

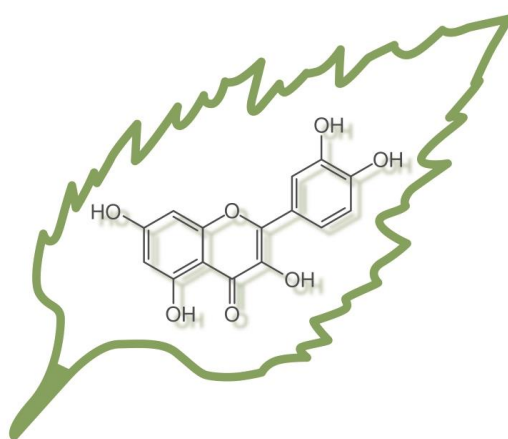
**ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ ИМ. К.А. ТИМИРЯЗЕВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



# **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**

**Материалы докладов  
XII Всероссийского симпозиума  
с международным участием**

*Москва, 13-17 октября 2025 г.*



Москва 2025 г.

УДК 581.198(063)  
ББК 28.572.517я431  
Ф42

*Издается по решению  
Ученого совета ИФР РАН*

Редакционная коллегия:

*Д.А. Лось, Н.В. Загоскина, В.А. Куркин, П.В. Лапшин, М.Ю. Зубова*

**Ф42 Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты: материалы докладов ХII Всероссийского симпозиума с международным участием (Москва, 13-17 октября 2025 г.). М.: ИФР РАН, 2025. – М.: Издательство «Перо», 2025. – 230 с. – 4,72 Мб Мб. [Электронное издание].**

ISBN 978-5-00270-203-9

В сборнике представлены материалы докладов ХII Всероссийского симпозиума с международным участием «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты» (Москва, 13-17 октября 2025 г.). Представлены основные исследования по актуальным проблемам феноломики различных представителей растительного царства (от цианобактерий до высших растений), участия фенольных соединений в их жизнедеятельности, оценке биологической активности этих представителей вторичного метаболизма и их практическом применении, в том числе в нано- био-, аква- и фармтехнологии.

Издание представляет интерес для широкого круга специалистов по физико-химической биологии, химии, физиологии и биохимии растений, биотехнологии, фармакогнозии, агротехнологии и защиты растений.

Проведение симпозиума и публикация сборника поддержаны грантом Российского научного фонда (No. 21-74-30003-П).

*Материалы публикуются в авторской редакции с согласия авторов.*

УДК 581.198(063)  
ББК 28.572.517я431

ISBN 978-5-00270-203-9

© Коллектив авторов, 2025  
© Институт физиологии растений  
им. К.А.Тимирязева РАН, 2025  
© Издательство «Перо», 2025

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Лось Д.А.**, д.б.н., член-корр. РАН (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) - **председатель**

**Загоскина Н.В.**, д.б.н., проф. (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) - **сопредседатель**

**Куркин В.А.**, д.фарм.н., проф. (Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия) - **сопредседатель**

**Булгаков В.П.**, д.б.н., академик РАН (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия)

**Ламан Н.А.**, д.б.н., академик НАН Беларуси (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь)

**Клыков А.Г.**, д.б.н., академик РАН (Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия)

**Минибаева Ф.В.**, д.б.н., проф. (Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук, Казанский институт биохимии и биофизики, Казань, Россия)

