии и Биохимии Растений, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: afrolov@ipb-halle.de

Приоритетной задачей для поддержания высокой урожайности и качества сельскохозяйственной продукции является внедрение в предселекционные работы и селекционные программы дополнительных подходов, в первую очередь - широкий набор методов фенотипирования, в том числе так называемого хемотипирования (т.е. химического фенотипирования), основой которого, в первую очередь, являются современные методологические платформы протеомики и метаболомики. При этом, под качеством сельскохозяйственной продукции необходимо понимать не только ее питательные свойства, но и весь спектрнутрицевтических параметров и биологических свойств, а также физиологическое качество семян. Важно, что в контексте прогрессирующих изменений климата и нарастающих угроз продовольственной безопасности одним из ключевых критериев успешности создаваемых новых сортов должно являться сохранение качества продукции при выращивании в условиях засухи и при длительном хранении. Для выявления соответствующих признаков, в рамках предселекционных работ важное значение имеют исследования коллекций культур, характеризующихся уникальным генетическим разнообразием.

В рамках изучения перспектив применения химического фенотипирования в предселекционной практике, нами были рассмотрены зерновые и зернобобовые культуры, пшеница и горох, соответственно. При этом, сортоспецифические особенности паттернов метаболитов рассматривались в контекстенутрицевтических свойств, устойчивости к хранению и засухе, для чего было изучено по 30 сортов гороха и пшеницы. Для анализа метаболитов различной химической природы был применен комплексный метаболомный подход. Для этого материал семян последовательно экстрагировали в нескольких системах растворителей разной полярности, и полученные экстракты анализировали с помощью жидкостной обращённо-фазовой хромато-масс-спектрометрии (ОФ-ЖХ-МС) и газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Обработка полученной информации и статистический анализ были выполнены с помощью программного обеспечения MSDial и он-лайн платформ Metaboanalyst и Metfamily. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России проекта «Хлеба России» по соглашению № 075-15-2021-1066 от 28.09.2021 г.

Ключевые слова: метаболомика, молекулярные маркеры, первичные метаболиты, хемотипирование, устойчивость к длительному хранению и засухе

CHEMOTYPING AS A METHODOLOGICAL PLATFORM FOR ASSESSING THE QUALITY OF CROP PLANT SEEDS

Frolov A.A.^{1,2}, Leonova T.S.³, Erofeeva N.O.⁴, Orlova A.A.¹, Silinskaya S.A.¹, Popova V.V.⁴, Frolova N.V.¹, Smolikova G.N.⁴, Kurkiev K.U.², Bilova T.E.^{1,4}, Khlestkina E.K.²

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, Moscow, Russia.

² Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR), Ministry of Science and Higher Education, St. Petersburg, Russia.

³ Leibniz Institute for Plant Biochemistry, Department of Bioorganic Chemistry, Halle-Saale, Germany

⁴ St. Petersburg State University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, St. Petersburg, Russia

Keywords: Metabolomics, molecular markers, primary metabolites, chemotyping, long-term storage and drought tolerance

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАБОЛОМНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕЙСТВИЮ СТРЕССОРОВ

Фролова Н.В.^{*1}, Гурина А.К.², Лукашева Е.М.², Кузнецова А.В.²,
Шумилина Ю.С.¹, Алхаже К.¹, Билова Т.Е.^{1,2}, Орлова А.А.¹, Силинская С.А.¹,
Черевацкая М.А.², Шапошников А.И.³, Сырова Д.С.³, Фролов А.А.^{1,2},
Белимов А.А.³

¹ Институт Физиологии Растений им. Тимирязева, Москва, Россия

² Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Всероссийский Научно-исследовательский Институт Сельскохозяйственной Микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: frolovanadja@yandex.ru

Абиотические стрессоры, в частности засуха, играют важную роль в жизни растений и связанных с ними микробиомов ризосферы, которые также вовлечены в адаптацию растений к их действию. При симбиозе растений с рост-стимулирующими ризобактериями одним из защитных механизмов в условиях стресса является снижение уровня этилена и уменьшение его ингибирующего эффекта на рост растений. Реакция осуществляется 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АЦК) дезаминазой путем дезаминирования предшественника этилена (АЦК), синтезируемого в тканях растений. В работе было изучено влияние инокуляции тремя штаммами ризобактерий *Pseudomonas brassicacearum* Am3, *P. brassicacearum* T8-1 и *Variovorax paradoxus* 5C-2 с различной активностью АЦК-дезаминазы на первичный метаболит листьев томата (*Lycopersicon esculentum*), подвергнутых влиянию засухи. Анализ первичных метаболитов проводился методами газовой хроматографии сопряженной в режиме онлайн с квадрупольной масс-спектрометрией с ионизацией электронным ударом (GC-EI-Q-MS) и ион-парной обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии, сопряженной в режиме онлайн с тройной квадрупольной тандемной масс-спектрометрией (RP-IP-HPLC-QqQ-MS/MS). Объединённая результатная матрица была процессирована с помощью онлайн-ресурса MetaboAnalyst 5.0. В результате анализа первичных метаболитов контрольных и инокулированных растений были выявлены метаболиты, уровень которых достоверно изменялся в ответ на действие засухи. Анализ метаболических путей позволил выявить ключевые регуляторные звенья и возможные механизмы модуляции метаболизма у растений, инокулированных различными штаммами ризобактерий в условиях засухи, а также сделать предположение о механизмах устойчивости к засухе.

Ключевые слова: засуха, инокуляция, АЦК дезаминаза, масс-спектрометрия, первичные метаболиты

USING THE METABOLOMIC APPROACH TO STUDY PLANT ADAPTATION TO STRESSORS

Frolova N.V.^{*1}, Gurina A.K.², Lukasheva E.M.², Kuznetsova A.V.²,
Shumilina J.S.¹, Alhajje K.¹, Bilova T.E.^{1,2}, Orlova A.A.¹, Silinskaya S.A.¹,
Cherevatskaya M.A.², Shaposhnikov A.I.³, Syrova D.S.³, Frolov A.A.^{1,2}, Belimov A.A.³

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

³ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Pushkin 8, Russia

Keywords: drought, PGPR inoculation, ACC deaminase, mass-spectrometry, primary metabolites

УФИМСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ИЗУЧЕНИЯ ЭНДОФИТОВ: НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Хайруллин Р.М.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия;
E-mail: krm62@mail.ru

Истоки уфимской научной школы изучения эндофитных бактерий лежат в Таджикском аграрном университете, «отцом» этого направления является проф. М.Я. Менликиев. В начале 1990-х гг. Магдан Янфаевич вернулся из Таджикистана на историческую Родину, передал свои знания и опыт сотрудникам лаборатории биотехнологии Башкирского ГАУ, организованной по инициативе ректора проф. В.Д. Недорезкова и ставшей кузницей кадров «эндофитчиков». Её сотрудниками исследованы: изменения уровня фитогормонов, активности защитных белков в растениях при инокуляции эндофитами *B. subtilis* (Мубинов И.Г., 2007); взаимоотношения эндофитов с системой горох-ризобии (Иванчина Н.В., 2010); возможность биоконтроля фузариоза колоса пшеницы эндофитами (Кутлубердина Д.Р., 2010); биологическая активность эндофитов *B. subtilis* с различной степенью антагонизма к фитопатогенам (Лукьянцев М.А., 2010); совместное действие ризобий и эндофитов на с.-х. растения (Гарифуллина Д.В., 2012); комплекс свойств эндофитов для создания полифункциональных препаратов (Егоршина А.А., 2012). Результаты завершённых или начатых в Башкирском ГАУ работ легли в основу или стали частью шести диссертаций кандидата и трех – доктора наук (В.Д. Недорезков, 2003; З.М. Курамшина, 2018; С.Р. Гарипова, 2020). С переходом автора в ИБГ УФИЦ РАН исследования продолжились в лаборатории биохимии иммунитета растений, благодаря их поддержке заведующим проф. И.В. Максимовым и его непосредственному участию – на современном уровне. В ежегодных отчетах доля публикаций сотрудников лаборатории по этому направлению возросла с 15% в 2013 г. до 80% в 2022 г., были защищены еще три кандидатские диссертации. За период 2000-2022 гг. 30% российских работ (elibrary.ru), посвященных изучению эндофитных бактерий, опубликована уфимцами, 13% - сотрудниками ФНЦ им. И.В. Мичурина и Мичуринского ГАУ, 7% - ВНИИСХМ (С.-Пб-Пушкин). Перспективы исследований эндофитов на основе новых знаний об их свойствах и возможностях молекулярно-генетических методов обсуждаются в докладе.

Ключевые слова: эндофитные бактерии, уфимская научная школа

UFA SCIENTIFIC SCHOOL OF ENDOPHYTE RESEARCHES: SOME RESULTS AND PERSPECTIVES

Khairullin R.M.

Institute of Biochemistry and Genetics – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia;
E-mail: krm62@mail.ru

Keywords: Endophytic bacteria, Ufa scientific school.

ПОЛУЧЕНИЕ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПЕТУНИИ С ПРИЖИЗНЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ЦИТОСКЕЛЕТА

Халилуев М.Р.* , Варламова Н.В., Демиденко Д.В., Захарова Е.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ВНИИСБ), Москва, Россия

*E-mail: marat131084@rambler.ru

Трансгенные растения петунии с прижизненной визуализацией цитоскелета являются удобной моделью в изучении роли микротрубочек и микрофиламентов в условиях стрессовых факторов. Кроме того, важным аспектом современной репродуктивной биологии растений является получение принципиально новых данных о структурной реорганизации цитоскелета пыльцевой трубки в процессе функционирования механизма гаметофитно-спорофитной несовместимости РНК-азного типа, а также влияния на него гормональных и стрессовых факторов. Целью исследования являлось получение трансгенных растений петунии самосовместимого и самонесовместимого клонов как экспериментальной модели для изучения роли тубулинового и актинового цитоскелета в регуляции роста мужского гаметофита в прогамной фазе оплодотворения, в том числе, в условиях избыточной генерации АФК. Получение трансгенных растений осуществляли методом агробактериальной трансформации штаммом AGL0 с плазмидой pCMU-MTUBr (Addgene, № 61196), которая содержит целевую последовательность MAP4-MBD, кодирующую слитый репортерный белок mCherry для прижизненной детекции микротрубочек, а также селективный ген *nptII*, обуславливающий устойчивость к канамицину.

В результате серии экспериментов по агробактериальной трансформации с использованием плазмиды pCMU-MTUBr были получены независимые трансгенные линии каждого генотипа петунии, трансгенный статус которых подтвержден ПЦР. Получено T1 и T2 семенное поколение самосовместимых генотипов. Флуориметрический анализ гена *mCherry* выявил видимые различия при сравнении контрольного образца с трансгенными линиями, что указывает на наличие экспрессии репортерного гена. Кроме того, была использована аналогичная векторная конструкция pCMU-ACTLr (Addgene, № 61193) для получения трансгенных растений с прижизненной визуализацией актинового цитоскелета. В настоящее время проводится селективный отбор первичных регенерантов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 22-24-01148.

Ключевые слова: петуния, цитоскелет, агробактериальная трансформация

PRODUCING TRANSGENIC PETUNIA PLANTS WITH INTRAVITAL VISUALIZATION OF THE CYTOSKELETON

Khaliluev M.R., Varlamova N.V., Demidenko D.V., Zakharova E.V.

All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology (ARRIAB), Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow, Russia

Keywords: petunia, cytoskeleton, *Agrobacterium*-mediated transformation

АНАЛИЗ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОРОСТКОВ *LUPINUS ALBUS* L. ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН

Ханова А.С. *, Крылова П.С., Бондаренко Е.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»,
Обнинск, Россия

*E-mail: micenyk-anastasi@mail.ru

Для изучения влияния γ -излучения на морфофизиологические параметры проростков *Lupinus albus* сухие семена сорта «Мичуринский» подвергли облучению в дозах 25, 50, 100, 200, 400, 800 и 1200 Гр на УНУ ГУР-120 (^{60}Co , ВНИИРАЭ, мощность дозы – 90 Гр/час). Воздействие γ -излучения никак не повлияло на процент проросших семян люпина белого, однако, с увеличением дозы статистически значимо увеличилось среднее время прорастания (от 200 до 1200 Гр). Диапазон доз от 100 до 1200 Гр статистически значимо ингибирвал не только длину гипокотыля, но и биомассу проростков. Статистически значимое ингибирование корней у сорта «Мичуринский» наблюдали в диапазоне доз от 200 до 1200 Гр. Доза 50 Гр оказала стимулирующее воздействие на длину гипокотыля *L. albus*.

Анализ активности ферментов антиоксидантной системы в гипокотыле и в листьях люпина белого не выявил никаких статистически значимых различий в активности аскорбатпероксидазы в группах воздействия γ -излучения по сравнению с контролем. В листьях *L. albus* активность каталазы статистически значимо уменьшалась при дозах 400 и 1200 Гр. Статистически значимых изменений в активности данного фермента в группах воздействия γ -излучения по сравнению с контрольной группой зафиксировано в гипокотеле не было. Активность гваяколовой пероксидазы (РОХ), наоборот, увеличивалась в диапазоне доз от 400 до 1200 Гр как в листьях, так и в тканях гипокотыля.

Дозы от 400 Гр и выше для люпина белого будут расцениваться, как ингибирующие. Для дальнейших радиобиологических исследований рекомендуется использовать дозы в диапазоне от 100 до 400 Гр. Таким образом, полученные данные могут быть использованы в протоколах радиационного мутагенеза отечественных сортов *L. albus*, а также в решении других радиобиологических задач.

Ключевые слова: *Lupinus albus*, аскорбатпероксидаза, гваяколовая пероксидаза, каталаза, морфофизиологические параметры, гамма-облучение

THE EFFECT OF GAMMA-IRRADIATION OF SEEDS ON THE MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF SEEDLINGS OF *LUPINUS ALBUS* L.

Khanova A.S., Krylova P.S., Bondarenko E.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

Keywords: ascorbate peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (POX), catalase (CAT), morphophysiological parameters, gamma irradiation

ЦИФРОВОЕ ФЕНОТИПИРОВАНИЕ ЛИПОВЫХ ЛЕСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ НЕКТАРОПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Хисамова Р.Р.^{1*}, Фархутдинов Р.Г.¹, Карюгина В.Г.¹, Рахматуллин З.З.²

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Россия

² ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия

*E-mail: r.hisamova@mail.ru

Липовые леса в Республике Башкортостан являются ценными природными ресурсами. Оценка их нектаропродуктивного потенциала имеет важное значение для понимания и сохранения этих экосистем. Традиционные методы изучения потенциала липовых лесов требуют значительных временных и трудовых затрат. В данной работе предлагается применить цифровое фенотипирование для более эффективного и объективного изучения нектаропродуктивного потенциала этих лесных сообществ.

Целью является разработка методики цифрового фенотипирования для оценки нектаропродуктивного потенциала липовых лесов Республики Башкортостан. Для достижения данной цели будет использовано цифровое фотографирование липовых лесов в различные периоды цветения с последующей обработкой изображений с использованием алгоритмов компьютерного зрения. Полученные данные о цветущих деревьях и проценте площади цветения будут использоваться для оценки нектарного потенциала липняков.

Цифровое фенотипирование липовых лесов Республики Башкортостан для оценки их нектаропродуктивного потенциала представляет собой перспективное направление исследований. Предложенная методика, основанная на использовании цифровой камеры и алгоритмов компьютерного зрения, позволяет более точно и объективно оценить потенциал липовых лесов. Полученные результаты будут полезны для разработки стратегий по сохранению и улучшению этих важных экосистемных сообществ.

Ключевые слова: цифровое фенотипирование, липовые леса, нектаропродуктивный потенциал, медоносные пчелы.

DIGITAL PHENOTYPING OF LINDEN FORESTS TO ASSESS THEIR NECTAR-PRODUCTIVE POTENTIAL

Khislamova R.R.¹, Farkhutdinov R.G.¹, Karyugina V.G.¹, Rakhmatullin Z.Z.²

¹ FSBEI HE «Ufa University of Science and Technology», Ufa, Russia

² FSBEI HE «Bashkir State Agrarian University», Ufa, Russia

Keywords: digital phenotyping, linden forests, nectar-productive potential, honeybees.

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ГОРЧИЦЫ САРЕПТСКОЙ НА СОВМЕШНОЕ ДЕЙСТВИЕ ИЗБЫТКА ЦИНКА И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Холопцева Е.С.* , Батова Ю.В., Казнина Н.М.

ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия;

*E-mail: holoptseva@krc.karelia.ru

Горчица сарептская (*Brassica juncea* (L.) Czern.) является перспективным видом для фиторемедиации, но для использования в северных регионах важно оценить ее способность адаптироваться к избытку тяжелых металлов при низкой температуре. Задачей данного исследования явилось изучение ответной реакции растений *B. juncea* на повышенное содержание цинка в субстрате при оптимальной и низкой положительной температурах.

Растения *B. juncea* с. Славянка выращивали в лабораторных условиях в сосудах с песком. Полив растений осуществляли питательным раствором Хогланда-Арнона с оптимальной концентрацией цинка (контроль). В опытных вариантах цинк в концентрации 45 мг/кг субстрата вносили в виде сернокислой соли, предварительно растворив ее в 150 мл дистиллированной воды. Через 3 недели часть растений каждого варианта опыта помещали на 7 сут. в камеру с температурой 4°C, остальные оставляли при 22°C.

Обнаружено, что при низкой температуре избыток цинка оказывает менее сильное отрицательное воздействие на рост, фотосинтетический аппарат и продуктивность растений, чем при оптимальной. Так, при 22°C цинк в изученной концентрации приводил к уменьшению (на 90% от контроля) линейных размеров корня и побега и снижению их биомассы, тогда как при 4°C ингибирование металлом этих показателей составило лишь 30% от контроля. Кроме того, при действии избытка цинка и низкой температуры в листьях в 2 раза увеличивалось содержание пигментов и сохранялась неизменной устьичная проводимость, чего не наблюдалось при 22°C. Это позволило растениям в условиях гипотермии поддерживать более высокую скорость фотосинтеза, чем при оптимальной температуре (в соответствии с контролями).

В целом, *B. juncea* способна адаптироваться к совместному воздействию избытка цинка и низкой температуры. Более того, негативное действие металла в условиях гипотермии проявлялось в меньшей степени, чем при оптимальной температуре, что, возможно, связано со снижением поступления цинка в растение.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (№ FMEN-2022-0004).

Ключевые слова: *Brassica juncea* (L.) Czern., фотосинтетический аппарат, биомасса, рост

RESPONSE OF SAREPTA MUSTARD PLANTS TO THE COMBINED ACTION OF ZINC EXCESS AND LOW TEMPERATURE

Khloptseva E.S., Batova Yu.V., Kaznina N.M.

IB KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia;

Keywords: *Brassica juncea* (L.) Czern., photosynthetic apparatus, biomass, growth

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТУЛАСИ (*OCIMUM TENUIFLORUM* L.) В УСЛОВИЯХ *IN VITRO* И *EX VITRO* ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Хоцкова Л.В.^{*1}, Якимов Ю.Е.¹, Коваленко Д.В.²

¹ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, Россия;

² ООО «ЗИГР», г. Томск, Россия;

*E-mail: khotskova77@mail.ru

Методы биотехнологии сегодня призваны решать самые разнообразные задачи в области биологии, медицины и промышленности. Так, для получения сырья пищевых и лекарственных растений используются методы клонального микроразмножения, аэро- и гидропонные технологии. Базилик тонкоцветный (*Ocimum tenuiflorum* L.), или туласи, – многолетнее кустарниковое пряно-ароматическое растение семейства яснотковые, родом из Юго-Восточной Азии, широко используется в кулинарии, гомеопатии и косметологии. Целью работы являлась разработка технологии получения растительного сырья базилика тонкоцветного в условиях *in vitro* и *ex vitro* для практического применения. Эксплантами служили апикальные и латеральные почки молодых побегов, полученных из семян в условиях *in vitro*. Экспериментальные питательные среды готовили на основе концентрата питательного раствора (ООО «ЗИГР», г. Томск), взятого в качестве источника минеральных веществ, с добавлением сахарозы, агар-агара и стимуляторов роста (рН 5,5). Все работы со стерильными культурами туласи производили в ламинарном боксе «КВАЗАР-UV-Bio», фитостеллаже «СТЕЛЛАР-ФИТОLINE» и гидропонной установке АГП-20 от АНО «АВТех» (г. Москва). Культивировали растения в условиях *in vitro* при температуре +23°C, 65% влажности воздуха и 14ч фотопериодом на свету разного спектрального состава. Инициацию роста первичных регенерантов из эксплантов наблюдали через 5 недель на питательной среде с добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина. Субкультивирования производили каждые 3 недели. При развитии у регенерантов 3-4 пар листьев их переводили на среду укоренения с добавлением 0,5 мг/л индолил-3-масляной кислоты. Коэффициент размножения составил 5,3±0,3 шт./эксплант. Полученный посадочный материал туласи в дальнейшем выращивали в *ex vitro* условиях на гидропонной установке, используя тот же концентрат питательного раствора (ООО «ЗИГР», г. Томск). Выход растительного сырья для практического применения получали ежемесячно, в среднем, 45 кг сырой массы от 1000 саженцев.

Ключевые слова: туласи, клональное микроразмножение, гидропоника, лекарственное сырье, питательная среда, биотехнология.

CULTIVATION OF TULASI (*OCIMUM TENUIFLORUM* L.) *IN VITRO* AND *EX VITRO* CONDITIONS FOR PRACTICAL USE

Khotskova L.V.^{*1}, Yakimov Yu.E.¹, Kovalenko D.V.²

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia;

² LTD ZIGR, Tomsk, Russia;

*E-mail: khotskova77@mail.ru

Keywords: tulasi, clonal micropropagation, hydroponics, medicinal raw materials, nutrient medium, biotechnology

ВЫСОКОАФФИННЫЕ НИТРАТНЫЕ ТРАНСПОРТЕРЫ СЕМЕЙСТВА NRT2 ГАЛОФИТА *SUAEDA ALTISSIMA*: КЛОНИРОВАНИЕ ГЕНОВ И АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ И ДЕФИЦИТА НИТРАТА.

Храмов Д.Е.*, Ростовцева Е.И., Маталин Д.А., Попова Л.Г., Балнокин Ю.В.

ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия.

*E-mail: khramov.de@yandex.ru

Азот, один из важнейших биогенных элементов, поглощается корнем растения преимущественно в виде нитрата (NO_3^-), который является доминирующей формой среди азотных соединений в аэробных почвах. Поглощение растением нитрата из почвы обеспечивается работой специфических транспортных систем, функционирующих в плазматических мембранах клеток корня. Ключевую роль в процессах поглощения нитрата и последующем распределении его по органам и тканям растения играют анионные каналы и переносчики, относящиеся к семействам NRT1/NPF, NRT2, CLC и SLAC1/SLAH. Почвенное засоление приводит к снижению поступления нитрата в растение. Основной причиной этому является прямая конкуренция между NO_3^- и Cl^- за высокоаффинные переносчики нитрата. У галофитов снижение содержания нитрата в клетках при хлоридном засолении выражено в гораздо меньшей степени, чем у гликофитов. Предполагается, что у галофитов в условиях засоления особую роль в снабжении растений нитратом играют высокоаффинные переносчики семейства NRT2.

Для выявления функциональных особенностей и физиологической роли белков NRT2 у галофитов из эугалопфита *Suaeda altissima* (сведа высокая) клонированы полноразмерные CDS генов семейства NRT2, *SaNRT2.5a* и *SaNRT2.5b*, кодирующие белки – ортологи высокоаффинного нитратного переносчика AtNRT2.5 из *Arabidopsis thaliana*. Поскольку функционирование белков семейства NRT2 требует образования комплекса с белками другого семейства, NRT3/NAR2, для *S. altissima* также идентифицирована и клонирована CDS гена из семейства NRT3/NAR2, *SaNRT3.2*. Продукт этого гена является ортологом белка AtNRT3.2 из *A. thaliana*. Исследована экспрессия идентифицированных генов в органах растений *S. altissima*, выращенных на средах с разными концентрациями NaCl, при достаточном снабжении растений нитратом и при его дефиците. Сравнительный функциональный анализ белков высокоаффинных нитратных транспортеров семейства NRT2 из гликофитов и галофитов позволит выявить черты, свойственные высокоаффинному транспорту нитрата у галофитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-24-00378.

Ключевые слова: галофиты, нитратные переносчики, семейство NRT2, транспорт нитрата, *Suaeda altissima*.

HIGH-AFFINITY NITRATE TRANSPORTERS OF THE NRT2 FAMILY FROM THE HALOPHYTE *SUAEDA ALTISSIMA*: GENE CLONING AND ANALYSIS OF EXPRESSION UNDER CONDITIONS OF SALINITY AND NITRATE DEFICIENCY

Khramov D.E., Rostovtseva E.I., Matalin D.A., Popova L.G., Balnokin Y.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia.

Keywords: halophytes, nitrate transporters, family NRT2, nitrate transfer, *Suaeda altissima*.

РОЛЬ АПОПЛАСТА В РАЗВИТИИ БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА

Цыганова А.В.^{1*}, Селиверстова Е.В.^{1,2}, Цыганов В.Е.¹

¹ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

² Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И. М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: avtsyganova@arriam.ru

Фиксация атмосферного азота происходит благодаря ферменту клубеньковых бактерий (ризобий) нитрогеназе, для активности которой создается благоприятная микросреда в специализированных органах — симбиотических клубеньках. Развитие клубенька обеспечивается двумя параллельными, но взаимосвязанными процессами: органогенезом клубенька и его инфекцией (колонизацией) ризобиями. При этом размещение бактерий внутри растительных клеток является уникальной особенностью бобово-ризобиального симбиоза. Во время ризобиальной инфекции важную роль в обеспечении позиционной информации играют различные компоненты апопласта. В процессе развития клубеньков последовательные изменения в морфологии клеток растений во время их колонизации ризобиями соответствуют последовательным изменениям в молекулярной архитектуре апопласта – клеточной стенке и связанных с ней поверхностных структур. Клеточные стенки и плазматические мембраны вовлечены в обмен веществ между бобовыми растениями и ризобиями, эффективность которого достигается благодаря развитию обширной контактной поверхности между макро- и микросимбионтом. Кроме того, процесс колонизации во многом зависит от подавления защитных реакций хозяина, как во внеклеточном матриксе, так и в цитоплазматической фазе существования ризобий.

В наших исследованиях было показано, что внеклеточный матрикс, включающий гликопротеины клеточной стенки и пектины, модифицируется для обеспечения развития инфекционных нитей и инфицированных клеток. Изучение компонентов симбиотического интерфейса в клубеньках *Pisum sativum* и *Medicago truncatula*, которые относятся к недетерминированному типу, позволило в общих чертах рассмотреть онтогенетические изменения симбиотического интерфейса. Изучение симбиотического интерфейса в клубеньках *Galega orientalis* и *Glycine max* позволило выявить его отличительные особенности в разных типах клубеньков.

Работа была поддержана грантом РФФИ № 23-16-00090.

Ключевые слова: бобово-ризобиальный симбиоз, азотфиксирующий клубенек, клеточная стенка, инфекционная нить, пектины, белки клеточной стенки

THE ROLE OF APOPLAST IN THE DEVELOPMENT OF LEGUME-RHIZOBIAL SYMBIOSIS

Tsyganova A.V.¹, Seliverstova E.V.^{1,2}, Tsyganov V.E.¹

¹ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

² Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Keywords: legume-rhizobial symbiosis, nitrogen-fixing nodule, cell wall, infection thread, pectins, cell wall proteins

РАЗВИТИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ В УСЛОВИЯХ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ

Цыганов В.Е.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: vetsyganov@arriam.ru

В ходе развития бобово-ризобияльного симбиоза бобовые растения формируют на корнях симбиотические клубеньки, в которых бактерии приобретают способность к фиксации атмосферного азота. Хорошо известно, что процессы формирования и функционирования симбиотических клубеньков чувствительны к действию различных абиотических стрессов, вызываемых тяжелыми металлами, засолением, засухой, пестицидами и др. Следует отметить, что в последние годы в условиях глобального потепления особую актуальность приобретают исследования воздействия на бобово-ризобияльный симбиоз повышенных и высоких температур. Тем не менее, температурный стресс является одним из наименее изученных.

В наших исследованиях изучалось действие на симбиоз ризобий с горохом посевным таких стрессоров, как тяжелые металлы (на примере кадмия), пестициды (фунгициды и гербициды), а также повышенные и высокие температуры.

В результате проведенных сравнительных исследований действия различных типов стрессоров, нами выявлены общие и специфичные цитологические маркеры, характеризующие каждый тип стресса, испытываемого клубеньками гороха. К общим маркерам можно отнести изменения, связанные с симбиосомами: расширение перибактероидного пространства, формирование мультибактероидных симбиосом, деградация бактериоидов. Для стрессов, вызываемых воздействием фунгицидов и гербицидов характерны специфичные модификации клеточных стенок и стенок инфекционных нитей, а также развитие процессов автофагии. При воздействии тяжелых металлов, в частности кадмия, специфичным цитологическим маркером служит перекисное окисление липидов мембран с их разрушением, что не наблюдалось при других воздействиях. Повышенные температуры, в отличие от других стрессоров, воздействуют в основном на ювенильные, не подвергшиеся дифференцировке, бактериоиды. Также получены данные о транскрипционных профилях, ассоциированных с действием изученных стрессоров.

Работа была поддержана грантом РФФИ № 21-16-00117.

Ключевые слова: бобово-ризобияльный симбиоз, азотфиксирующий клубенек, клеточная стенка, инфекционная нить, симбиосомы

DEVELOPMENT AND FUNCTIONING OF SYMBIOTIC NODULES UNDER ABIOTIC STRESSES

Tsyganov V.E.

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

Keywords: legume-rhizobial symbiosis, nitrogen-fixing nodule, cell wall, infection thread, symbiosomes

СЕКВЕНИРОВАНИЕ ПОЛНЫХ (ДИПЛОИДНЫХ) ГЕНОМОВ РАСТЕНИЙ

Чемерис А.В.* , Кулуев Б.Р.

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия;

*E-mail: chemeris@anrb.ru

Предложенный более 100 лет назад термин «геном» относится к гаплоидному набору хромосом и поэтому когда появилась возможность определять нуклеотидные последовательности полных геномов высших организмов, включая растения, то подразумевалось секвенирование ДНК из половинного набора их хромосом, что собственно в тот момент только и было возможно, приводя к квазигаплоидным геномам, поскольку в итоговых последовательностях неизбежно перемежаются участки из разных парных хромосом. Однако жизненный статус организма (растения) определяет именно полный набор всех его хромосом, невзирая на пloidность. Серьезным недостатком квазигаплоидного секвенирования служит то, что неизбежно присутствующие вариации нуклеотидных последовательностей из разных хромосом не позволяют восстановить последовательность нуклеотидов так, чтобы принимать во внимание *цис*- и *транс*положения отдельных замен, которые могут на аминокислотном уровне приводить к разной функциональной активности кодируемых ими белков со всеми вытекающими последствиями. Безусловно, даже такая ущербная информация о квазигаплоидных последовательностях дает важные сведения об организации генома и даже его функционировании. Относительно недавно появился формат секвенирования геномов “T2T” (Telomere-to-Telomere), что является фактически более точной и полной версией по-хромосомного представления данных, но квазигаплоидность таких геномов сохраняется, равно как и у пангеномов, приходящих на смену референсным. Но неумолимо наступает время секвенирования уже диплоидных геномов, что, в том числе, благодаря развитию технологий секвенирования новых поколений, появлению специализированных программ-сборщиков таких геномов, прочим ухищрениям, возможно уже сейчас. Однако необходимо секвенировать полные диплоидные геномы или иначе дигеномы либо диномы (взамен недавно предложенного зарубежными авторами неудачного термина “diplome”), синонимами которых являются также геномы с гаплотипной сборкой или фазированные, несущие информацию об обоих аллельных вариантах парных хромосом, с еще большей эффективностью и производительностью. И это требует гораздо больше усилий, но принципиально достижимо, и нами ведутся исследования в этом направлении, нацеленные на некое упрощение сборки диномов различных организмов.

Ключевые слова: секвенирование, геном, квазигаплоидный геном, пангеном, диплоидный геном, дином

SEQUENCING OF THE WHOLE (DIPLOID) GENOMES OF PLANTS

Chemeris A.V., Kuluev B.R.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, 71 Pr. Oktyabrya, Ufa, Russia

Keywords: sequencing, genome, quasihaploid genome, pangenome, diploid genome, dinome

НОВАЯ МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛЕТОЧНОЙ ДИНАМИКИ В КОРНЕВОМ ЧЕХЛИКЕ *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

Черенко В.А.^{1,2*}, Землянская Е.В.^{1,2}

¹ Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия

² Институт Цитологии и Генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*E-mail: cherenko.va@mail.ru

Корневой чехлик (КЧ) – это небольшой орган, расположенный на кончике корня. КЧ растет на протяжении всей жизни растения, имея при этом постоянный размер. Поддержание размера и структуры КЧ осуществляется за счет согласованности между делениями инициалей, которые продуцируют новые клетки КЧ, и слущиванием клеток внешнего слоя КЧ. Для эффективного исследования механизмов, координирующих эти процессы, необходима методика, позволяющая количественно оценивать параметры клеточной динамики в КЧ. Целью данной работы является создание протокола фенотипирования корневого чехлика модельного растения *A. thaliana* для количественной оценки этих параметров.

Для описания клеточной динамики мы использовали легко детектируемые структурные параметры КЧ: количество неслушенных клеточных слоев, количество слущенных слоев, и общее количество клеточных слоев. Для оценки этих параметров мы использовали световую и конфокальную микроскопию.

Фитогормон ауксин считается важным регулятором поддержания постоянства размера КЧ. С использованием разработанной нами методики мы оценили влияние обработки проростков *A. thaliana* синтетическим аналогом ауксина (1-нафталинуксусной кислотой) на клеточную динамику в КЧ. Нам удалось зафиксировать изменения структурных параметров КЧ, а именно: снижение количества слущенных слоев КЧ и общего количества слоев. Таким образом, показано, что избыток ауксина сбалансировано снижает скорость деления инициалей КЧ и скорость слущивания наружного клеточного слоя. Предлагаемая методика может быть успешно использована для количественной оценки параметров клеточной динамики в КЧ.

Работа поддержана грантом РФФИ № 20-14-00140.

Ключевые слова: *A. thaliana*, корневой чехлик, микроскопия, фенотипирование, ауксин

A NEW METHODOLOGY FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF CELL DYNAMICS IN THE ROOT CAP OF *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

Cherenko V.A.^{1,2}, Zemlyanskaya E.V.^{1,2}

¹ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

² Institute of Cytology and Genetics of SB RAS, Novosibirsk, Russia

Keywords: *A. thaliana*, root cap, microscopy, phenotyping, auxin

БИОПРЕПАРАТЫ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Чернобровкина Н.П. *, Егорова А.В., Робонен Е.В., Нелаева К.Г.

Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", Петрозаводск, Россия

*E-mail: chernobrovkina50@bk.ru

Для северо-западных регионов России, где отмечается дефицит посадочного материала хвойных пород с целью искусственного возобновления лесов, актуально совершенствование технологии, позволяющей интенсифицировать выращивание сеянцев в лесных питомниках. Активно внедряются и совершенствуются технологии выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой, включая многоротационный режим. Его внедрение в лесных питомниках подзоны средней тайги РФ затруднено в связи с коротким вегетационным периодом, и, как следствие, риском неподготовленности сеянцев к условиям зимнего сезона. С целью адаптации режима к условиям короткого вегетационного периода используются современные агротехнические приёмы, такие как искусственное сокращение фотопериода в конце вегетационного сезона для прекращения роста в высоту и повышения морозостойкости сеянцев. При этом сеянцы второй ротации могут не достигать стандартных размеров. Для решения этой проблемы наряду с подбором условий минерального питания и водного режима значимым может быть использование биостимуляторов, особенно полученных из древесной зелени.

Рассматривается состав биологически активных соединений в препаратах из древесной зелени хвойных и лиственных пород. Приводятся сведения, касающиеся особенностей и эффективности их влияния на прорастание семян, рост, развитие корней и проростков, приживаемость сеянцев хвойных при пересадке на лесокультурную площадь. Излагаются способы получения препаратов из древесной зелени, особое внимание отводится наличию фитогормонов в них в зависимости от времени отбора растительного материала в годичной и суточной динамике. Представляются способы их применения при выращивании сеянцев хвойных пород в лесных питомниках. Обсуждаются экономические и экологические аспекты, преимущества их использования. Обосновывается необходимость испытания и прогнозируется эффект применения препаратов из древесной зелени при двухротационном выращивании сеянцев хвойных в условиях северных широт.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>.

Ключевые слова: древесная зелень, биопрепараты, фитогормоны, хвойные, сеянцы

BIOPREPARATIONS FROM WOOD GREENERY FOR CONIFER SEEDLINGS CULTIVATION

Chernobrovkina N.P. *, Egorova A.V., Robonen E.V., Nelaeva K.G.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Keywords: woody greenery, biopreparations, phytohormones, conifers, seedlings

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS PROTEGENS* DA1.2 НА МАРКЕРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА У РАСТЕНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ И РАПСА В ПРИСУТСТВИИ МЕТСУЛЬФУРОН-МЕТИЛА

Четверикова Д.В.^{*}, Кенджиева А.А., Стариков С.Н., Бакаева М.Д.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Уфа, Россия;

*E-mail: belka-strelka8031@yandex.ru

Метсульфурон-метил часто применяется для борьбы с сорняками в зерновых культурах. При определенных условиях он может провоцировать гербицидный стресс у зерновых, а его остатки в почве негативно влиять на посевы чувствительных культур в следующем сезоне. Поэтому предпринимаются попытки найти антидоты, которые могли бы снизить фитотоксичность гербицида для нецелевых видов растений.

В условиях светоплощадки была выполнена серия опытов с растениями пшеницы и рапса, целью которых было изучение влияния ростстимулирующей бактерии *Pseudomonas protegens* DA1.2 на фитотоксичность почвенных остатков метсульфурон-метила для чувствительных и устойчивых к нему сельскохозяйственных культур. Акцент в исследовании был сделан на метоболитах, ассоциированных с окислительным стрессом и механизмами его преодоления (малоновый диальдегид (МДА), глутатион, аскорбиновая кислота, пролин, флавоноиды). Угнетение роста пшеницы наблюдалось в основном в случае передозировки гербицида, однако на фоне рекомендованной производителем дозы метсульфурон-метила (0.05 мг/кг почвы) отмечался рост количества в листьях аскорбиновой кислоты в 1.9 раза, пролина в 1.8 раз. Обработка бактериями, напротив, уменьшала содержание МДА в 1.3 раза, пролина в 1.6 раз, одновременно провоцируя накопление глутатиона (в 1.7 раз). Загрязнение почвы метсульфурон-метилом существенно угнетало рост рапса и увеличивало количество маркеров стресса. Положительное воздействие бактериальной обработки на вес побегов фиксировалось с 3 месяцев с момента применения гербицида. Одновременно наблюдался рост содержания в листьях глутатиона в 3.1 раза, пролина в 1.2 раза, флавоноидов в 1.3 раз и снижение содержания аскорбиновой кислоты в 2 раза, малонового диальдегида в 1.5 раз по сравнению с загрязненной почвой без интродукции бактерий.

Таким образом, нивелирование фитотоксичности остатков метсульфурон-метила после применения бактерий сопровождалось смягчением окислительного стресса и изменением соотношения разных типов антиоксидантных соединений.

Ключевые слова: антиоксидант, окислительный стресс, PGPR, *Pseudomonas*, рапс, пшеница

INFLUENCE OF BACTERIA *PSEUDOMONAS PROTEGENS* DA1.2 ON MARKERS OF OXIDATIVE STRESS IN BREAD WHEAT AND RAPESEED PLANTS TREATED WITH METSULFURON-METHYL

Chetverikova D.V., Kenjjeva A.A., Starikov S.N., Bakaeva M.D.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russia

Keywords: antioxidant, oxidative stress, PGPR, *Pseudomonas*, rapeseed, wheat

**БАКТЕРИИ, СПОСОБНЫЕ К БИОСИНТЕЗУ И (ИЛИ) ДЕСТРУКЦИИ
ФИТОГОРМОНОВ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ:
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ,
ГОРМОНАЛЬНЫЙ СТАТУС И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПШЕНИЦЫ**

Четвериков С.П.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Уфа, Россия
E-mail: che-kov@mail.ru

Фитогормоны - это низкомолекулярные органические вещества, выделяемые из тканей растений, которые регулируют их рост, развитие, реакцию на биотические и абиотические факторы среды. Известно, что многие микроорганизмы, взаимодействующие с растениями, обладают способностью синтезировать фитогормоны. Накоплен экспериментальный материал о важной роли микробных фитогормонов в стимуляции роста и устойчивости растений к стрессу. Некоторые микроорганизмы могут также разрушать и трансформировать фитогормоны, влияя на их концентрацию в растениях. Однако эти процессы исследованы хуже. И в частности, не изучена роль деструкторов фитогормонов в регуляции устойчивости сельскохозяйственных растений к пестицидам.

Объектами исследований были устойчивые к ауксиновым и сульфонилмочевинным гербицидам бактерии, способные к продукции разных уровней фитогормонов различной химической природы. Индолилуксусную кислоту (ИУК) продуцировали 9 штаммов (в диапазоне 82-2001 нг/мл), абсцизовую кислоту (АБК) – 5 штаммов (на уровне 10-14 нг/мл), цитокинины – 4 штамма (в диапазоне 41-212 нг/мл), из них одновременно ИУК и АБК - 3, ИУК и цитокинины – 2, цитокинины и АБК – 1. Часть из этих штаммов была способна к деструкции фитогормонов.

В условиях светоплощадки и опытного поля была выполнена серия опытов с растениями пшеницы, целью которых было изучение влияния различных по способности к синтезу и (или) деструкции ростстимулирующих видов бактерий на ростовые характеристики растений, изменение гормонального статуса и урожайность в условиях засухи и пестицидного стресса.

Получены результаты, которые вносят вклад в понимание механизмов взаимодействия улучшающих рост и урожайность микроорганизмов и сельскохозяйственных растений.

Ключевые слова: бактерии, синтез и деструкция фитогормонов, гормональный статус, продуктивность, пшеница

**BACTERIA CAPABLE OF BIOSYNTHESIS AND (OR) DESTRUCTION
OF PHYTOHORMONES OF VARIOUS CHEMICAL NATURE:
EFFECTS ON GROWTH CHARACTERISTICS, HORMONAL STATUS
AND PRODUCTIVITY OF WHEAT**

Chetverikov S.P.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russia

Keywords: bacteria, synthesis and destruction of phytohormones, hormonal status, productivity, wheat

АКТИВНОСТЬ СИГНАЛЬНОГО ПУТИ *Cle41/44/PXY/WOX* В ТКАНЯХ СТВОЛА *PINUS SYLVESTRIS* L. ВО ВРЕМЯ ФЛОЭМО- И КСИЛОГЕНЕЗА

Чирва О.В.* , Афошин Н.В., Серкова А.А., Тарелкина Т.В., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Галибина Н.А.

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

*E-mail: tchirva.olga@yandex.ru

Pinus sylvestris L. является важнейшим экономически ценным видом древесных на территории Северо-запада России, в связи с чем изучение процессов формирования и регуляции ксилогенеза представляется перспективным. Сигнальный путь TDIF-TDR, кодируемый генами (*Cle41/44-PXY*) считается одним из регуляторов развития камбиальных инициалей. Данная система положительно стимулирует экспрессию генов семейства *Wuschel* (*WOX4*), которое в растительном организме обладает широким спектром функций, в том числе поддерживает пул недифференцированных стволовых клеток в камбии.

Впервые на растениях сосны, произрастающих в сосняках разного возраста, исследованы паттеры экспрессии системы генов *Cle41/44-PXY-WOXs* в радиальном ряду: проводящая флоэма — камбиальная зона — дифференцирующаяся ксилема на разных стадиях камбиального роста. Полученные результаты обсуждаются наряду с данными анатомических исследований тканей ствола.

Обнаружено пространственное и временное распределение экспрессии генов: наибольшее количество транскриптов *Cle41/44* обнаружено со стороны проводящей флоэмы в начале камбиального роста; *PXY* - в дифференцирующейся ксилеме в период активного формирования вторичной клеточной стенки. . Впервые показано, что наиболее активная экспрессия *WOX13*, относящегося к древней кладе, наблюдается в клетках проводящей флоэмы, в то время как *WOX4* в клетках дифференцирующейся ксилемы. Выявлено, что снижение количества клеток в радиальном ряду ксилемы при увеличении камбиального возраста не сопровождалось изменением экспрессии *WOX4*.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ксилогенез, камбий, возраст камбия

ACTIVITY OF *Cle41/44/PXY/WOX* SIGNALING PATHWAY IN *PINUS SYLVESTRIS* L. TRUNK TISSUES DURING PHLOEMO- AND XYLOGENESIS

Chirva O.V., Afoshin N.V., Serkova A.A., Tarelkina T.V., Galibina N.A., Moshchenskaya Y.L., Korzhenevskiy M. A.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: Scots pine, xylogenesis, cambium, cambial age

АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ОКСИДОРЕДУКТАЗ РАСТЕНИЙ ФАСОЛИ СОРТА ЭЛЬЗА ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН РАЗЛИЧНЫМИ ШТАММАМИ И ДОЗАМИ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ

Чистоедова А.В., Матюнина В.Д., Маркова О.В., Шпирная И.А.,
Гарипова С.Р.

Уфимский университет наук и технологий, Уфа, Россия

*E-mail: achistoyedova@mail.ru

Ранее было выявлено дозозависимое и штамм-специфическое воздействие инокуляции эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* 26Д и 10-4 на рост и продуктивность растений фасоли сортов Уфимская и Золотистая. Предполагалось, что это связано с различиями в реакциях фитоиммунной системы растений, в которую входят каталаза и пероксидаза. Сорт Эльза при взаимодействии с указанными штаммами изучается впервые. В связи с этим была поставлена цель исследования – проанализировать влияние инокуляции сорта фасоли Эльза штаммами *B. subtilis* на рост растений и активность оксидоредуктаз в корнях и побегах.

Поверхностно стерилизованные семена (по 20 шт.) фасоли сорта Эльза замачивали 15 минут в суспензиях штаммов *B. subtilis* 26Д, 10-4, SG12 в дозах 5×10^5 и 5×10^8 кл./мл, проращивали на бумажных фильтрах в темноте при комнатной температуре. Ростовые показатели и активность пероксидазы и каталазы определяли классическими методами в семисуточных проростках.

По совокупности ростовых показателей (масса растения, длина осевых органов проростка, количество и сумма длин боковых и придаточных корней) максимальный ростовой эффект (22...34% выше контроля) был достигнут в вариантах обработки штаммами 26Д и SG12 в обеих дозах. В этих же вариантах инокуляции отмечена наименьшая активность каталазы (на 10...20% ниже контроля) в побегах, тогда как при обработке штаммом 10-4 она была на уровне контроля. Инокуляции штаммом 10-4 в обеих дозах сдерживала развитие разветвленной корневой системы проростков, большая доза этого штамма отрицательно влияла на формирование зачатков боковых и придаточных корней, число которых было на 33% меньше, чем в контроле. В этом же варианте выявлено наибольшее (на 50% больше контроля) увеличение активности пероксидазы в корнях. Между тем, повышение активности уровня пероксидазы до 30% не лимитировало развитие боковых и придаточных корней в других вариантах опыта. На основе полученных данных можно сделать вывод, что пониженный уровень активности каталазы в побегах может служить признаком эффективно развивающихся симбиотических отношений эндофитных бактерий с растениями фасоли, а повышенный уровень активности пероксидазы в корнях – признаком, указывающим на подавление развития разветвленной корневой системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 23-24-00602.

Ключевые слова: пероксидаза, каталаза, *Bacillus subtilis*, эндофитные бактерии, фасоль.

ANALYSIS OF THE OXIDOREDUCTASE ACTIVITY OF ELSA BEAN PLANTS DURING SEED INOCULATION WITH VARIOUS STRAINS AND DOSES OF ENDOPHYTIC BACTERIA

Chistoyedova A.V., Matyunina V.D., Markova O.V., Shpirnaya I.A., Garipova S.R.

Ufa University of Sciences and Technologies, Ufa, Russia

Keywords: *Bacillus subtilis*, catalase, peroxidase, endophytic bacteria, beans.

КОРНЕВЫЕ ЭКССУДАТЫ - ФАКТОР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСТЕНИЙ С МИКРООРГАНИЗМАМИ В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ

Шапошников А.И., Юзихин О.С., Азарова Т.С., Белимов А.А.*

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: belimov@rambler.ru

Корни растений выделяют в ризосферу большое количество разнообразных органических веществ, называемых корневыми экссудатами. Эти вещества включены в процессы взаимодействия растений с почвой, а именно: повышают доступность элементов минерального питания, участвуют в регуляции кислотности почвы и нейтрализуют токсичные элементы. Корневые экссудаты являются также легкодоступным и важнейшим источником питания для микроорганизмов, что обуславливает активную колонизацию корневой зоны (ризосферный эффект). Благодаря этому в ходе эволюции растения выработали способность формировать сообщества ризосферных микроорганизмов и образовывать мутуалистические симбиозы, которые оказывают положительное действие на их рост и питание, а также обеспечивают биоконтроль фитопатогенов. Такие симбиозы способствуют также адаптации растений к неблагоприятным (стрессовым) почвенным факторам за счет оптимизации метаболизма, обеспечения питательными ресурсами и снижения заболеваемости. Наряду с этим известны специфические эффекты микроорганизмов на устойчивость растений к абиотическим стрессам. Микроорганизмы утилизируют 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат, входящий в состав корневых экссудатов, и снижают избыточное количество стрессового гормона этилена в присутствии токсичных металлов, засухи, экстремальных температур и засоленности почвы. Обусловленная корневой экссудацией способность микроорганизмов иммобилизовать тяжелые металлы и алюминий благодаря изменению рН среды, продуцированию сидерофоров и полисахаридов, и образованию нерастворимых фосфатов снижает их токсичность на загрязненных и кислых почвах. В докладе обсуждаются обусловленные корневой экссудацией механизмы взаимодействия растений с ризосферными микроорганизмами в присутствии токсичных концентраций металлов (кадмий, ртуть, алюминий) и повышенной кислотности среды. Показано, что корневые экссудаты являются необходимым компонентом и ресурсом для реализации положительных эффектов микроорганизмов, как на само растение, так и на стрессовый фактор. Работа поддержана грантами Российского научного фонда (19-16-00097 и 22-26-00341).

Ключевые слова: корневая экссудация, ризосфера, симбиоз, стресс

ROOT EXSUDATES - A FACTOR OF INTERACTION OF PLANTS WITH MICROORGANISMS UNDER STRESS CONDITIONS

Shaposhnikov A.I., Yuzikhin O.S., Azarova T.S., Belimov A.A.

All-Russia Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

Keywords: root exudation, rhizosphere, symbiosis, stress

ВЛИЯНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА *HvPIP2;1* ЯЧМЕНЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ АПОПЛАСТНЫХ БАРЬЕРОВ У ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА

Шарипова Г.В. *, Архипова Т.Н., Иванов Р.С., Веселов Д.С.

Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
проспект Октября, 69 450054, Уфа, Россия

*E-mail: g.v.sharipova@mail.ru

Направление движения воды зависит от градиента водного потенциала между клеткой и окружающей средой, и при дефиците воды повышенная активность аквапоринов может ускорять обезвоживание растений. Поэтому у некоторых трансгенных растений повышенная экспрессия генов аквапоринов снижала их устойчивость к засухе. Чтобы предотвратить потерю воды из корней, находящихся в подсыхающей почве, растения создают апопластные барьеры (отложение лигнина и суберина в эндодерме и экзодерме). Цель данной работы состояла в том, чтобы проверить, влияет ли повышенная экспрессия генов аквапоринов на формирование апопластных барьеров. Мы изучили влияние экспрессии генов аквапоринов ячменя в растениях табака, экспрессирующих *HvPIP2;1* ген ячменя под контролем конститутивного 35S промотора, на образование апопластных барьеров. Анализ полученных результатов показал, что экспрессия *HvPIP2;1* гена повышала гидравлическую проводимость трансгенных растений табака по сравнению с нетрансформированными растениями. Чтобы выявить возможный вклад водных каналов в увеличении гидравлической проводимости, мы обработали растения табака реактивом Фентона, который инактивирует аквапорины. Ингибирование аквапоринов не повлияло на гидравлическую проводимость растений табака со встроенным пустым вектором, но снижало ее более чем в два раза у трансгенных растений с модифицированной экспрессией генов аквапоринов. Окрашивание берберинем поперечных срезов корней табака выявило повышенное отложение суберина и лигнина в поясах Каспари трансформированных растений. Полученные нами результаты свидетельствуют о способности растений координировать процессы, от которых зависит гидравлическая проводимость растений, что очевидно важно для их адаптации к условиям обитания. Грант РФФИ 21-14-00070.