**Носов А.В.**, д.б.н. (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия)

**Носов А.М.**, д.б.н., проф. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия)

**Осипов В.И.**, д.б.н. (Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия)

**Селиванова И.А.**, д.фарм.н., проф. (Сеченовский университет, Москва, Россия)

**Хлесткина Е.К.**, д.б.н., проф. РАН, член-корр. РАН (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия)

**Храмова Е.П.**, д.б.н. (Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия)

**Зубова М.Ю.**, к.б.н. (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия) – **ученый секретарь**

## ПРОГРАММНЫЙ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ

**Лось Д.А.**, член-корр. РАН

**Загоскина Н.В.**, проф.

**Куркин В.А.**, проф.

**Носов А.В.**, д.б.н.

**Носов А.М.**, проф.,

**Минибаева Ф.В.**, проф.

**Селиванова И.А.**, проф.

**Храмова Е.П.**, д.б.н.

**Аксенова М.А.**

**Гончарук Е.А.**, к.б.н.

**Зубова М.Ю.**, к.б.н.

**Катанская В.М.**, к.б.н.

**Лапшин П.В.**, к.б.н.

**Нечаева Т.Л.**

**Темерова В.В.**, к.б.н.

## ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ СБОРНИКА

<b>Предисловие</b>	<b>5</b>
<b>Пленарные доклады</b>	<b>6</b>
<b>Круглый стол «Основоположники исследований полифенолов в России: учителя и ученики»</b>	<b>9</b>
<b>Раздел 1. Фенольные соединения и их биологическая активность</b>	<b>14</b>
<b>Раздел 2. Распространение, функциональная роль и метаболомика фенольных соединений: от цианобактерий до высших растений</b>	<b>91</b>
<b>Раздел 3. Биогенез фенольных соединений: структура, гены, компартментация</b>	<b>139</b>
<b>Раздел 4. Регуляция накопления фенольных соединений и метаболическая инженерия</b>	<b>148</b>
<b>Раздел 5. Нано-, био-, аква- и фармтехнологии на основе фенольных соединений</b>	<b>179</b>
<b>Заголовки работ по разделам</b>	<b>212</b>
<b>Именной указатель</b>	<b>226</b>

СПИСОК ЗАГоловков Докладов Расположен в Конце Сборника

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Симпозиумы «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты» являются традиционными научными мероприятиями по проблемам физиологии, биохимии, химии и фармакологии этих веществ вторичного метаболизма. Первый из них был проведен в 1966 г. в Институте физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР (г. Москва). Его целью являлось объединение химиков, биологов, физиологов, технологов, фармакологов и клиницистов, работающих в этой нужной для государства области науки. Все эти направления актуальны до сих пор, что подтверждают представленные в этом сборнике материалы научных исследований.

Большинство представителей растительного мира адаптируются к изменениям климата, воздушной, водной и почвенной среды. Этот феномен в определенной степени обусловлен накоплением в них фенольных соединений – веществ с высокой антиоксидантной активностью, защищающих клетки от действия АФК, количество которых возрастает при стрессовых воздействиях. Структура полифенолов чрезвычайно разнообразна, также как и функциональная активность. Они участвуют в процессах дыхания, фотосинтеза, трансдукции энергии света, стресс-адаптации. Фенольные соединения важны при селекции сельскохозяйственных культур, получении фармакологически-ценных препаратов, разработке биотехнологического получения ценных культур в условиях *in vitro*. При этом до сих пор остается «неразгаданной» функциональная значимость огромного разнообразия этих вторичных метаболитов, их генная регуляция и функциональная активность как у различных представителей растительного царства, так и в организме человека, где им отводится важная роль в сохранении здоровья населения нашей Планеты.

В настоящем сборнике представлены материалы исследований по основным направлениям химии, физиологии и биохимии полифенолов, биогенезу этих вторичных метаболитов и генам, ответственным за их образование, а также биологической активности, медико-биологическим и технологическим аспектам применения полифенолов, полученные как ведущими, так и молодыми учеными, аспирантами и студентами. Большинство из них новы, актуальны, отражают уровень и состояние фундаментальных и прикладных исследований в области фенольного метаболизма, а также практического применения этих природных веществ.

д.биол.н., проф. Н.В. Загоскина  
д.фарм.н., проф. В.А. Куркин

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

## ПЕРЕСТРОЙКИ ФЕНОЛЬНОГО ОБМЕНА ПРИ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЯХ КСИЛО- И ФЛОЭМОГЕНЕЗА

**Галибина Н.А., Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Корженевский М.А., Померанец А.К., Серкова А.А., Афошин Н.В.**

Институт леса – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, 181102@mail.ru

Процесс формирования ксилемы – ксилогенез, обуславливает структурные особенности древесины, определяет ее физико-механические, технологические, топливные и декоративные свойства. Понимание механизмов, регулирующих образование тканей ствола, актуально не только с точки зрения получения древесины с особыми свойствами, но и в свете глобальных исследований круговорота углерода. Ксилема ствола эволюционно, онтогенетически и физиологически тесно связана со второй проводящей тканью – флоэмой. При изучении проблем, касающихся формирования древесины, важно понимать, что происходит с другой стороны камбиальной зоны, т.е. во флоэме.