Ключевые слова: аквапорины, апопластные барьеры

INFLUENCE OF BARLEY *HvPIP2;1* GENE EXPRESSION ON THE FORMATION OF APOPLASTIC BARRIERS IN TRANSGENIC TOBACCO PLANTS

Sharipova G., Arkhipova T., Ivanov R., Veselov D.

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, RAS, Prospekt Oktyabrya, 69 450054,
Ufa, Russia

Keywords: aquaporins, apoplastic barriers

ВЛИЯНИЕ МЕТАБОЛИТОВ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ И ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ФИЗИОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Шатерников А.Н.*, Евсеева Н.В., Цивилева О.М.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН» (ИБФРМ РАН), Саратов, Россия

*E-mail: andrejsh93@gmail.com

В настоящее время актуален поиск грибных продуцентов вторичных метаболитов, способных оказывать фитостимулирующее действие. Данные о биостимуляторах на основе ксилотрофных базидиомицетов в литературе практически отсутствуют. В работе изучено действие биопрепаратов, полученных на основе погруженных культур базидиомицетов, с целью выявления положительного эффекта на физиолого-морфологические параметры и состояние фотосинтетического аппарата проростков пшеницы сорта Саратовская 29. Оценивали следующие параметры проростков: средняя длина корня, колеоптиля, листа и количество корней одного проростка, сырая и сухая масса побега и корней, содержание хлорофиллов *a* и *b*, уровень каротиноидов. Установлено, что ответная реакция растений наиболее выражена в случае воздействия препаратов на основе *Ganoderma lucidum*, *Laetiporus sulphureus*, *Flammulina velutipes* с бактериями *Bradyrhizobium japonicum*, *Stenotrophomonas* sp., *Pseudomonas fluorescens* и *Pseudomonas putida*. Наблюдали положительные изменения морфологических параметров под действием микробных препаратов: увеличение длины листа примерно на 20%, возрастание величин сырой и сухой биомассы проростков на 30-50%. Сравнительное изучение состояния пигментного комплекса в контроле (водной культуре) и при обработке растений микробными препаратами показало, что концентрация хлорофилла *a* (хл *a*), хлорофилла *b* (хл *b*) возрастает в листьях проростков, обработанных препаратами из бинарных культур. В случае воздействия препаратов на основе *F. velutipes*, *G. lucidum*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes* с бактериями *Bradyrhizobium japonicum* величина хл *a* возрастает в 1,88 – 1,37 раз, *L. edodes*+*Stenotrophomonas* sp. – в 1,60 раз, *L. sulphureus*+*Pseudomonas fluorescens* – в 1,31 раз в сравнении с контролем. Соотношение [(хл *a*+*b*) : каротиноиды] показал, что для всех изученных микробных препаратов эта величина находится на уровне контроля. Полученные результаты дают основание оценивать ряд биопрепаратов из грибных и бактериально-грибных культур в качестве средства, стимулирующего рост и развитие пшеницы.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда (№ 22-24-00415).

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., ксилотрофные базидиомицеты, фитостимулирующие бактерии, метаболиты, физиолого-морфологические параметры

IMPACT OF METABOLITES OF XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES AND PHYTOSTIMULATING BACTERIA ON THE GROWTH AND SELECTED BIOCHEMICAL INDICES OF WHEAT PLANTS

Shaternikov A.N., Evseeva N.V., Tsivileva O.M.

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia

Keywords: *Triticum aestivum* L., xylophilic basidiomycetes, PGPB, metabolites, physiological parameters, morphological indices

ОСОБЕННОСТИ КОРНЕВОЙ ЭКССУДАЦИИ И АКТИВАЦИИ ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЙ У ГЕНОТИПОВ ЯЧМЕНЯ С РАЗЛИЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ФУЗАРИОЗУ

Шахназарова В.Ю.¹, Шапошников А.И.^{1*}, Лебединский М.И.¹, Вишневская Н.А.¹, Бородина Е.В.¹, Ковалева О.Н.², Струнникова О.К.¹

¹ФГБНУ «Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии», г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия

²ФИЦ «Всероссийский НИИ генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: ai-shaposhnikov@mail.ru

Болезни зерновых культур, вызываемые грибами рода *Fusarium*, приводят к существенному недобору урожая и загрязнению зерна микотоксинами. Для изучения механизмов устойчивости растений к фузариозной корневой гнили представляет интерес сравнительное изучение параметров корневой экссудации (одного из ключевых факторов формирования ризосферных микробиомов) и активации защитных реакций у генотипов с различной устойчивостью к инфицированию фитопатогенами. Влияние фитопатогенного гриба *Fusarium culmorum* на корневую экссудацию и уровень экспрессии защитных генов ячменя восприимчивого (Вестник) и устойчивого (к-3454) к фузариозной корневой гнили генотипов изучалось в стерильных экспериментах (без влияния почвенного микробиома). Установлено, что ячмень Вестник характеризуется более высокой интенсивностью корневой экссудации органических кислот, сахаров, аминокислот и ароматических карбоновых кислот, по сравнению с к-3454. Колонизация корней ячменя обоих генотипов *F. culmorum* привела к увеличению суммарной экссудации сахаров и ароматических карбоновых кислот только у генотипа к-3454. *F. culmorum* интенсивнее колонизировал корни ячменя Вестник, где была отмечена корневая и стеблевая гниль, у ячменя к-3454 – лишь незначительная корневая гниль. Ген *TRI13*, участвующий в синтезе трихотеценовых токсинов, экспрессировался в клетках гриба, колонизировавшего корни ячменя Вестник, более активно. В корнях ячменя к-3454, по сравнению с корнями ячменя Вестник, активизация экспрессии генов хозяйской защиты в ответ на инокуляцию грибом отмечалась раньше и в ряде сроков была интенсивнее: ген *LOX* активнее экспрессировался на 1-е и 5-е сутки после инокуляции, гены *PAL*, *WRKY33* и *WRKY34* – на 5-е и 12-е сутки, ген *PR1* – на 1-е сутки, ген *PR4* – на 1-е, 5-е, 12-е сутки, ген *NPR1* – на 1-е, 5-е, 7-е, 12-е сутки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-26-00341.

Ключевые слова: корневые экссудаты, ячмень, фузариоз, экспрессия генов

ROOT EXUDATION AND ACTIVATION OF DEFENSE REACTIONS IN BARLEY GENOTYPES WITH DIFFERENT SUSCEPTIBILITY TO FUSARIUM

Shakhnazarova V.Yu.¹, Shaposhnikov A.I.¹, Lebedinskii M.I.¹, Vishnevskaya N.A.¹, Borodina E.V.¹, Kovaleva O.N.², Strunnikova O.K.¹

¹All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

²N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: root exudates, barley, fusarium, genes expression

РОЛЬ ГЕНА *TROL C* В РЕГУЛЯЦИИ РОСТА И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ *NICOTIANA TABACUM L.*

Швец Д.Ю.^{1,2*}, Бережнева З.А.¹, Мусин Х.Г.¹, Кулуев Б.Р.^{1,3}

¹ Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

² Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

³ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

*E-mail: shvetsdasha99@yandex.ru

Ген *trolC* относится к *plast*-генам, поскольку, попав в геном *Nicotiana tabacum L.* В результате горизонтального переноса генов, он эволюционно закрепился и начал участвовать в регуляции роста растения. Имеются сведения, что этот ген экспрессируется в молодых листьях и кончиках побегов, подавляется ауксином и индуцируется цитокинином. Ранее нами были получены 4 линии трансгенных растений табака с пониженной за счет индукции РНК-сайленсинга экспрессией *trolC*. Целью работы было проведение морфометрического и биохимического анализа трансгенных растений с пониженной экспрессией гена *trolC* табака для исследования роли этого гена в регуляции роста и стрессоустойчивости. В работе использовали 4 линии трансгенных растений табака сорта Petit Navana с конститутивной экспрессией фрагмента гена *trolC* в антисмысловой ориентации под контролем 35S CaMV промотора, а в качестве контроля были выбраны нетрансгенные растения табака линии SR1. Семена стерилизовали, сажали на чашки Петри со средой Мурасиге-Скуга и выращивали в камерах роста Binder при температуре +25°C, освещенности около 140 мкмоль/(м²с) и фотопериоде 16/8 часов (свет/темнота) (нормальные условия). 10-дневные проростки с одинаковой длиной корней пересаживали на вертикально-ориентированные чашки Петри. Спустя 10 дней для оценки особенностей роста корней проводили морфометрический анализ при нормальных условиях, действии засоления (50 мМ и 100 мМ NaCl), гипотермии (+12°C) и кадмия (100, 200 и 400 мкМ CdAc). В корнях проводили анализ состояния компонентов антиоксидантной системы в норме и при засолении (50 мМ NaCl). В результате работы обнаружено, что продукт гена *trolC* участвует в регуляции и обеспечении роста корней при действии кадмия и гипотермии. Снижение уровня экспрессии гена *trolC* табака способствовало уменьшению активности каталазы, гваяколпероксидазы, глутатион-S-трансферазы и супероксиддисмутаза при нормальных условиях и при засолении, что говорит о выраженном влиянии гена на компоненты антиоксидантной системы корней.

Ключевые слова: *Nicotiana tabacum*, *trolC*, *rol*-гены, стрессоустойчивость, *plast* гены

THE ROLE OF THE *TROL C* GENE IN THE REGULATION OF GROWTH AND STRESS TOLERANCE OF *NICOTIANA TABACUM L.*

Shvets D.Yu.^{1,2*}, Berezhneva Z.A.¹, Musin Kh.G.¹, Kuluev B.R.^{1,3}

¹ Institute of Biochemistry and Genetics – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

³ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: *Nicotiana tabacum*, *trolC*, *rol*-genes, stress tolerance, *plast* genes

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ

Шеромов А.М.¹, Товстик Е.В.^{2*}, Шуплецова О.Н.²

¹ ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, Киров, Россия

² ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», Киров, Россия

*E-mail: tovstik2006@inbox.ru

Среди злаковых культур, ячмень (*Hordeum vulgare* L.) вызывает все больший интерес у производителей пищевых продуктов в связи с его питательной ценностью и высоким содержанием полифенольных соединений. В связи с этим особую актуальность приобретает скрининг сортов с повышенным содержанием полифенолов, сочетающих высокую урожайность и устойчивость к абиотическим факторам.

Целью работы явилась валидация методики определения полифенольных соединений в зерне ячменя для обеспечения точности и достоверности результатов лабораторных исследований. Работа осуществлялась в рамках скрининга высококонкурентных сортов ячменя, возделываемых на территории Кировской области.

Определение суммарного содержания полифенолов проводили спектрофотометрическим методом. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту. Для анализа готовили водно-спиртовые извлечения из зерна 70%-ым раствором этанола.

Валидацию методики определения осуществляли по параметрам линейности и прецизионности. Линейность подтверждали на пяти уровнях концентрации: от 80% до 120% от номинального значения массы навески зерна 0,3000 г (100%). По результатам проведенных исследований строили график зависимости между оптической плотностью растворов и массой навески ($y = 0,4067x + 0,0325$), рассчитывали коэффициент корреляции. Критерием приемлемости для линейности считали близкое к единице или равно ей значение коэффициента корреляции. В нашем случае, величина коэффициента корреляции составила 0,99. Полученные результаты позволили сделать вывод о валидности методики по критерию линейности и правильности.

Повторяемость методики подтверждали на одном уровне концентрации: 100% (масса навески сырья 0,3000 г) в шестикратной повторности. Критерием валидности методики по характеристике повторяемости служило значение относительного стандартного квадратичного отклонения (СКО_{отн} или RSD, %), которое согласно ГОСТ Р 55488–2013 не должно превышать 10%. В ходе проведения измерений были получены данные и рассчитаны значения соответствующих показателей: $S_x = 0,126$, $S_{x\text{ ср}} = 0,051$, $\Delta = 0,132$, $\varepsilon = 5,31\%$, $RSD = 5,06\%$. Согласно расчетным данным величина относительного стандартного отклонения (RSD) от значения, принимаемого за истинное составило 5,06%, что позволило сделать вывод о валидности методики по характеристике прецизионности.

Ключевые слова: зерно, галловая кислота, линейность, повторяемость

VALIDATION OF THE METHOD FOR THE DETERMINATION OF POLYPHENOLS IN BARLEY GRAIN

Sheromov A.M.¹, Tovstik E.V.^{2*}, Shupletsova O.N.²

¹ Vyatka State University, Kirov, Russia

² Federal Scientific Agricultural Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

*E-mail: tovstik2006@inbox.ru

Keywords: grain, gallic acid, linearity, repeatability

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ОТРАЖЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПРЕДИКТОРОВ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ

Шерстнева О.Н. *, Абдуллаев Ф.Ф., Киор Д.С., Громова Е.Н., Воденев В.А.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: sherstneva-oksana@yandex.ru

Поиск способов прогнозирования хозяйственно-значимых признаков растений является важным направлением современной селекции, нацеленным на ускорение и оптимизацию отбора перспективных генотипов. В качестве параметров для такого отбора всё большую популярность набирают фенотипические признаки, регистрируемые оптическими методами, среди главных преимуществ которых можно выделить высокую скорость получения данных и неинвазивность.

Целью данной работы стал поиск параметров отражения, которые могут выступать в качестве предикторов засухоустойчивости и накопления биомассы растениями пшеницы. Исследование проводилось на проростках пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) яровой 12 сортов, выращиваемых в контролируемых условиях. В возрасте 2 недель производилась регистрация параметров отражения побегов (гиперспектральная камера Specim iq, Spectral Imaging Ltd., Финляндия) и флуоресценции хлорофилла а (система ПАМ-имиджинга Open FluorCam FC, Photon Systems Instruments, Чехия). После этого растения разделялись на контрольную группу и опытную, у которой прекращался полив. В возрасте 4 недель регистрировались показатели отражения и активности световой стадии фотосинтеза и определялся сухой вес растений, который в дальнейшем служил основным показателем накопления биомассы и устойчивости к засухе.

Было показано, что интенсивность отражённого света в диапазоне 650-680 нм и нормализованные разностные индексы, рассчитываемые по формуле $(\lambda_1 - \lambda_2)/(\lambda_1 + \lambda_2)$, в диапазонах $\lambda_1 = 500-600$ нм, $\lambda_2 = 580-680$ нм достоверно коррелируют с сухим весом растений в более позднем возрасте. Кроме того, указанные параметры проявляют аналогичную корреляционную связь с квантовым выходом фотосистемы II на свету, что говорит о влиянии активности световой стадии фотосинтеза на оптические свойства растений в данном диапазоне и объясняет связь выявленных предикторов со скоростью накопления биомассы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00212

Ключевые слова: гиперспектральный имиджинг, фотосинтез, засухоустойчивость, предсказание, *Triticum aestivum* L.

ANALYSIS OF REFLECTANCE PARAMETERS AS PREDICTORS OF BIOMASS ACCUMULATION AND DROUGHT TOLERANCE IN WHEAT

Sherstneva O.N., Abdullaev F.F., Kior D.S., Gromova E.N., Vodenev V.A.

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: hyperspectral imaging, photosynthesis, drought tolerance, prediction, *Triticum aestivum* L.

УЧАСТИЕ ПИГМЕНТОВ В РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ НА АНОМАЛЬНЫЕ СВЕТО-ТЕМНОВЫЕ ЦИКЛЫ

Шерудило Е.Г.* , Рубаева А.А., Шibaева Т.Г.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия;

*E-mail: sherudil@krc.karelia.ru

К аномальным свето-темновым циклам относятся укороченные или удлиненные циклы, отличные от 24 ч. Несмотря на установленную эффективность таких циклов для роста и развития некоторых культур, многие вопросы, касающиеся физиолого-биохимических реакций растений, остаются неизученными. Целью настоящей работы было изучить реакцию пигментной системы растений на действие длинных аномальных свето-темновых циклов. В течение 2-х недель растения баклажана (*Solanum melongena* L.), перца (*Capsicum annuum* L.), томата (*Solanum lycopersicum* L.), огурца (*Cucumis sativus* L.) и цветной капусты (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) подвергали воздействию аномальных циклов день/ночь 24/0 ч, 24/12 ч, 48/24 ч, 96/48 ч и 120/60 ч в климатических камерах при освещении светодиодными лампами. Определяли содержание и соотношения фотосинтетических (хлорофилл *a* и *b* (Хл), каротиноиды (Кар)) и нефотосинтетических (антоцианы, флавоноиды) пигментов. В условиях цикла 24/0 ч у растений в зависимости от культуры в той или иной степени снижалось содержание Хл и Кар, увеличивались соотношения Хл *a/b* и Кар/Хл, повышалось содержание антоцианов и флавоноидов, т.е. наблюдался весь спектр фотопротекторных реакций. Надо отметить, что в условиях цикла 24/0 ч интеграл дневного освещения (ИДО) был на треть выше по сравнению с фотопериодом 16/8 ч. При всех других аномальных свето-темновых циклах (24/12 ч, 48/24 ч, 96/48 ч и 120/60 ч) ИДО не отличался от такового при обычном фотопериоде 16/8 ч, однако, во многих случаях были отмечены изменения в пигментном комплексе, схожие с фотопротекторными реакциями (снижение содержания фотосинтетических пигментов и накопление защитных нефотосинтетических). При этом выявлена довольно выраженная видовая специфичность в реакции растений, а также значительные различия в реакции растений на различные свето-темновые циклы. Результаты исследования показали, что фотопротекторные реакции растений могут быть вызваны не только избыточностью поступающей световой энергии, но и распределением поступления света во времени, например, в ответ на аномальные свето-темновые циклы, приводящие к циркадной асинхронии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

Ключевые слова: растения, аномальные фотопериоды, пигменты

THE ROLE OF PIGMENTS IN PLANT RESPONSE TO ABNORMAL LIGHT-DARK CYCLES

Sherudilo E.G., Rubaeva A.A., Shibaeva T.G.

Federal Research Center “Karelian Research Center of Russian Academy of Science”, Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Keywords: plants, abnormal light-dark cycles, pigments

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ

Шибаетва Т.Г.* , Титов А.Ф.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия;

*E-mail: shibaeva@krc.karelia.ru

Одной из важных новаций последних десятилетий в сельском хозяйстве являются фабрики растений с искусственным освещением (*PFAL - plant factories with artificial lighting*). Они представляют собой закрытые производственные системы, в которых интегрированы современные промышленные технологии для круглогодичного производства продукции различных с/х культур. При возможности контролировать и управлять всеми основными факторами внешней среды, наиболее важными и перспективными в плане повышения энергоэффективности производства считаются манипуляции со световым фактором, т.к. именно с ним связаны основные затраты на энергопотребление. При этом исходят из общепринятых представлений о существовании у светового фактора трех составляющих, оказывающих существенное влияние на жизнедеятельность растений – интенсивность света, фотопериод (продолжительность светового периода в суточном цикле) и качество света (спектральный состав) и поэтому в исследованиях, проводимых на PFAL, изучают эффекты всех этих составляющих на продуктивность растений, качество урожая и энергозатраты на его получение. Однако на PFAL имеется возможность не только регулировать любой из указанных трех световых параметров, но и изменять распределение интеграла дневного освещения (суммарного количества фотонов, получаемых растением за сутки) во времени, что позволяет говорить о существовании еще одного, т.е. четвертого параметра светового фактора, который также может оказывать значительное влияние на растения. Учитывая же, что в закрытых системах нет необходимости привязываться к суточному 24 ч циклу, то допустимо расширить понятие «распределение интеграла света» во времени, выйдя за пределы суток, т.е. использовать в экспериментах и на практике аномальные (*abnormal*), отличные от 24-часового, свето-темновые циклы (они могут быть как короче, так и длиннее 24 ч). Аномальные свето-темновые циклы, включая круглосуточное освещение, способны оказывать на растения положительный эффект (ускорять рост и развитие, увеличивать накопление ценных метаболитов и снижать содержание нежелательных, например, нитратов) и при этом уменьшать энергозатраты на единицу продукции. Однако, феноменология и механизмы их влияния на растения пока практически не изучены.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160)

Ключевые слова: свето-темновые циклы, фотопериод, эндогенные ритмы

THE POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF THE USE OF ABNORMAL LIGHT-DARK CYCLES TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF PLANT AGRICULTURAL PRODUCTS IN PLANT FACTORIES WITH ARTIFICIAL LIGHTING

Shibaeva T.G., Titov A.F.

Federal Research Center “Karelian Research Center of Russian Academy of Science”, Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Keywords: Light-dark cycle, photoperiod, endogenous rhythm

ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОТВЕТА КОРНЕЙ И ПОБЕГОВ РИСА НА АНОКСИЮ И ПОСТАНОКСИЧЕСКУЮ РЕАЭРАЦИЮ

Шиков А.Е.^{1,2}, Шость В.И.², Чиркова Т.В.², Емельянов В.В.^{2*}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ), Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: bootika@mail.ru

Последствия, вызванные затоплением и наводнениями, ежегодно приводят к большим потерям урожая. В условиях отсутствия доступа кислорода (аноксии) происходит накопление активных форм кислорода (АФК), провоцирующих окисление клеточных компонентов. Возвращение растений в условия нормальной аэрации усугубляет окислительный стресс и зачастую приводит к их гибели. В связи с этим важно понимание механизмов устойчивости к постаноксии. С этой целью нами было проведено исследование влияния аноксии и реэрации на протеом корней и побегов риса методом двумерного электрофореза. В результате масс-спектрометрического анализа было выявлено 82 пятна, соответствующих имеющим аннотации в базах данных 13 уникальным белкам в побегах и 8 в корнях. Кластеризация пятен показала, что постаноксический протеом схож с таковым в условиях аноксии, но не контроля. Анализ отдельных белков позволил выделить 4 группы с различной интенсивностью пятен. Наиболее интересными из них являются белки, содержание которых уменьшалось в стрессовых условиях, такие как рубиско и фруктозо-бисфосфат-альдолаза. Во второй группе были белки, накопление которых начиналось в аноксии и достигало пика в реэрации. К ним относились OEE1 (oxygen-evolving enhancer protein 1), белки теплового шока и PR-белки (pathogenesis-related), потенциально связанные с защитой окислительного стресса и патогенов, устойчивость к которым падает при реэрации. Промоторы генов, кодирующих эти белки, были обогащены сайтами связывания транскрипционных факторов, связанных со стрессом, в частности, WRKY и ERF. Полученные результаты свидетельствуют о том, что корни и побеги риса становятся преадаптированными к постстрессовым условиям во время аноксии.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-320 от 20.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Ключевые слова: постаноксия, аноксия, рис, 2-DIGE

STUDYING DIFFERENTIAL RESPONSE OF RICE SHOOTS AND ROOTS TO ANOXIA AND POST-ANOXIC RE-ARATION

Shikov A.E.^{1,2}, Shost V.I.², Chirkova T.V.², Yemelyanov V.V.^{2*}

¹ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), Pushkin, St. Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

*E-mail: bootika@mail.ru

Keywords: post-anoxia, anoxia, rice, 2-DIGE

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ ЭНДОФИТОВ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ РОЗОВОЙ СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ *MICRODOCHIUM NIVALE*

Шильдякова А.В.¹, Мурзагулова Г.Ш.¹, Гоголева О.А.¹, Пономарева М.Л.²,
Горшков В.Ю.^{1,3}

¹ Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

² Татарский НИИ сельского хозяйства ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

*E-mail: shildyakova.astya@mail.ru

Розовая снежная плесень, вызываемая холодоустойчивым грибом *Microdochium nivale*, наносит большой ущерб урожаю зерновых культур. Применение фунгицидов для подавления снежной плесени затруднено из-за ее развития под снежным покровом, а также быстрого формирования фунгицид-резистентных форм гриба, а выведение устойчивых сортов затруднено полигенным характером наследования признака устойчивости к этому заболеванию. В связи с этим разработка биологических средств защиты растений от снежной плесени имеет большую актуальность. Целью нашей работы является оценка способности бактерий-эндофитов озимых зерновых культур подавлять рост *M. nivale* и развитие заболеваний, вызываемых этими грибами.

Бактерии-эндофиты выделяли из листьев и корней различных озимых зерновых культур. Морфологическое описание бактерий проводили с использованием окраски по Граму. Фунгицидное и фунгистатическое действие бактерий проверяли с помощью анализа двойных культур *in vitro* на агаризованной среде КСА. Влияние бактерий на развитие заболевания, вызываемого *M. nivale*, оценивали на проростках озимой ржи *in vitro* и в полевых условиях.

Всего нами выделено 48 бактериальных культур, которые представляют собой грамотрицательные палочки разных размеров. Фунгицидное и фунгистатическое действие в отношении *M. nivale* проявляли 38 бактериальных культур, а 6 штаммов сдерживало развитие заболевания, вызываемого *M. nivale* у озимой ржи *in vitro*. Большинство штаммов бактерий, которые сдерживали развитие заболеваний у растений, проявляли фунгицидное или фунгистатическое действие в отношении *M. nivale*. Однако один штамм бактерий, не влияя на рост *M. nivale in vitro*, тем не менее, сдерживал развитие исследуемого заболевания. 14 штаммов были также протестированы нами в полевых условиях. Из них 2 штамма достоверно повышали урожайность озимой ржи при повышенной инфекционной нагрузке по снежной плесени.

Ключевые слова: бактерии-эндофиты, *Microdochium nivale*, озимая рожь, розовая снежная плесень

THE INFLUENCE OF ENDOPHYTIC BACTERIA ASSOCIATED WITH WINTER CEREALS ON PATHOGENS OF PINK SNOW MOLD *MICRODOCHIUM NIVALE*

Shildyakova A.V.¹, Murzagulova G.S.¹, Gogoleva O.A.¹, Ponomareva. M.L.²,
Gorshkov V.Y.^{1,3}

¹ Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC KSC of RAS, Kazan, Russia

² Tatar Research Institute for Agriculture, FRC KSC of RAS, Kazan, Russia

³ Kazan Federal University, Kazan, Russia

Keywords: endophytic bacteria, *Microdochium nivale*, winter rye, pink snow mold

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛОТОЛЕРАНТНЫХ PGP-РИЗОБАКТЕРИЙ (*BACILLUS PUMILUS*, *BREVUNDIMONAS DIMINUTA* И *PSEUDOMONAS SP.*) НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА РОГОЗА ШИРОКОЛИСТНОГО

Ширяев Г.И.* , Воропаева О.В., Малева М.Г., Борисова Г.Г.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

*E-mail: schiriaev.grisha@yandex.ru

Рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.) – многолетнее прибрежно-водное растение, которое характеризуется быстрым ростом, значительной биомассой и устойчивостью к действию поллютантов, поэтому является перспективным видом для использования в фиторемедиационных технологиях. Известно, что ризосфера гелофитов заселена большим количеством микроорганизмов, однако роль ростстимулирующих ризобактерий (PGPR) в формировании биомассы рогоза и его устойчивости к техногенным нагрузкам изучена недостаточно. Цель исследования – оценка влияния металлотолерантных PGPR, выделенных у рогоза, произраставшего при экстремальном полиметаллическом загрязнении (вблизи медеплавильного комбината АО «Карабашмедь», Челябинская область), на его семенное потомство. Изначально было выделено более 700 изолятов; после их тестирования на способность к азотфиксации, фосфатсольюбилизации и синтезу ИУК были отобраны три штамма ризобактерий, обладающих наилучшей PGP-способностью. На основе морфологии и секвенирования 16S рРНК они были идентифицированы как *Bacillus pumilus*, *Brevundimonas diminuta* и *Pseudomonas* sp. Семенной материал рогоза был простерилизован, инокулирован отобранными штаммами и высажен на чашки Петри с добавлением дистиллированной воды. На 28 день инкубации при добавлении штаммов *B. pumilus*, *B. diminuta* и *Pseudomonas* sp. длина корней достигала 15,7, 16,8 и 19,6 мм, соответственно, в то время как в контрольном варианте корни еще не начинали свой рост. Длина листьев при добавлении этих штаммов была в 1,7, 1,9 и 2,3 раза, а масса растений – в 2,5, 3,0 и 3,5 раза, соответственно, выше, чем у контрольных проростков. Наибольший эффект по стимулированию роста *T. latifolia* проявлял штамм *Pseudomonas* sp. Таким образом, инокуляция семян рогоза металлотолерантными PGPR положительно влияла на параметры роста, что позволяет предполагать возможность использования отобранных штаммов для повышения фиторемедиационного потенциала этого гелофита. *Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».*

Ключевые слова: *Typha latifolia*, семенное потомство, полиметаллический стресс, ростстимулирующая активность

ASSESSMENT OF THE ACTION OF METAL TOLERANT PGP-RHIZOBACTERIA (*BACILLUS PUMILUS*, *BREVUNDIMONAS DIMINUTA* AND *PSEUDOMONAS SP.*) ON THE GROWTH PARAMETERS OF BROADLEAF CATTAIL

Shiryayev G.I., Voropaeva O.V., Maleva M.G., Borisova G.G.

Ural Federal University the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Typha latifolia*, seed progeny, polymetallic stress, plant growth promotion activities

РОСТ РАСТЯЖЕНИЕМ ПРИ НЕДОСТАТКЕ КИСЛОРОДА

Шишова М.Ф.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: mshisova@mail.ru

Быстрое, энергетически малозатратное увеличение в длину является уникальным типом роста, свойственным растительным клеткам. Многочисленные исследования показывают, что этот тип роста лежит в основе различных тропизмов. У высших растений эта способность особенно развита у клеток, покинувших меристемы. Данная ростовая активность является комплексным многоэтапным процессом, первый из которых получил название – этап «кислого роста». Он сопровождается закислением клеточной стенки в результате активации работы H^+ -АТФаз плазмалеммы. У разных растений рост растяжением находится под контролем целого ряда внутренних (фитогормонов: ауксинов, гиббереллинов) и внешних (свет) факторов. Механизмы передачи указанных сигналов и усиление работы протонной помпы плазмалеммы до сих пор дискуссионны и преимущественно сфокусированы на посттрансляционной регуляции. В нашей работе мы анализируем возможность существования транскрипционного контура регуляции фермента. На нескольких модельных объектах: клетки гипокотилей арабидопсиса, клеток суспензионной културы табака показано нелинейное изменение профиля экспрессии генов, кодирующих протонную помпу плазмалеммы. Особый интерес представляют данные, полученные на клетках колеоптилей риса, выращенных в условиях резкого дефицита кислорода, характеризующихся значительным изменением интенсивности накопления продуктов экспрессии генов интереса, что, по-видимому, может опосредовать изменение роли H^+ -АТФазы при энергетическом голодании при затоплении.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 22-14-00096).

Ключевые слова: кислородная недостаточность, H^+ -АТФаза плазмалеммы, рис.

ELONGATION GROWTH UNDER OXYGEN DEFICIENCY

Shishova M.F.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Keywords: oxygen deficiency, plasma membrane H^+ -ATPase, rice

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ И КЛЕТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ СИНТЕЗА МЕЛАНИНА В КОЛОСЕ ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE* L.)

Шоева О.Ю.^{1*}, Глаголева А.Ю.¹, Мурсалимов С.Р.¹, Кукоева Т.В.¹,
Шмаков Н.А.¹, Вихорев А.В.¹, Морозов С.В.², Черняк Е.И.², Хлесткина Е.К.³

¹ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН,
Новосибирск, Россия

³ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
Санкт-Петербург, Россия;

*E-mail: olesya_ter@bionet.nsc.ru

Чёрная окраска колоса ячменя обусловлена меланином. Данный признак контролируется локусом *Blp1* (*Black lemma and pericarp 1*), картированным на хромосоме 1HL. Несмотря на адаптивное значение, синтез меланина у растений исследован недостаточно полно. В данной работе с помощью методов клеточной биологии, аналитической химии и молекулярной генетики было проведено комплексное изучение меланогенеза у ячменя. Впервые показано, что меланин образуется в хлоропластах клеток перикарпа зерновки и цветковых чешуй колоса. При этом с помощью чёрноколосой линии с альбинизмом колоса, показано, что наличие хлорофилла не является необходимым для меланогенеза, однако при его отсутствии развитие меланиновой пигментации замедляется. Образование меланина оказывает существенное влияние на метаболические процессы в зерновке, изменяя экспрессию генов биосинтеза фенольных соединений, жирных кислот и целлюлозы, что было показано с помощью RNA-seq анализа. На биохимическом уровне выявлено влияние локуса *Blp1* на накопление фенольных соединений в зерне. Так, содержание бензойных кислот было выше, коричневых – не отличалось, а флавоноидов – ниже в чёрноколосой линии, чем в линии, зерно которой не содержит меланин. На морфологическом уровне установлено отрицательное влияние локуса *Blp1* на размер и массу зерна. Анализ неравновесия по сцеплению в локусе *Blp1* выявил наличие ассоциации чёрной окраски колоса с заменами в нуклеотидной последовательности гена *Cle3*, кодирующего сигнальный пептид из семейства CLAVATA. Выявленный ген рассматривается в качестве ключевого регулятора синтеза меланина в колосе ячменя, однако молекулярные механизмы его действия ещё предстоит установить. Кроме данного гена, было показано участие гена *Ppo2*, кодирующего полифенолоксидазу, в образовании меланина в чешуях колоса. Так, линии с рецессивными и доминантными аллелями генов *Ppo2* и *Blp1*, соответственно, меланиновой пигментации чешуй колоса не имели.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-76-10024.

Ключевые слова: меланогенез, регуляция, транскриптомный анализ, фенольные соединения, флавоноиды

STUDY OF MOLECULAR GENETICS AND CELLULAR MECHANISMS OF MELANIN SYNTHESIS IN SPIKE OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE* L.).

Shoeva O.Yu.¹, Glagoleva A.Yu.², Mursalimov S.R.³, Kukoeva T.V.¹, Shmakov N.A.¹,
Vikhorev A.V.¹, Morozov S.V.², Chernyak E.I.², Khlestkina E.K.³

¹ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, SB RAS, Novosibirsk, Russia

³ N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Keywords: melanogenesis, regulation, transcriptomic analysis, phenolic compounds, flavonoids

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЗАСОЛЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ФОТОСИСТЕМ И ЭКСПРЕССИЮ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕНОВ У РАСТЕНИЙ КИНОА

Шуйская Е.В.^{*}, Рахманкулова З.Ф., Прокофьева М.Ю., Лунькова Н.Ф.,
Казанцева В.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений
им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: evshuya@mail.ru

Высокая температура считается одним из наиболее серьезных абиотических стрессов, который ингибирует фотосинтез, ограничивая продуктивность растений. Действие повышенной температуры (35°C) на C₃ вид *Chenopodium quinoa* привело к снижению эффективности фотосистемы II (ФСII) и усилению экспрессии гена *psbA*, кодирующего белок D1 (наиболее чувствительного компонента ФСII), что может быть реакцией на снижение содержания данного белка. Кроме того, повышенная температура привела к усилению экспрессии гена *FDI*, кодирующего белок ферредоксин I, который участвует в линейном транспорте электронов (ЛТЭ). При этом, повышенная температура не оказала какого-либо эффекта на активность циклического транспорта электронов (ЦТЭ) ФСI и экспрессию генов, связанных с ЦТЭ и ФСI. Засоление (300 mM NaCl) не оказало негативного влияния на эффективность ФСII и активность ЛТЭ и ЦТЭ, а также на уровень экспрессии соответствующих генов, кроме *FNRI*, кодирующего фермент FNR который катализирует восстановление НАДФ⁺ на заключительном этапе ЛТЭ, и может участвовать в ЦТЭ ФСI. Совместное действие повышенной температуры и засоления кардинально изменило паттерны экспрессии генов, кодирующих компоненты ФСII и ЛТЭ – *psbA* и *FDI* (снижение экспрессии), по сравнению с просто температурным воздействием (усиление экспрессии). При этом активность ЦТЭ ФСI и экспрессия генов *psaA*, *psaB* (кодирующих апопротеины 1 и 2 ФСI), *FDII* (кодирующего белок ферредоксин II, участника ЦТЭ ФСI) и *NdhH* (кодирующего компонент NDH-зависимого пути ЦТЭ ФСI) оставались без изменений. В тоже время, экспрессия генов *FNRI* и *PGR5* (кодирующего белок PGR5 основного пути ЦТЭ ФСI) была подавлена совместным действием повышенной температуры и засоления, что может привести к снижению роли основного PGR5/PGRL1-зависимого пути ЦТЭ в пользу NDH-зависимого пути ЦТЭ ФСI.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 21-54-50006 ЯФ_а).