Камбиальная активность, обычно, более чувствительна, чем фотосинтез, к ухудшению лесорастительных условий, что приводит к ограничению включения углерода в состав компонентов клеточных стенок структурных элементов ксилемы. В этих условиях, чтобы поддерживать донорно-акцепторные отношения между кроной и тканями ствола / корнями, древесные растения выработали пути утилизации избытка сахаров, в которых возрастает роль реакций вторичного метаболизма (паренхиматизация тканей, усиление лигнификации, синтез экстрактивных веществ и др.). В последнее время все больше появляется убедительных доказательств того, что *A. thaliana* и сеянцы *Populus* spp., на которых, в основном, описаны сигнальные пути, регулирующих камбиальную активность и разные стадии дифференцировки производных камбиальных инициалей, не могут служить моделью для выявления закономерностей ксило- и флоэмогенеза у взрослых древесных растений, что связано с существенным различием в строение тканей ствола. В этой связи, на примере 36-летних растений березы мы предприняли попытку исследовать роль реакций вторичного метаболизма (шикиматный, фенилпропаноидной, флавоноидный пути, биосинтез лигнина) в утилизации сахаров на разных этапах камбиального роста (дифференциация материнских клеток флоэмы и начало ксилогенеза; активное формирование ксилемы; утолщение вторичной клеточной стенки).

Подобные исследования предполагают преодоление определенных сложностей, неизменно возникающих при работе со взрослыми растениями в натуральных условиях. (1) Сложность регуляции переходов между этапами камбиального роста требует особых подходов к их изучению. В этой связи, отбор тканей ствола мы проводили на разных этапах камбиального роста. Мы использовали полногеномный (RNA-Seq) анализ экспрессии генов в развивающихся тканях ксилемы и флоэмы, что позволило получить большой объем данных, отражающих на молекулярно-генетическом уровне все, происходящее в этих тканях, процессы. (2) При работе со взрослыми древесными растениями в натуральных условиях невозможно использовать классический инструментарий геной инженерии, позволяющий получать линии растений с измененными параметрами экспрессии отдельных генов-мишеней для изучения их функций. Для преодоления этого ограничения мы использовали «нормальные» и «дефектные» фенотипы карельской березы (*Betula pendula* var. *carelica* (Merckl.) var. *Hämet-Ahti*), созданные природой.

В результате проведенного исследования впервые выявлены гены, кодирующие ключевые ферменты фенольного обмена (синтез флаванонов, флавонолов, флаван-3-олов), повышающие свою активность в условиях торможения камбиального роста, предложены метаболические схемы, отражающие их роль в утилизации избытка сахаров.

*Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по государственному заданию ИЛ КарНЦ РАН. Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования КарНЦ РАН.*

## МЕСТО И РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ФАРМАКОПЕЙНОМ АНАЛИЗЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРЕПАРАТОВ

Куркин В.А.

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, +7 9276058797, v.a.kurkin@samsmu.ru

Широкое использование методов тонкослойной хроматографии, газовой хроматографии и высокоэффективной жидкостной хроматографии в Государственной фармакопее Российской Федерации (ГФ РФ) XIV и XV изданий открыло новые возможности для целей стандартизации лекарственного растительного сырья (ЛРС). В ГФ РФ XV издания в дополнение к 107 видам ЛРС, уже имеющим фармакопейный статус в рамках ГФ РФ XIV издания, включены 27 новых видов ЛРС. Важно также подчеркнуть, что в ГФ РФ XV издания нашла отражение работа, направленная на совершенствование методов анализа для 22 видов ЛРС, которые ранее были включены ГФ РФ XIV издания.

Цель работы – научное обоснование методических и методологических подходов к стандартизации ЛРС, содержащего фенольные соединения.

В качестве материалов использованы лекарственные растения, лекарственное растительное сырье, БАС. В исследовании нашли применение фармакогностические, химические, хроматографические, спектральные методы (УФ-, ЯМР-спектроскопия и масс-спектрометрия).