Ключевые слова: фотосистемы I и II, циклический транспорт электронов

EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE AND SALINITY ON THE ACTIVITY OF PHOTOSYSTEMS AND THE EXPRESSION OF PHOTOSYNTHETIC GENES IN QUINOA PLANTS

Shuyskaya E.V., Rakhmankulova Z.F., Prokofieva M.Yu., Lunkova N.,
Kazantseva V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Keywords: photosystems I and II, cyclic electron transport

МИНОРНАЯ КАТИОННАЯ ПЕРОКСИДАЗА СОРГО КАК КОМПОНЕНТ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Щербакова Е.В.^{1,2*}, Галицкая А.А.^{1,2}, Дубровская Е.В.², Позднякова Н.Н.²

¹ Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

² Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», г. Саратов, Россия

*E-mail: elizaveta-sch@mail.ru

Устойчивость сорго веничного (*Sorghum bicolor* L.) в условиях загрязнения во многом зависит от пероксидаз. Однако пероксидазная система сорго исследована лишь частично. Целью нашей работы являлась характеристика не описанной ранее минорной катионной пероксидазы (МКП) сорго веничного. Объектом исследования выступали пятисуточные этиолированные стерильные проростки сорта Капитал (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»). При первичной очистке ферментную вытяжку осаждали при 70% насыщении сульфатом аммония и подвергали диализу. Дальнейшую очистку производили гель-фильтрацией на колонке Sephacryl S-200 HR при скорости 1 мл/мин. По данным гель-фильтрации молекулярная масса МКП составляла 151 кДа. Нативным гель-электрофорезом по методу Laemmly идентифицировали фермент при $R_f = 0.03$. Денатурирующим гель-электрофорезом с SDS выявили ферментные субъединицы массой 35, 25 и 16 кДа. Активность определяли по отношению к DMP, ABTS и аскорбату в диапазоне pH от 2.6 до 7.0. Максимальные показатели пероксидазной и оксидазной активностей МКП были обнаружены к аскорбату при pH 7.0 и 4.0. Удельная активность пероксидазной реакции превышала таковую для оксидазной в 68 раз. K_m по отношению к ABTS для пероксидазной активности составила 0.23, а для оксидазной – 0.32 мкмоль. Пероксидазная активность МКП менялась под влиянием металлов, наибольшее активирующее действие оказали ионы натрия и марганца – активность для DMP и ABTS в среднем в 2.5 раза выше относительно контроля. В присутствии ПАУ активность фермента также повышалась – при антрацене ее рост максимален – в 8 раз. МКП эффективно окисляла нативные ПАУ с ABTS в качестве косубстрата: 88% антрацена, 81% фенантрена, 17% флуорантена и 14% пирена. Наиболее активно трансформировались трехкольцевые ПАУ, убыль которых была в 5 раз больше. Таким образом, обнаруженная стимуляция активности МКП в присутствии неорганических и органических загрязнителей и способность окислять ряд ПАУ, свидетельствуют о ее активном участии в защите растения в условиях загрязнения.

Ключевые слова: сорго веничное, минорная катионная пероксидаза

MINOR CATIONIC PEROXIDASE OF SORGHUM AS A COMPONENT OF PLANT PROTECTION IN POLLUTION CONDITIONS

Shcherbakova E.V.^{1,2}, Galitskaya A.A.^{1,2}, Dubrovskaya E.V.², Pozdnyakova N.N.²

¹ Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia

² Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia

Keywords: *Sorghum bicolor*, minor cationic peroxidase

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЛИСТЬЕВ C₄-РАСТЕНИЙ В ПУСТЫННЫХ СООБЩЕСТВАХ КАЗАХСТАНА

Юдина П.К.^{1,2}, Иванова Л.А.^{1,2*}, Ронжина Д.А.^{1,2}, Мигалина С.В.^{1,2},
Калашникова И.В.^{1,2}, Иванов Л.А.^{1,2}

¹ Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

² Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

*E-mail: ivanova.larissa@list.ru

C₄-растения являются неотъемлемым компонентом растительных сообществ в аридных экосистемах. Исследование функциональных свойств листьев C₄-растений способствует расширению знаний о механизмах адаптации фотосинтетической функции к аридности климата. Мы исследовали 6 C₄-видов в пустынных районах Казахстана: *Anabasis salsa*, *A. truncata*, *Nanophyton erinaceum*, *Pyanckovia brachiata* (сальзолоидный тип Kranz-анатомии); *Bassia prostrata*, *Camphorosma monspeliaca subsp. lessingii* (кохиоидный тип Kranz-анатомии). Исследовали структурные и физиологические показатели листьев, тканей, клеток и хлоропластов с использованием методики мезоструктуры листа. Изученные виды характеризовались значительным варьированием количественных показателей. Содержание пигментов и максимальная интенсивность фотосинтеза отличались наименьшим варьированием между видами (Cv = 16-30%), а для параметров клеток и хлоропластов Cv был выше – 30-70%. Виды с сальзолоидным типом отличались большей толщиной и удельной поверхностной плотностью листа. При анализе всех видов в целом, клетки обкладки (О) были в несколько раз крупнее клеток мезофилла (М), а число М клеток в единице площади листа больше, чем О клеток. При этом соотношение между показателями М и О зависело от типа Kranz-анатомии. У видов с кохиоидным типом на одну О-клетку приходилось 4 М-клетки, в то время как у видов с сальзолоидным – 2-3 М-клетки на 1 О-клетку. Число хлоропластов в клетке М и О было выше у сальзолоидных видов по сравнению с кохиоидными в 1.5 раза. Содержание хлорофиллов и каротиноидов на единицу площади листа у видов с кохиоидным типом было ниже в 1.5 раза. Фотосинтетическая способность листьев и общая поверхность клеток мезофилла не зависели от типа Kranz-анатомии. Ранее подобные различия между разными структурными типами Kranz-анатомии были получены нами для C₄-растений Монголии (Иванова и др., 2019), показатели которых хорошо соотносятся с данными по функциональным характеристикам C₄-растений Казахстана. Работа выполнена в рамках бюджетной темы Ботанического сада УрО РАН; проекта Министерства науки и высшего образования РФ FEWZ-2020-0009.

Ключевые слова: Kranz-анатомия, маревые, функциональные черты, размеры клеток, фотосинтез, пигменты

LEAF FUNCTIONAL TRAITS OF C₄-PLANTS IN DESERT COMMUNITIES OF KAZAKHSTAN

Yudina P.K.^{1,2}, Ivanova L.A.^{1,2}, Ronzhina D.A.^{1,2}, Migalina S.V.^{1,2},
Kalashnikova I.V.^{1,2}, Ivanov L.A.^{1,2}

¹ Botanical Garden of Ural Division of Russian Academy of Sciences., Ekaterinburg, Russia

² Tyumen State University, Tyumen, Russia

Keywords: Kranz-anatomy, Chenopodiaceae, functional traits, cell sizes, photosynthesis, pigments

БИОМНАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ РАЗНЫХ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Юлдашев Р.А.^{1*}, Авальбаев А.М.¹, Плотников А.А.¹, Сафина И.И.¹,
Аллагулова Ч.Р.¹, Кетов А.А.²

¹ Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

² АО Кургансемена, Курган, Россия

*E-mail: yuldashevra@gmail.com

В ходе естественного и искусственного отборов, в зависимости от времени наступления засухи, на территории нашей страны сформировались две различающиеся по стратегии адаптации к засухе экологические группы яровой мягкой пшеницы – лесостепная западносибирская и степная волжская.

Растения лесостепного западносибирского экотипа отличаются замедленным ростом в период “всходы-колошение” и активным развитием за счет обильных для зоны их возделывания дождей второй половины лета. Для растений степного волжского экотипа характерен активный рост и засухоустойчивость на начальных стадиях онтогенеза с тем, чтобы максимально использовать весенние запасы почвенной влаги. К моменту наступления летней засухи к началу фазы трубкования растения этого экотипа образуют хорошо разветвленную сеть корней, что способствует формированию хорошего урожая в этих условиях.

Между тем, исследуемые экологические группы яровых мягких пшениц, сформировались, в том числе, и в результате естественного отбора под влиянием тех же факторов (в первую очередь - количества тепла и влаги), в результате которых сформировались и региональные биомы России. В связи с этим было интересно сопоставить ареалы возделывания яровых мягких пшениц указанных экотипов с Картой биомов России.

Показано, что ареал распространения яровых мягких пшениц лесостепного западносибирского экотипа совпадает с территорией Тоболо-Приобского лесостепного биома, в то время как зона распространения степного волжского экотипа совпадает с территориями степных биомов Среднедонского и Заволжского-Приуральского разнотравно - дерновиннозлаковых степей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00246 (<https://rscf.ru/project/23-26-00246>).

Ключевые слова: биом, яровая мягкая пшеница, экотип, засуха, адаптация

BIOMIC AFFILIATION OF SPRING SOFT WHEAT ECOTYPES WITH DIFFERENT DROUGHT ADAPTATION STRATEGIES

Yuldashev R.A.^{1*}, Avalbaev A.M.¹, Plotnikov A.A.¹, Safina I.I.¹, Allagulova Ch.R.¹,
Ketov A.A.²

¹ Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa, Russia

² JSC «Kurgansemena», Kurgan, Russia

*E-mail: yuldashevra@gmail.com

Keywords: biome, spring wheat, ecotypes, drought, adaptation

УСТОЙЧИВОСТЬ К НИЗКОМУ УРОВНЮ ДОСТУПНОГО ФОСФОРА У РАСТЕНИЙ *MEDICAGO LUPULINA* ПРИ РАЗВИТИИ ЭФФЕКТИВНОГО СИМБИОЗА С *RHIZOPHAGUS IRREGULARIS*

Юрков А.П.^{1*}, Крюков А.А.¹, Горбунова А.О.¹, Кудряшова Т.Р.^{1,2},
Ковальчук А.И.², Пузанский Р.К.³, Богданова Е.М.⁴, Шишова М.Ф.⁴

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³ Ботанический институт им. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

*E-mail: yurkovandrey@yandex.ru

Для изучения механизмов устойчивости растений к низкому уровню доступного фосфора (Рд) при микоризации нами разработана высокоэффективная микробно-растительная система “*Medicago lupulina* + *Rhizophagus irregularis*”. Применение такой системы позволило авторам изучить влияние гриба арбускулярной микоризы (АМ) на фотосинтез, гормональные перестройки, общие изменения метаболомного профиля растения-хозяина в процессе адаптации АМ-растений к условиям низкого уровня Рд в субстрате. В рамках настоящего исследования проанализированы различия в транскриптоме листьев растений линии MIS-1 *M. lupulina* с инокуляцией и без инокуляции штаммом RCAM00320 АМ-гриба в раннюю и позднюю фазы развития симбиоза (фазу развития 2-го листа и фазу начала цветения, соответственно). Анализ транскриптома проведен с применением массового анализа концов кДНК (Massive Analysis of cDNA Ends, MACE-Seq). Проведена функциональная аннотация более 34000 генов ортологичных генам *M. truncatula*, из которых идентифицировано более 4500 генов с дифференциальной экспрессией ($p_{adj} < 0,01$) при микоризации, относящихся к более чем 300 функциональным группам “генной онтологии” (Gene Ontology, GO). Выявлено значительное число (>2500) генов, сниженная экспрессия которых у растений с АМ (downregulation) была результатом адаптации к условиям низкого уровня Рд в субстрате. В том числе показано пониженный уровень экспрессии (в 2,0-33,5 раза) в обе фазы симбиоза для 24 генов наблюдался в GO:0016036 (“клеточный ответ на фосфатное голодание”). Ни одного гена с повышенной экспрессией в данной группе GO обнаружено не было. Результаты также позволили выявить ряд генов-кандидатов в качестве маркерных генов развития эффективного АМ-симбиоза, которые могут исследоваться как на *M. lupulina*, так и на иных видах растений. Исследования поддержаны РФФ №22-16-00064 и грантом на развитие НЦМУ “Агротехнологии будущего” Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2022-320 от 20.04.2022).

Ключевые слова: арбускулярная микориза, симбиотическая эффективность, *Medicago lupulina*, *Rhizophagus irregularis*, MACE-Seq, транскриптом, метаболом

TOLERANCE TO LOW AVAILABLE PHOSPHORUS LEVEL OF *MEDICAGO LUPULINA* PLANTS UNDER CONDITION OF EFFECTIVE SYMBIOSIS DEVELOPMENT WITH *RHIZOPHAGUS IRREGULARIS*

Yurkov A.P.¹, Kryukov A.A.¹, Gorbunova A.O.¹, Kudryashova T.R.^{1,2},
Kovalchuk A.I.², Puzanskiy R.K.³, Bogdanova E.M.⁴, Shishova M.F.⁴

¹ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

³ Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

⁴ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Keywords: arbuscular mycorrhiza, symbiotic efficacy, *Medicago lupulina*, *Rhizophagus irregularis*, MACE-Seq, transcriptome, metabolome

ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* *ECHIAM PLANTAGINEUM* L. ДЛЯ АГРОБАКТЕРИАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ *AGROBACTERIUM RHIZOGENES*

Якупова А.Б.^{1*}, Глушихина Е.И.², Кулуев Б.Р.¹

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия;

² Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия;

*E-mail: alfiram@yandex.ru

Синяк подорожниковый (*Echium plantagineum* L.) имеет широкое распространение в Европе, на Кавказе, Алтае, Сибири, а также в Центральной Азии. Несмотря на ядовитость всех частей растения, широко применяется в традиционной медицине Китая, Турции, Северной Америки. Обладает антиоксидантным, антидиабетическим, антидепрессивным, противовоспалительным, антибактериальным и противовирусным действием, стимулирует заживление ран. Наличие выше перечисленных свойств обусловлено содержанием флавоноидов, нафтохинонов, непредельных высших жирных кислот, пирролизидиновых алкалоидов. В качестве представителя нафтохинонов в экстракте корня синяка подорожникового обнаружен шиконин и его производные. По литературным данным β,β-диметилакрилшиконин и его производные обладают антибактериальными, антитромботическими и противовирусными свойствами. Кроме этого был проведен ряд исследований, который демонстрирует его эффективность в лечении различных видов рака – легких, желудка, кожи, мочевого пузыря, цервикальной карциномы, а также карциномы протоков молочной железы. Шиконин и его производные также могут оказаться полезными в защите клеток от болезни Альцгеймера, в ингибировании дифференцировки адипоцитов и снижении экспрессии адипогенных факторов транскрипции в клетках 3T3-L1, а также ингибировании биосинтеза простагландинов.

Сбор природного растительного материала *E. plantagineum* сопряжен с рядом проблем: разрушение природных экосистем и риск истребления вида, возможность сбора материала только в летний сезон, зависимость накопления биологически активных веществ от погодных условий. Поэтому исследования, направленные на получение культур *in vitro* этого растения, являются актуальными. Одним из перспективных направлений в биотехнологии растений является создание культур волосовидных корней (hairy roots), которые можно использовать в качестве продуцентов различных вторичных метаболитов. Цель нашей работы: введение в культуру *in vitro* *E. plantagineum* и использование полученных растений для создания волосовидных корней при помощи *Agrobacterium rhizogenes*.

Ключевые слова: волосовидные корни, *Agrobacterium rhizogenes*, *Echium plantagineum*

INTRODUCTION TO *IN VITRO* CULTURE OF *ECHIAM PLANTAGINEUM* L. FOR *AGROBACTERIUM RHIZOGENES* TRANSFORMATION

Yakupova A.B.¹, Glushichina E.I.², Kuluev B.R.¹

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia;

² Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia;

Keywords: *Agrobacterium rhizogenes*, hairy roots, *Echium plantagineum*.

БАКТЕРИИ РОДА *BACILLUS* В КОМПЛЕКСЕ С НАНОКОМПОЗИТАМИ ХИТОЗАНА КАК ИНДУКТОРЫ ФИТОИММУНИТЕТА И УСТОЙЧИВОСТИ КАРТОФЕЛЯ К ПАТОГЕНАМ

Яруллина Л.Г.^{1*}, Черепанова Е.А.¹, Сорокань А.В.¹, Бурханова Г.Ф.¹, Заикина Е.А.¹, Цветков В.О.², Калацкая Ж.Н.³, Марданшин И.С.⁴, Еловская Н.А.³

¹ Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

² Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

³ Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь

⁴ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: yarullina@bk.ru

Поиск путей повышения эффективности микробиологических препаратов для защиты продовольственных культур от широкого круга фитопатогенов становится с каждым годом все актуальнее. Одним из подходов к решению данной задачи является использование комплексов эндофитных бактерий рода *Bacillus* с модифицированным хитозаном. Современным направлением химической модификации хитозана является включение в его состав фенольных соединений, таких как оксикоричные кислоты. Механизмы формирования защитных реакций в растениях под воздействием таких комплексов остаются пока малоизученными.

На растениях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro* показано, что конъюгат хитозана с кофейной кислотой (Хит-КК) ускоряет рост и развитие эксплантов, а в условиях осмотического стресса усиливает накопление пролина и способствует повышению устойчивости микроклонов и поддержанию их активного роста. Обработка растений картофеля *in vivo* конъюгатом Хит-КК снижала степень пораженности листьев картофеля возбудителем фитофтороза *Phytophthora infestans*. При сочетании эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* с наноконкомпозитами хитозана выявлен штамм-зависимый эффект индукции устойчивости картофеля к *P. infestans*, коррелирующий с повышением транскрипционной активности генов патоген-индуцируемых белков. Штамм *B. subtilis* 26Д в сочетании с конъюгатом хитина и феруловой кислоты (Хит-ФК) проявлял максимальный защитный эффект к инфицированию *P. infestans*. Механизм индукции фитоиммунитета растений картофеля композитами хитозана с оксикоричными кислотами и бактериями *B. subtilis* был опосредован накоплением H₂O₂, модуляцией активности антиоксидантных ферментов, изменением спектра катионных и анионных изопероксидаз и усилением транскрипционной активности генов PR-белков. Активация генов PR-белков, маркирующих различные сигнальные пути, при обработке бактериями *B. subtilis* совместно с конъюгатами Хит-КК и Хит-ФК предполагает наличие синергетического воздействия исследуемых компонентов на защитный потенциал растений картофеля.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №23-16-00139.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum* L.), *Bacillus subtilis*, *Phytophthora infestans*, хитозан, кофейная и феруловая кислоты, индуцированная устойчивость

BACTERIA OF THE GENUS *BACILLUS* IN COMPLEX WITH CHITOSAN NANOCOMPOSITES AS INDUCERS OF PHYTOIMMUNITY AND RESISTANCE OF POTATO TO PATHOGENS

Yarullina L.G.¹, Cherepanova E.A.¹, Sorokan A.V.¹, Burkhanova G.F.¹, Zaikina E.A.¹, Tsvetkov V.O.², Kalatskaja J.N.³, Mardanshin I.S.⁴, Yalousskaya N.A.³

¹ Institute of Biochemistry and Genetics – a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

³ Institute of Experimental Botany named after V. F. Kuprevich, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

⁴ Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture – a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: potato (*Solanum tuberosum* L.), *Bacillus subtilis*, *Phytophthora infestans*, chitosan, caffeic and ferulic acids, induced resistance

AMYLOID PROPERTIES OF OUTER MEMBRANE PORINS OF *PROTEOBACTERIA*

Belousov M.V.^{1,2*}, Kosolapova A.O.^{1,2}, Sulatsky M.I.³, Tsyganova A.V.¹,
Sulatskaya A.I.³, Bobylev A.G.⁴, Shtark O.Y.¹, Tsyganov V.E.¹, Volkov K.V.²,
Antonets K.S.^{1,2}, Zhukov V.A.¹, Tikhonovich I.A.^{1,2}, Nizhnikov A.A.^{1,2}

¹ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Institute of Cytology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

⁴ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
Pushchino, Russia

*E-mail: belousovmix@gmail.com

Amyloids are insoluble fibrillar protein aggregates that have specific spatial structure called "cross- β ". Some outer membrane porins of *Proteobacteria* (including OmpA and OmpC) were previously shown to form amyloid-like aggregates contributing to the toxicity to mammalian cells. We have recently demonstrated that free-living cells of *Rhizobium leguminosarum*, a nitrogen-fixing symbiont of leguminous plants, produce RopA and RopB proteins with predicted β -barrel structure and outer membrane porin function, which form amyloid fibrils on the cell surface in the stationary growth phase, thereby linking amyloid formation and the host-symbiont interaction (Kosolapova A.O. et al., *Biomolecules*, 2019). Next, we focused on a more detailed analysis of the amyloid properties of the RopB protein *in vitro* and *in vivo* in symbiotic interactions of *R. leguminosarum* bv. *viciae* with its macrosymbiont, the garden pea (*Pisum sativum* L.). First, we confirmed that the RopB protein is an amyloid because its fibrils exhibit a characteristic "cross- β " diffraction pattern with ~ 4.6 Å and ~ 10 Å x-ray reflections related to strand spacing and β -sheet spacing, respectively. Second, we found that *in vivo*, on the surface of *R. leguminosarum* bacteroids isolated from pea nodules, fibrils containing the RopB protein and possessing amyloid properties are formed. Moreover, proteomic screening of potentially amyloidogenic proteins in root nodules revealed the presence of detergent-resistant aggregates of various plant and bacterial proteins, including RopA, RopB and pea vicilin, whose amyloid properties we had shown earlier (Antonets K.S. et al., *PLoS Biol.*, 2020). Finally, we demonstrated that vicilin seeds RopB amyloid formation *in vitro* suggesting possible interaction between aggregated forms of these proteins (Kosolapova A.O. et al., *Front. Plant Sci.*, 2022). Thus, we hypothesize that plant nodules contain a complex amyloid network consisting of plant and bacterial amyloids and probably modulating host-symbiont interactions.

The authors express their gratitude to the Research Resource Center for Molecular and Cellular Technologies of St. Petersburg State University and the Center for Shared Use of Genomic Technologies, Proteomics and Cell Biology of the All-Russian Research Institute of Microbiology for the equipment provided for use in this work. The work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 22-26-00276).

Keywords: amyloid, nodules, plant-microbe interactions, symbiosis, outer membrane protein

SYDNONYMINES AS PLANT GROWTH REGULATORS AND DROUGHT RESPONSE MODULATORS.

**Cherevatskaya M.^{1*}, Cherepanov I.A.², Kalganova N.V.², Godovikov I.A.²,
Brode M.³, Frolov A.^{3,4}, Bilova T.^{1,4}, Weissjohan L.A.³**

¹ St. Petersburg State University, Department of Plant Physiology and Biochemistry,
St. Petersburg, Russia

² A.N.Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences, GSP-1,
V-334, Vavilova St. 28, INEOS, 119991, Moscow, Russia

³ Leibniz Institute of Plant Biochemistry, Department of Bioorganic Chemistry, Halle/Saale, Germany

⁴ Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, K.A. Timiryazev Institute of Plant
Physiology RAS, Moscow, Russia

*E-mail: maria.cherevatskaya@gmail.com

As oncoming global climate changes might be potential reason for crop losses worldwide, development of new technologies aimed to enhance plant tolerance to unfavorable environmental factors is one of the primary tasks of modern agriculture research. Recently, an approach for development of special agrochemicals or “phytoeffectors” has recently been proven as perspective for improvement of crop tolerance. In this study search for the potential phytoeffectors, i.e. compounds exhibiting growth promoting properties was continued. Focus was paid on sydnone imines belonging to the class of mesoionic heterocyclic compounds. The compounds deserve special scientific attention in medicine and agriculture since members of the class may serve as effective exogenous donors of NO. Indeed, the sydnone imines were proved to exhibit various biological activities. Recently, it has been demonstrated that a few sydnone imines when applied at ultra-low doses exhibited plant growth regulating properties. In this study 4,5-a nnelated bicyclic derivatives of sydnone imines were prepared for the first time. In these bicyclic compounds mesomeric charge spreads out over the two fused aromatic fragments and they can be considered as a new type of mesoionic heterocyclic compounds. The molecular structures of the bicyclic derivatives were investigated in detail by X-ray and NMR studies. To elucidate possible relationships between the manifestation of certain biological activities and structural features of sydnone imine molecules, the new bicyclic derivatives as well as the original mesoionic compounds and intermediates produced on the way of the bicyclic derivatives synthesis were tested for plant growth promoting or inhibitory activities. The biological studies were conducted on plants *Lemna minor*. The drought stress model was established by polyethylene glycol (PEG 6000)-induced osmotic stress. Only one of all tested sydnonimines demonstrating a pronounced protective effect, it was expressed in ability to prevent the *Lemna* fond area reduction under osmotic stress. Thus, the results allow to select promising phytoeffector able to improve the plant tolerance to conditions of experimental drought.

The research was supported by the Russian Science Foundation (project 22-26-00337) with using the equipment of Research Park of Saint Petersburg State University

Keywords: phytoeffectors, drought, climate changes, agriculture, *Lemna minor*

EFFECT OF INOCULATION WITH SYMBIOTIC MICROORGANISMS ON THE METABOLOME DYNAMICS OF DEVELOPING SEEDS

Erofeeva N.O.^{1*}, Bilova T.E.^{2,3}, Frolova N.V.², Frolov A.A.^{1,3}, Shtark O.Yu.⁴

¹ Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk Region, Novosibirsk, Zolotodolinskaya Street, 101, Russia

² St.Petersburg State University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Universitetskaya nab. 7/9, 199034 St. Petersburg, Russia

³ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Cell Regulation Laboratory, 35 Botanicheskaya St., 127276, Moscow, Russia

⁴ All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, Laboratory of Genetics of Plant-Microbe Interactions, Podbelskogo sh. 3, 196608, St. Petersburg, Russia

*E-mail: n.erofeeva2001@bk.ru

The use of genetic resources of plants and microorganisms which mutualistic interaction gains new adaptive properties, such as legume-rhizobial symbiosis, contributes to enhancing the crop yields and sustainable agriculture. The influence of plant genotype on symbiotic agronomic performance is evaluated by an integral index - efficiency of interaction with beneficial soil microorganisms (EIBSM). However, there is no information in the literature on how plant symbiosis with rhizobial bacteria affects the seed filling processes of pea with different levels of EIBSM. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of symbiosis of *Pisum sativum* L. plants of high- and low-EIBSM lines, κ-8274 and κ-3358, respectively, with *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* RCAM1026 on the dynamics of primarily metabolome of seeds at the filling stage. For this purpose, polar extracts from ripening pea seeds of κ-8274 and κ-3358 genotypes, collected at 15, 20, 25, and 30 days after pollination from plants inoculated and non-inoculated with rhizobial bacteria, were analyzed with gas chromatography-electron ionization-quadrupole-mass spectrometry (GC-EI-Q-MS), ion-pair-reversed phase-ultra high performance liquid chromatography – electrospray ionization – triple quadrupole MS/MS (IP-RP-UHPLC-ESI-QqQ-MS). In whole, the experiment included 16 variants, combining a total of 64 seed samples. A total of 376 metabolites were detected in the seeds by GC-MS, of which 123 were identified, and 164 metabolites were detected by UHPLC-MS. The pattern of detected metabolites qualitatively almost has not been changed with increasing age of ripening seeds, their genotype and symbiosis influence. But the quantitative changes of primary metabolites observed during seed filling were different between the genotypes. The line of high-EIBSM line (κ-8274) had a higher level of macroergic compounds at the stage of intensive synthetic processes (20 d.a.p.), indicating more intensive metabolic activity of seeds. Additionally seeds of high- and low-EIBSM lines exhibited metabolic responses of different in direction and intensity to symbiosis of plant with rhizobial bacteria. High-EIBSM line (κ-8274) showed higher number of metabolites with intensive quantitative responses during whole observed stage of seed filling contributing, probably, to a more intensive synthesis and accumulation of storage proteins, starch, lipids and secondary compounds in the seeds. The shifts in content levels of the metabolites involved in lipid and secondary metabolites biosynthesis observed in the end of seed maturation, probably might point out on prolongation of seed filling phase. These obtained results confirm the high agronomic efficiency of symbiosis with rhizobial bacteria of plants of genotype κ-8274 and the importance of using this genotype in agricultural production.

Keywords: *Pisum sativum*, seed maturation, legume-rhizobial symbiosis, metabolomics, gas and liquid chromatography-mass spectrometry

NICKEL TOXICITY, SIGNALLING AND UPTAKE IN HIGHER PLANTS

Mackievic V.¹, Hryvusevich P.¹, Samokhina V.¹, German A.¹, Arzamazkina K.¹,
Kozhevnikova A.², Seregin I.², Yu M.³, Demidchik V.^{1,3*}

¹ Belarusian State University, Minsk, Belarus

² Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ International Research Centre for Environmental Membrane Biology, Foshan University, Foshan, China

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Although nickel is an essential micronutrient, at high doses, it causes pathological reactions in plants. In response to excess Ni²⁺, many plants synthesize and excrete histidine (His), which binds Ni²⁺ in complexes. In the present work, we hypothesised that Ni-His complexes can activate the redox- and Ca²⁺-signaling systems of plant cells, contributing to recognition of Ni²⁺ excess and further adaptation. An *Arabidopsis thaliana* root growth inhibition was observed beginning from 3 to 100 μM Ni²⁺ in different growth tests (gel or hydroponics), plant development stage and treatment techniques (germination or medium exchange). The addition of Ni²⁺ and His at 1:2 ratio showed a protective effect against Ni²⁺ toxicity. Intriguingly, His stimulated the accumulation of nickel in the roots, but inhibited its translocation into the aboveground organs. Using EPR spectroscopy, it was shown that 0.01-3 mM Ni²⁺ did not cause the formation of hydroxyl radicals (HO•) in the presence of 1 mM ascorbate and 1 mM H₂O₂. At the same time, the introduction of Ni²⁺ together with His induced HO• production. Similar effects were found, when measuring ROS using fluorescent ROS-sensitive probes. In aequorin-transformed plants, a significant Ca²⁺ signal was generated after addition of Ni-His starting from micromolar levels, suggesting that His makes Ni²⁺ possible to activate Ca²⁺ signalling systems. Moreover, Ni-His activated Ca²⁺-permeable cation channels. This activation was stronger in the presence of L-ascorbate demonstrating that it was dependent on redox activity of Ni-His. This work also revealed changes in specific gene expression in response to Ni-His (compared to Ni²⁺). Experiments were also carried out with crop plants (wheat, barley, pea and sunflower). Tested species apart from pea showed similar responses to Ni²⁺ and Ni-His while pea plants demonstrated Ni tolerance. Overall, these data shed the light onto the problem of mechanisms of Ni responses in higher plants.

The work was carried out within the state program of scientific research “Biotechnology-2” for 2021-2025 (# 20211222).

Keywords: nickel, histidine, ROS, Ca²⁺ signalling, higher plants

EFFECT OF LOCI REGULATING ANTHOCYANIN GRAIN PIGMENTATION ON YIELD AND GRAIN PROPERTIES IN NEAR-ISOGENIC BARLEY LINES

Molobekova C.A.^{1,2*}, Kukoeva T.V.¹, Shoeva O.Y.^{1,2}

¹ Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

*E-mail: k.molobekova@g.nsu.ru

New anthocyanin-biofortified purple and blue barley lines were developed in our laboratory from the Siberian cultivars Aley, Tanay, and Vorsinsky2. The anthocyanin grain pigmentation trait was introduced from lines PLP (purple lemma and pericarp) and BA (blue aleurone) through the selection using DNA-markers for *Ant1*, *Ant2* and *HvMyc2* genes. Although six backcrosses with recipient parents were performed to obtain near-isogenic lines (NILs), these lines could still inherit non-target loci from donors that may affect important agronomic traits. Therefore, here we aimed to study the effects of donor-derived genomic regions inherited by barley NILs on their agronomic traits.

To investigate whether colored NILs differ from the parental varieties by phenotype, we determined the anthocyanin and total phenolic content in flour as well as its antioxidant activity, and measured yield and plant growth parameters. We found that the high anthocyanin and total phenolic content may contribute to the increased antioxidant activity of the NILs flour. However, no increase in antioxidant activity was found in some colored NILs. We also discovered that anthocyanin grain pigmentation may differentially affect barley yield. This may be related to the different genetic background of NILs as well as the different set of donor-derived genomic regions.

To search for these regions, we performed genotyping by sequencing (GBS) of NILs, recipient and donor parents. From GBS data, we called 140-200 k SNPs for each sample and used them to estimate the genetic distance between lines. PCA and phylogram building results showed that NILs cluster with their parental varieties, indicating their genetic similarity. Using called SNPs, we are going to construct a high-density linkage map for NILs and estimate the size and localization of donor-derived regions with high accuracy. Further analysis of the genetic map is expected to reveal the genetic basis of the phenotypic differences we observed.

This work was supported by RSF 21-76-10024.

Keywords: barley, anthocyanin, genotyping-by-sequencing, yield component analysis

METABOLIC ADJUSTMENTS IN ORGANS OF *AMARANTHUS CAUDATUS* L. AS A STRATEGY OF TOLERANCE TO ZN STRESS

Osmolovskaya N.G.^{1*}, Bilova T.E.^{1,2}, Orlova A.A.², Vu V.D.^{1,3}, Timofeeva T.A.⁴,
Gurina A.K.¹, Soloveva M.A.¹, Mashkina V.V.¹, Kuchaeva L.N.¹, Frolova N.V.¹,
Tarakhovskaya E.R.^{1,5}, Kamionskaya A.M.⁴, Frolov A.A.²

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

² K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

³ Coast Branch - Vietnam Russian Tropical Center, Khanh Hoa, Nha Trang City, Vietnam

⁴ FSI Federal Research Centre Fundamentals of Biotechnology of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

⁵ Vavilov Institute of General Genetics RAS, St. Petersburg Branch, St. Petersburg Russia

*E-mail: natalia_osm@mail.ru

Abiotic stress provoked in plants by exposure to heavy metals requires the implementation of appropriate adaptation strategies. One of the strategies considers that, thanks to biochemical plasticity, plants can adjust their metabolism to ensure survival under the environmental pollution. In our GC-MS-based metabolomics study, we addressed the metabolomic adjustments in 49-day-old *Amaranthus caudatus* plants in response to Zn²⁺ stress induced by exposure to 300 μM ZnSO₄ in nutrient solution for 7 days. The numbers of metabolites, identified as differentially (≥ 1.5 -fold, $p \leq 0.05$) abundant in roots, young and mature leaves of Zn²⁺- stressed plants compared to the control, were 137, 93 and 52 respectively that corresponded to 33%, 22% and 12% of the total detected metabolites and indicated the obvious organ specificity of biochemical rearrangements. Sugars and organic acids were found to be the most representative up-regulated metabolites in both leaves and roots that might indicate their key importance in Zn-stress response through the assumed involvement in osmoregulation and ROS scavenging. According to the pathway analysis, the stress-induced adjustments were mostly related to sugar, organic acid and lipid metabolism, while N-compounds were less affected. Specifically, galactose was the most Zn²⁺-responsive sugar in amaranth roots with 9-fold up-regulation, which suggested its possible contribution in the improvement of Zn²⁺ binding by root cell walls. Notably, Zn-induced increase in the sucrose contents was more drastic in young leaves in comparison to the mature ones (7.6- vs 2.3-fold). This might be explained by the enhancement of carbohydrates source-sink translocation in the shoots as an adaptive response. Sugar acids were especially highly up-regulated in the roots (59-fold for gluconic acid) that could be achieved via the proposed activation of gluconate shunt of the pentose phosphate pathway. Most likely, gluconic acid was involved in Zn²⁺ chelation in roots. This mechanism would contribute to the blockade of Zn²⁺ transport to leaves. The up-regulation of saturated fatty acids was observed mainly in young leaves and roots. The pathway analysis confirmed involvement of the fatty acids in lipid, cutin, wax and suberin biosynthesis, which corresponded to their expected contribution to rigidity of cell membranes and cuticle formation in young leaves. Finally, strong up-regulation of salicylic acid, revealed in young leaves and roots (23- and 27-fold), might indicate the signaling role of the hormone in activation of metabolic adjustments as a strategy behind the Zn stress tolerance in *A. caudatus* plants.