Огромное разнообразие химической природы действующих веществ лекарственных растений создает перспективу совершенствования стандартизации ЛРС и фитопрепаратов, особенно с точки зрения современной мировой тенденции, предполагающей использование в методиках качественного и количественного анализа определение 2-3 групп БАС, имеющих диагностическое значение. В этом отношении особый интерес представляют фенольные соединения. В соответствии с этим, в ГФ РФ XIV и XV изданий прослеживается тенденция к использованию методологического подхода, заключающегося в оценке качества ЛРС, как правило, не по одной, а по нескольким группам БАС. Данная тенденция наглядно иллюстрируется на примере 70 видов ЛРС, анализ которых осуществляется на содержание фенольных соединений, причем значительная часть из них, с точки зрения химической классификации, относится к другим группам действующих веществ. Особенно это ярко проявляется в случае анализа ЛРС, содержащего эфирные масла и флавоноиды.

В рамках совершенствования химической классификации ЛРС нами в фармакогнозию введены 6 новых групп БАС. Среди новых групп БАС в фармакогнозии особый интерес представляют фенилпропаноиды. Отнесение к фенилпропаноидам таких лекарственных растений, как родиола розовая (золотой корень) (*Rhodiola rosea* L.), элеутерококк колючий [*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim.], сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.), мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.), эхинацея пурпурная [*Echinacea purpurea* (L.) Moench.], расторопша пятнистая [*Silybum marianum* (L.) Gaertn.], лимонник китайский (*Schizandra chinensis* Baill.), позволяет научно обосновывать подходы к стандартизации сырья вышеперечисленных растений, включающих использование разработанных нами таких фармакопейных стандартных образцов, как розавин, сиригин (элеутерозид В), силибин, гамма-схизандрин, розмариновая кислота. При этом следует отметить, что в настоящее время особую актуальность приобретает разработка отечественных фармакопейных стандартных образцов, используемых для целей стандартизации ЛРС. Это позволит вытеснить дорогостоящие зарубежные стандартные образцы и, следовательно, обеспечить технологический суверенитет в сфере фармакопейного анализа.

Таким образом, фенольные соединения, являясь уникальным классом биологически активных веществ, актуальны в плане поиска новых лекарственных растений как перспективных источников препаратов и фармакопейных стандартных образцов, используемых для целей стандартизации ЛРС и препаратов.



# КРУГЛЫЙ СТОЛ

## **ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РОССИИ: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УЧИТЕЛЕЙ И УЧЕНИКОВ**

**Загоскина Н.В.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, [nzagoskina@mail.ru](mailto:nzagoskina@mail.ru)

Специализированные метаболиты, к числу которых относятся фенольные соединения, также как и фотосинтетические пигменты, отражают «уникальность» представителей растительного царства, возможность существования в природе и адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды.

История исследования фенольных соединений в России, включая химические свойства, локализацию и функциональную роль в растениях, насчитывают уже почти столетие. Наиболее ярко это проявилось в начале XX века, когда В.И. Палладин определил их участие в дыхании в качестве «дыхательных хромогенов». Российские химики заложили основы методов выделения фенольных соединений, изучения структуры и свойств, а также исследования химического состава растений. Внимание к этим вторичным метаболитам было обусловлено и задачами народного хозяйства. Так, необходимость обеспечения жителей таким традиционным напитком как чай привела к развитию исследований *Camellia sinensis* L. и процессов его ферментации. Именно благодаря работам советских исследователей - академиком А.И. Опарину и А.Л. Курсанову, профессорам М.Н. Запромётову, А.М. Бокучаве и другим, было сформировано новое для того периода времени научное направление, связанное с теорией и практикой чайной промышленности и культурой чая.

Для второй половины XX века было характерно интенсивное развитие исследований по фенольным соединениям, которое было обусловлено разработкой методов их анализа на основе различных хроматографических и спектрофотометрических подходов, работами с изотопами, привлечением ЯМР- исследований. Все это позволило установить основные этапы биосинтеза этих вторичных метаболитов, а также понять их важную функциональную роль в жизни растений.

Особая ценность в развитии всех научных направлений принадлежит личности ученых, которые способны объединять исследователей, укреплять их взаимодействие и развивать научные школы. В значительной степени всему этому способствует научные конференции. Именно так поступили академик А.Л. Курсанов и профессор М.Н. Запромётов. Они положили начало буквально эпическому событию в научной жизни нашей страны, когда впервые организовали и провели 1-й Всесоюзный Симпозиум по фенольным соединениям (14-17 декабря 1966 г., Москва). В этот период были определены три важнейших направления, охватывающих химию природных полифенолов, проблемы биосинтеза и физиологической роли полифенолов в растениях, медико-биологические аспекты, которые до сих пор служат фундаментом для многих исследований в Российской Федерации.

И в заключении следует подчеркнуть важность взаимодействия учителей и учеников в овладении знаниями, приобретении интереса к поставленным задачам, формировании навыков самостоятельной научной работы и, как следствие, создании и разработке новых актуальных и необходимых для нашей страны приоритетных тем. Это очень ярко прослеживалось на примере учителей – основоположников изучения фенольных соединений в России - к числу которых относятся академики А.И. Опарин и А.Л. Курсанов, профессора М.Н. Запромётов, Н.А. Тюкавкина, В.Г. Минаева, Самородова-Бианки В.Г., а также многие их коллеги из Ближнего и Дальнего зарубежья.

## **РОЛЬ ЛИЧНОСТИ УЧИТЕЛЯ В ФОРМИРОВАНИИ НАУЧНЫХ ШКОЛ И НАПРАВЛЕНИЙ В ОБЛАСТИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Куркин В.А.**

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, +7 9276058797, v.a.kurkin@samsmu.ru

Проведение первого Всесоюзного симпозиума по фенольным соединениям в г. Москве в 1966 г. по инициативе профессора Запрометова Михаила Николаевича послужило мощным толчком к проведению полномасштабных исследований компонентного состава лекарственных растений, химического строения фенольных веществ, их физико-химических, спектральных характеристик, а также биологической активности. С целью интенсификации исследований в союзных республиках СССР было принято решение проводить последующие симпозиумы в их столицах: Алма-Ата (1971 г.), Тбилиси (1976 г.), Ташкент (1982 г.), Таллинн (1987 г.). VI Всесоюзный симпозиум по фенольным соединениям планировалось провести в 1992 г. в г. Киеве, но, к сожалению, эти планы не воплотились в жизнь, так как к этому времени уже распался Советский Союз. Понадобилось целых 17 лет, чтобы возобновить в нашей стране проведение симпозиумов, но уже в статусе VI Международного симпозиума по фенольным соединениям (Москва, 2004 г.). И это снова заслуга профессора Запрометова М.Н. Организацией очередного, VII Международного симпозиума по фенольным соединениям (2009 г.), так же занимался Михаил Николаевич, но, к сожалению, в 2008 г. его с нами не стало. Эстафету приняла ученица М.Н. Запрометова - руководитель группы фенольного метаболизма растений Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, доктор биологических наук, профессор Загоскина Наталья Викторовна. При этом важно подчеркнуть, что руководство Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН в лице доктора биологических наук, члена-корреспондента РАН Лося Дмитрия Анатольевича делает всё необходимое, чтобы симпозиумы проходили успешно. Это означает, что дело М.Н. Запрометова живет!

Мне посчастливилось быть не только знакомым с Михаилом Николаевичем, но и проводить совместные научные исследования, в том числе по изучению метаболома листьев чая китайского (сорт «Колхида»). Я восхищался энциклопедическими знаниями М.Н. Запрометова, его интеллигентностью, его колоссальным авторитетом не только в нашей стране, но и за рубежом. Моя первая встреча с Михаилом Николаевичем состоялась в Ташкенте, на IV Всесоюзном симпозиуме по фенольным соединениям, на который я приехал с моим Учителем с большой буквы – главным научным сотрудником лаборатории фитохимии Всесоюзного института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), доктором химических наук, профессором Запесочной Гертрудой Григорьевной. Г.Г. Запесочная была ведущим ученым в области флавоноидов в нашей стране, но при этом все другие классы природных соединений были ей подвластны. Будучи химиком от Бога, именно она научила меня виртуозной работе по выделению веществ из лекарственных растений. Интересно, что Гертруда Григорьевна является ровесницей ВИЛАРа (1931 г.), в котором она проработала более 60 лет! При этом мне хотелось бы отметить, что Гертруду Григорьевну связывало тесное многолетнее сотрудничество с Михаилом Николаевичем, и она была активным членом оргкомитета симпозиумов, начиная с первого. Трудно также представить историю симпозиумов по фенольным соединениям без профессора Тюкавкиной Нонной Арсеньевны, которая, будучи зав. кафедрой органической химии Сеченовского университета, внесла огромный вклад в науку в области фенольных соединений. Именно с нее началось внедрение высокоэффективной жидкостной хроматографии в фармакопейный анализ лекарственного растительного сырья и препаратов. Разумеется, мне бы хотелось отметить судьбоносную роль в становлении меня, как ученого и педагога, Учителя с большой буквы – первого заведующего кафедрой фармакогнозии Куйбышевского медицинского института им. Д.И. Ульянова (ныне - СамГМУ), доцента Кривенчука Петра Евдокимовича, который привил мне любовь к фармакогнозии.