Keywords: Zn²⁺ stress, *Amaranthus caudatus*, GC-MS, metabolic adjustments, gluconic acid, salicylic acid

MULTIPLE FUNCTIONS OF THE UGT/IAGLU GENE ENCODING UDPG-TRANSFERASE/IAA-GLUCOSE SYNTHASE FROM CORN *ZEA MAYS* L. IN EXPERIMENTS WITH PLANT EXPRESSION SYSTEMS

Rekoslavskaya N.I.^{*}, Chemesova A.A., Nurminskaya Yu.V.

The Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of SB RAS, Irkutsk, Russia

*E-mail: rekoslavskaya@sifibr.irk.ru

The *ugt/iaglu* gene encoded the UDPG-transferase which participated in the metabolism of IAA by binding with glucose and made a depot of bound auxin in plants. We used the gene *ugt/iaglu* for improving the hormonal status of more than 20 species of plants both cultivated and wild species by transformation with the gene *ugt/iaglu* as a part of binary agrobacterial vectors. As a result of transformation, the increase of growth, development, rooting and fruit formation up to 10 times was observed in all transgenic plant species tested. The highest level of free and bound IAA was determined and very high specific activity of UDPG-transferase in these transgenic plants was detected. The improved transformation characteristics were stable in 16 seed generations. Due to support of hormonal status in transgenic plants, the gene *ugt/iaglu* was recruited for development of preventive vaccines against HIV/AIDS and hepatitis B (HBV) using classic binary agrobacterial vectors. The inclusion in construct of the *ugt/iaglu* gene has resulted in 50% of surviving explants for HIV transformants and up to 100% of surviving for HBV transgenic explants. Moreover, the yields of target vaccine proteins both for HIV and for HBV increased twice or more. We developed author new plant expression system on the basis of RdRP (RNA dependent RNA polymerase, RNA 2a) from CMV with antisilencer RNA 2b of the same frame with RNA 2a. As the second antisilencer gene, the *ugt/iaglu* gene form *Z. mays* was used because UDPG-transferase not only stabilized the hormonal homeostasis of tomato transgenic fruits by prolonging its synthesis but highly increased the accumulation of "early" and "late" proteins of high risk papillomavirus HPV16 during the development both prophylactic and therapeutic vaccines against cancer. The yield of antigenic proteins of HPV was about 25% per 1 mg of total soluble protein in transgenic tomato fruit. The high yield of antigenic HPV proteins in our plant expression system allowed to raise antibodies in mice with high titer, strong avidity, with remarkable cross-reactivity with antigens from unrelated HPV families. These multiple enriched functions of the *ugt/iaglu* gene could not be explained only by binding and liberation of free auxin during the development (for example, fast growth of baby corn after pollination), but by opening new reading frames and accelerating of the gene expression. Glycosylation and destroying protein repressors on promoter sites do play important role in this way.

Keywords: UDPG-transferase, *ugt/iaglu*, transformation, HIV-1, HBV, HPV

THE EFFECT OF THE *BACILLUS SUBTILIS* 26D STRAIN AND ITS MUTANT LINES 26DSFP- AND 26DCRY ON THE ACTIVITY OF THE *TAAGO* AND *TADCL* GENES IN COMMON WHEAT PLANTS

Shein M.Yu.* , Burkhanova G.F., Gabdrakhmanova V.F., Maksimov I.V.

Institute of Biochemistry and Genetics of Ufa Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

*E-mail: mikeshenoda@yandex.ru

RNA interference is a process of highly specific silencing of target RNA or DNA fragments with the help of AGO and DCL proteins at the stage of transcription or translation, aimed, among other things, at protecting plants from pathogens of fungal etiology. In this work, we studied the effect of bacterial strains *Bacillus subtilis* 26D and its mutant lines 26Dsfp- and 26Dcry on the transcription activity of genes of the *AGO* and *DCL* families in wheat cultivars with contrasting resistance to septoria under conditions of infection with the pathogenic fungus *S. nodorum* Berk. It was established that the pretreatment of wheat seeds with the *Bacillus subtilis* 26D strain actually increased the activity of the *TaAGO1*, *TaAGO4*, and *TaDCL4* genes in both varieties under conditions of fungal pathogen infection. At the same time, plants treated with bacterial strain 26Dsfp- showed tendencies similar to strain 26D to accumulate transcripts of RNAi system genes, but in a less pronounced form. Pretreatment with the 26Dcry strain did not cause significant changes in the transcription activity of the studied genes compared to control samples. These results are consistent with our earlier data on the effect of bacterial strains on the formation of a protective response of wheat against the causative agent of septoria.

Acknowledgements: This work was supported by the RFBR project No. 20-34-90004.

Keywords: RNA interference, AGO, DCL, common wheat plants, *Bacillus subtilis* 26D, *Stagonospora nodorum* Berk.

**PROTEIN GLYCATION AND DROUGHT RESPONSE OF PEA
(*PISUM SATIVUM* L.) ROOT NODULE PROTEOME:
A PROTEOMICS APPROACH**

**Shumilina J.^{1,2*}, Gorbach D.², Lukasheva E.², Osmolovskaya N.²,
Romanovskaya E.², Ihling C.³, Zhukov V.⁴, Frolov A.¹**

¹Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

²Faculty of Biology, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

³Department of Pharmaceutical Chemistry and Bioanalytics, Institute of Pharmacy, Martin-Luther University, Halle, Germany;

⁴Department of Biotechnology, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia.

*E-mail: schumilina.u@yandex.ru

Drought is becoming the major factor limiting productivity of all plants, including legumes, due to an ongoing climate change. As these protein-rich crops form symbiotic associations with rhizobial bacteria - root nodules - they readily lose their productivity under drought conditions. Understanding the underlying molecular mechanisms might give access to new strategies to preserve the productivity of legume crops under dehydration. As was shown recently, development of drought response is accompanied by alterations in the patterns of protein glycation and formation of advanced glycation end products (AGEs) that might be a part of unknown regulatory mechanisms. Therefore, here we address the effects of moderate drought on protein dynamics and AGE patterns in pea (*Pisum sativum*) root nodules. For this, plants inoculated with rhizobial culture were subjected to osmotic stress for one week, harvested, the total protein fraction was isolated from root nodules by phenol extraction, analyzed by bottom-up LC-MS-based proteomics, and AGE patterns were characterized. Surprisingly, despite the clear drought-related changes in phenotype and stomatal conductivity, only minimal accompanying expressional changes (14 rhizobial and 14 pea proteins, mostly involved in central metabolism and nitrogen fixation) could be observed. However, 71 pea and 97 rhizobial proteins (mostly transcription factors, ABC transporters and effector enzymes) were glycated, with carboxymethylation being the major modification type. Thereby, the numbers of glycated sites in nodule proteins dramatically decreased upon stress application. It might indicate an impact of glycation in regulation of transport, protein degradation, central, lipid and nitrogen metabolism.

Keywords: advanced glycation end products (AGEs), drought stress, glycation, pea (*Pisum sativum*), polyethylene glycol (PEG), proteomics, root nodules.

EFFECTS OF LIGHT AND NITROGEN ADDITION ON THE TREE GROWTH, NEEDLE MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONS OF *PICEA KORAIENSIS* SAPPLINGS

Xing H.^{*}, Yang L.

State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, School of Forestry, Northeast Forestry University, 150040 Harbin, China

*E-mail: nefuxhl@163.com

Light intensity represents a pivotal ecological factor for plants. Similarly, fertilization is a crucial forestry practice. Both of them influence the forest growth and development. The capacity of plants to capture and utilize light shapes their survival and adaptation in the natural environment. *Picea koraiensis* is mainly distributed in the Russian Far East, North Korea, and China which offers extensive economic applications and significant ornamental value. Limited studies exist on the impacts of fertilizer application and light intensity on the growth and physiology of *P. koraiensis* saplings. To ascertain favorable conditions of fertilization and light intensity for *P. koraiensis* sapling growth, we developed and scientifically analyzed growth promotion management techniques on *P. koraiensis* sapling. We selected artificial *P. koraiensis* saplings aged 8 to 10 years from Mengjiagang Forest Farm, Jiamusi City, Heilongjiang Province. as our research subjects. Employing a split-plot design experiment, we introduced three light intensities (full light, 0.5 canopy density, and 0.7 canopy density), coupled with two fertilization protocols (with nitrogen fertilizer, without nitrogen fertilizer) for each light intensity treatment. This allowed us to assess the variations in the impact of light intensity and nitrogen supplementation on the growth, leaf morphology, and physiological function of *P. koraiensis* saplings. Findings indicated that under different light intensity conditions, the annual growth of tree height was the largest under full light. Additionally, the most substantial annual ground diameter growth was observed in situations of both full light and nitrogen fertilizer, followed by 0.5 canopy density. Light intensity and nitrogen application exhibited minor effects on annual tree height growth, but had great influence on the annual growth of ground diameter. With the increase of canopy density, specific leaf area and chlorophyll content increased accordingly. Conversely, leaf dry matter content and chlorophyll a/b ratio exhibited a decrease. Light intensity profoundly influences needle morphology and function, while nitrogen fertilizer exerts negligible impact. But both can significantly influence needle nutrient content. When given both full light exposure and nitrogen fertilizer application, *P. koraiensis* saplings display increased annual tree height and ground diameter growth. However, annual height-diameter ratio growth remains the lowest. Consequently, light intensity exhibits a more substantial impact on the growth, leaf morphology, and photosynthetic capacity of *P. koraiensis* saplings, in comparison to nitrogen fertilizer application. The addition of nitrogen can enhance photosynthetic efficiency. *P. koraiensis* saplings are well suited for seedling planting in areas with full or near-full light. Following afforestation, the addition of nitrogen can enhance the photosynthetic capacity of *P. koraiensis* saplings and stimulates their growth.

Keywords: Korean spruce, tree growth, functional characteristics, forestry, fertilizer addition, light intensity

PROGRESS AND PROSPECT OF LARGE-SCALE PROPAGATION TECHNOLOGY OF FOREST TREE SOMATIC EMBRYOGENESIS

Yang L.

State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, School of Forestry, Northeast Forestry University,
150040 Harbin, China

E-mail: yangling082477@163.com

The somatic embryogenesis technology can realize the large-scale propagation of excellent germplasm resources in plant. The plant regeneration, cryopreservation and genetic transformation are main fundamental and applied researches for somatic embryogenesis. Among them, utilization of plant regeneration for physiological and breeding research is a research hotspot. The technology of tree somatic embryogenesis is of great scientific value and has wide application prospects in the analysis of biological mechanism of tree propagation, maintenance of genetic diversity in the population of plantation forests, and efficient and rapid propagation and utilization of improved varieties on a large scale.

The process of somatic embryogenesis of *Pinus koraiensis* includes the induction and proliferation of embryogenic callus, the maturation, germination and transformation of somatic embryo, and the acclimatization and transplantation of regenerated plantlets, which takes 8 months. This process takes 6 months in Maritime Pine, but only 3 months in hybrid larch. Most somatic embryos are induced by immature embryos or megasporangium. The time of explant extraction is very important. The first results of somatic embryogenesis from adult material is obtaining embling in spruce. The embryogenic callus induction rate of *Larix occidentalis* from different sources ranged from 3% to 93%, while this result in *P. koraiensis* ranged from 0 to 63%. These results indicate that the difference of embryogenic differentiation potential is universal. The differential expression of families of some transcription factor and epigenetic modifying enzyme genes among different somatic embryogenic potential cell lines was proved by transcriptome analysis. Some morphological and physiological indexes were confirmed, which could be used as markers for early screening of somatic embryo high-yield cell lines. As for the proliferation of embryogenic callus, the research mainly focused on the selection of cell lines, the ratio of PGRs in the medium and the effect of exogenous chemicals. Exogenous ascorbic acid can regulate the embryogenic cell proliferation of *P. koraiensis*. Glutathione plays a positive role in the proliferation of *P. koraiensis* embryogenic cells. Intracellular glutathione might be the key positive regulator mediating the difference in proliferative capacity between high and low proliferative potential cell lines. The qRT-PCR assay validated 11 DEGs related to glutathione metabolism. The application of bioreactor can expand the scale of embryonic cells' proliferation.

The embryogenic capacity in hybrid larch is maintained over time. There is no decrease as in pine species. The embryogenic potential of cells in larch can be maintained for more than 10 years, and that of *Fraxinus mandshurica* is 5 years, but it is less than 1 year in Korean pine. Why does the embryogenic potential of *P. koraiensis* cells decline? We found that the content of ROS and SOD activity were relatively high in the cells with embryonic degeneration. There are a lot of down-regulated genes in the cell lines with embryonic degeneration. The DEMs were assigned to 45 pathways. We found that genes and metabolites related to plant synthesis and signal transduction were associated with somatic embryogenesis potential, especially those of the auxin pathway. The chromosome number of embryogenic cell lines cultured for a long time in *Larix sibirica* was indefinite. More than 90% of the *L. sibirica* cells cultured for 6 years had stable chromosome numbers. These cells can be successfully used for the development of planting material and clonal plantation forestry. Cryopreservation does not change the potential of embryogenesis in *P. koraiensis* cell, *L. sibirica* cell and *F. mandshurica* cell. Cell suspension culture can recover after cryopreservation for 5 years. Abscisic acid plays an import role in the somatic embryo maturation which can suppress abnormal development and inhibit precocious germination of SE. ABA can improve the structure of SEs, increase its' yield, promote its' accumulation of storage compounds, and improve the quality of SE. limiting water availability can promote the SE maturation. The protein content of 8w cotyledonary SE is close to fresh ZE. The accumulation of stored reserves in SE was less than that in ZE. The SE can plant directly in the field. Further, the combination of traditional breeding, genome selection and somatic embryogenesis can accelerate breeding cycling!

Keywords: tree, somatic embryogenesis, emblings, bioreactor, cryopreservation

USE OF ABIOTIC STRESSORS TO MODIFY THE PRODUCTION OF NATURAL PLANT ANTIOXIDANTS IN *CHENOPODIUM QUINOA* L.

Zorbekova A.N.^{1*}, Terletsckaya N.V.^{1,2}, Shuyskaya E.V.³

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² Institute of Genetic and Physiology, Almaty, Kazakhstan

³ Timiryazev Institute of Plant Physiology, Moscow, Russia

*E-mail: zorbekova92@mail.ru

Modern trends in global pharmacy development are defined by the pursuit of new sources of herbal medicines containing diverse biologically active compounds, as well as the development of methods for the targeted synthesis of valuable plant metabolites. All plants, including those people call "medicinal", synthesise biologically active compounds primarily for themselves. And, throughout history, humans have used the outcomes of plants' adaptation to unfavorableharsh environments as a source for the biosynthesis of useful bioactive compounds in one form or another.

Representatives of *Amaranthaceae* are nowadays the most accessible source of plant essential antioxidant metabolites, the lack of which leads to a significant reduction in the human body's resistance to stress stimuli. That's why Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) could thus be a real candidate for food, feed, and pharmaceutical industries, due to its outstanding phytochemical composition of the seeds and foliage, as well as its great adaptability to various abiotic stress factors.

In the present study, the Tajik quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) variety "Vahdat" was utilised; quinoa seeds were received from the originator, the Centre for Genetic Resources of the Tajik Academy of Agricultural Sciences (CGR TAAS). 40-day-old seedlings with no cotyledons and four rows of unfolded, functioning leaves were employed in trials, with two upper unfolded leaves and a stem section in between collected for the study.

The purpose of this work was to study the influence of abiotic stresses (osmotic, salt and combined) of varying intensity on antioxidant processes in the photosynthetic organs of young quinoa plants. We sought to determine how enzymatic (such as SOD, CAT, POD, MDA) and non-enzymatic antioxidants (fatty acid esters, phosphoric acid esters, phytol, acetophenone) change in response to different levels of osmotic, salt and combined stress, and whether connection between them. We assume that the results of current research will help more deeply understand how quinoa reacts to stress and how quinoa can use stress stimuli to optimise valuable phytochemical constituents with pharmaceutical or nutritional value.

As result, in this study the quantitative and qualitative alterations in enzymatic and non-enzymatic antioxidants in young quinoa plants in response to osmotic, salt, and combined stress are revealed. The linkage between the antioxidant defence of the quinoa system and stress tolerance to osmotic, salt, and combined stress was demonstrated.

Keywords: quinoa, natural antioxidant biosynthesis, abiotic single stress, combined stress