Низкий поклон и безмерная благодарность всем моим учителям, которые были и остаются в моей жизни!

## **НАУЧНОЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА НОННЫ АРСЕНЬЕВНЫ ТЮКАВКИНОЙ**

**Селиванова И.А.**

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский  
Университет), Москва, +7 (917) 504-77-55, selivanova\_i\_a@staff.sechenov.ru

Профессор Нонна Арсеньевна Тюкавкина, начиная с самого первого симпозиума по полифенольным соединениям, состоявшегося в 1966 году в Таллине была постоянным участником этого масштабного форума, а в последствие и членом организационного комитета. Именно на Таллинском мероприятии ею впервые было охарактеризовано биологически активное соединение – дигидрокверцетин, который уже в течение многих лет является бестселлером.

Всемирно признанный ученый в области фундаментальных исследований фенольных соединений растительного происхождения Н.А.Тюкавкина, многие годы была членом Международной ассоциации учёных «Группа полифенолов» и действительным членом Нью-Йоркской академии наук, неоднократно участвовала в профильных конференциях в России и за рубежом (Бельгия, Мальта, США, Франция). Научное наследие Нонны Арсеньевны – это свыше 400 научных публикаций в отечественной и зарубежной печати, 14 патентов, 5 монографий, две из которых изданы за рубежом: *Frontiers in antioxidants research* (New York, 2006) и *New trands in brain hypoxia ischemia research* (New York, 2007).

Своим научным Эверестом Нонна Арсеньевна всегда считала капилляропротекторное и антиоксидантное лекарственное средство «Диквертин», действующим веществом которого является дигидрокверцетин. Восхождение на эту вершину продолжалось почти 40 лет. Любимому детищу были посвящены монография «Лекарственные препараты на основе Диквертина» (М.Б. Плотников, Н.А.Тюкавкина, Т.М. Плотникова, Томск, 2005) и научный симпозиум «Новые подходы к комплексной терапии в ангионеврологии и кардиологии» в рамках Российского национального конгресса «Человек и Лекарство».

Н. А. Тюкавкина почти 30 лет возглавляла кафедру органической химии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет) и уделяла большое внимание совершенствованию и профилизации фундаментального химического образования в учебных заведениях медицинского и фармацевтического профилей. По ее инициативе, впервые в нашей стране в учебный процесс на медицинских факультетах была внедрена новая учебная дисциплина – биоорганическая химия. Она является соавтором и редактором учебных программ и основных видов учебной литературы для студентов медицинских и фармацевтических вузов. Учебники: «Биоорганическая химия», «Органическая химия» (для фармацевтических и медицинских училищ), «Органическая химия. Основной курс», книга 1 и Органическая химия. Специальный курс», книга 2, «Органическая химия» и практикумы: «Руководство к лабораторным занятиям по биоорганической химии», «Руководство к лабораторным занятиям по органической химии» (для системы высшего образования) многократно переиздавались и любимы многими студентами и преподавателями.

Все свои научные достижения и результаты коллег в области исследования полифенольных природных соединений она обобщила и создала элективный курс «Биофлавоноиды» на базе современных компьютерных технологий, который пользовался огромной популярностью у студентов не только Сеченовского университета, но и студентов МГУ им. М.В. Ломоносова и РУДН им. Патриса Лумумбы.

Заслуженный деятель науки, Почетный заведующий кафедрой Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова профессор Тюкавкина Нонна Арсеньевна внесла неоценимый вклад и в подготовку научно-педагогических кадров. Под ее руководством защищено 5 докторских и 22 кандидатских диссертации. Воспитанники ее Иркутской и Московской школ продолжают дело, начатое УЧИТЕЛЕМ!

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЕНИЙ В СИБИРИ

Храмова Е.П.

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

Биохимическая школа в области исследования лекарственных растений Сибири начала складываться в начале 50-х годов прошлого столетия. В этот период Валентина Гавриловна Минаева, один из основателей лаборатории фитохимии, делает решительный поворот в сторону изучения фенольных соединений, которые становятся мировым трендом. Под ее руководством и при непосредственном участии проведено рекогносцировочное обследование растений флоры Западной Сибири на содержание флавоноидов, выделены перспективные роды *Viburnum* L. и *Rumex* L. Итогом работы стала монография «Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование», вышедшая в 1978 г. Глубокий анализ мировой литературы в области изучения фенольных соединений и их биологической роли, богатый экспериментальный материал делают эту книгу незаменимым пособием для всех исследователей природных соединений растений. В этом же году В.Г. Минаева успешно защитила докторскую диссертацию.

Одним из важнейших направлений деятельности лаборатории становится хемосистематическое изучение некоторых семейств и родов высших растений с целью уточнения их классификации и прогнозирования поиска БАВ. Основоположителем приоритетного направления фундаментального исследования в области хемотаксономии высших растений стала Галина Ивановна Высочина. Проблемами хемосистематики лаборатория фитохимии занимается с 1960-х годов, решая их на различных таксономических уровнях с позиций биогенеза природных соединений. Примером таких исследований являются итоги многолетнего изучения фенольных соединений 16 внетропических родов семейства гречишных (*Polygonaceae* Juss.), итогом которых стала монография Г.И. Высочиной «Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных» (2004). В 2002 г. Галине Ивановне присуждена ученая степень доктора биологических наук, а в 2008 г. ей присвоено ученое звание профессора.

Галина Ивановна, будучи достойным преемником своих учителей – д.б.н. проф. К.А. Соболевской и д.б.н. В.Г. Минаевой, и сама стала талантливым педагогом и организатором для своих многочисленных учеников, один из которых стал доктором наук, семь – кандидатами. В лаборатории ведется изучение закономерностей внутривидовой изменчивости в связи с вопросами естественной дифференциации видов. Возможные корреляции морфологической и биохимической дифференциаций открывают перспективы познания динамики видов, уточнения их объема и связей в системе родов. Анализ распределения природных соединений в отдельных филумах является основанием для прогноза поисков ценных БАВ. При изучении полезных растений Сибири сотрудники лаборатории опираются на принципы родовых комплексов и филогенетических связей родов.

Обладая организаторскими способностями и необычайной работоспособностью, Г.И. Высочина настойчиво проводила работу по разработке и внедрению лечебно-профилактических продуктов. В результате – патенты на способы получения масляных экстрактов из зверобоя и монарды, обладающих антимикробной активностью. Разработаны и производятся 12 безалкогольных лечебно-профилактических бальзамов на базе ОАО «Скрижалъ» из регионального сырья.

И в настоящее время лаборатория фитохимии продолжает научные традиции школы по исследованию фенольных соединений, начатые д.б.н. В.Г. Минаевой, д.б.н. Поляковой Л.В., д.б.н. Жанаевой Т.А., д.б.н., проф. Г.И. Высочиной, сохраняя передовые позиции в нашей стране и мире по ряду направлений.

# **СЕКЦИЯ 1**

## **Фенольные соединения и их биологическая активность**



## STUDY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE EXTRACT OF *ARTEMISIA SCOPAEFORMIS* BY GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY

Keldibekova R.N.<sup>1</sup>, Jalmakhanbetova R.I.<sup>1</sup>, Zhumagaliyeva Zh.Zh.<sup>2</sup>, Mukusheva G.K.<sup>3</sup>, Asylbekova A.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, rjalmakhanbetova@gmail.com

<sup>2</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>Karaganda University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

<sup>4</sup>"Karatau State Nature Reserve" Republican State Institution, Kentau, Kazakhstan

*Artemisia* spp. are a rich source of terpenes, flavonoids, coumarins, essential oils, and other phytochemicals, each of which is known to have a wide range of biological activities, including antioxidant, antimicrobial, acaricidal, and repellent activities, and other pharmacological effects [1–4]. In addition, extracts of *Artemisia* species have been shown to have inhibitory, antimicrobial, antidiabetic, and antioxidant activities [5–7]. These data demonstrate the diversity of the chemical composition of the *Artemisia* genus and its potential for research in the fields of medicine and pharmacy.

In this regard, the study of the chemical composition of the *Artemisia scopaeformis* plant is of particular importance in assessing its value as a medicinal raw material and identifying pharmacologically important biologically active substances.

This study presents the results of the determination of phenolic compounds in the chemical composition of the extract of the *A. scopaeformis* plant using the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) method. As a result of the analysis conducted by the GC-MS method, phenolic compounds with various structural features were identified in the plant extract. Among them: acetophenone, 4'-hydroxy-(para-hydroxyacetophenone) - a simple phenol derivative; 2-butanone, 4-(4-hydroxyphenyl)- - a compound containing a hydroxyphenyl group; 4-((1E)-3-hydroxy-1-propenyl)-2-methoxyphenol (isoeugenol) - one of the main components of aromatic essential oils; 1,1'-biphenyl, 5-hydroxy-3,4'-dimethoxy- - phenolic biphenyl; phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis- (bisphenol A) - a diphenol derivative in the plant; phenol, 2-methoxy-6-(2-propenyl)- (eugenol) – the main component of plant essential oils; thiazolidin-4-one derivative – a complex nitrogen-containing organic compound containing a phenolic ring. Most of these compounds are characterized by antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity.

The results of the study prove that the *A. scopaeformis* plant is rich in phenolic compounds, indicating its potential use as a pharmacologically valuable plant raw material.

### References:

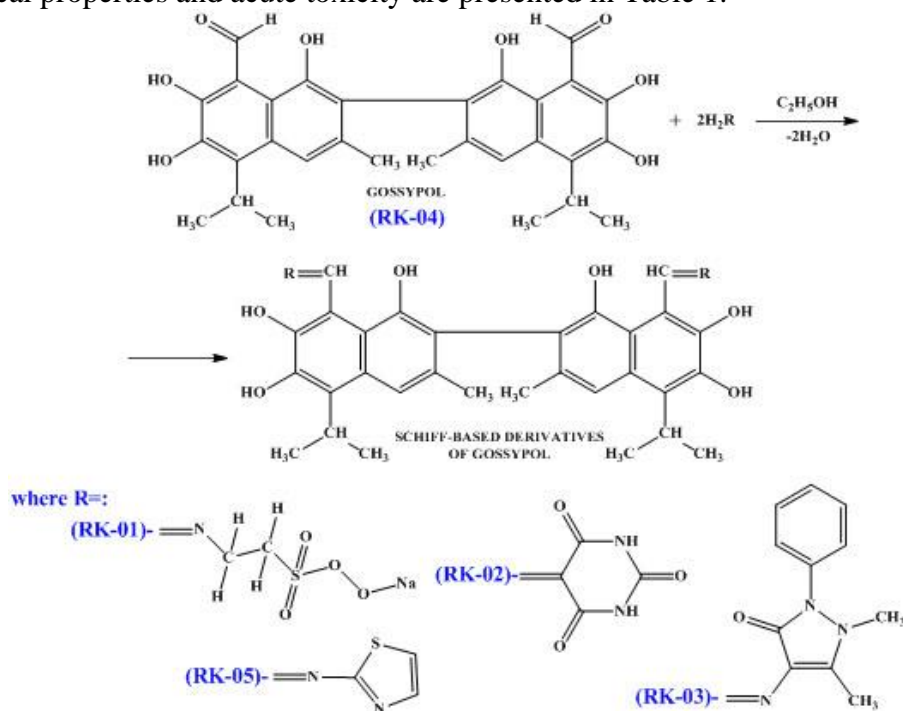
1. Hbika A., Elbouzidi A., Taibi M., et al. // Separations. – 2024. – V. 11. No 7. P. 209. <https://doi.org/10.3390/separations11070209>
2. Anibogwu R., Jesus K.D., Pradhan S., Leuven S.V., Sharma K. // Molecules. – 2024. – V. 29. No 4. P. 802. <https://doi.org/10.3390/molecules29040802>
3. Kunnathattil M., Visakh N.U., Pathrose B., Punathil T., et al. // Molecules. – 2025. – V. 30. No 16. P. 3326. <https://doi.org/10.3390/molecules30163326>
4. Zhu X., Liu X. // Biomolecules. – 2025. – V. 15. No 5. P. 736. <https://doi.org/10.3390/biom15050736>
5. Gavarić N., Aćimović M., Kladar N., et al. Pharmaceutics. 2025; 17(7):890. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17070890>
6. Rahhal B.M., Jaradat N., Hawash M., Qadi M., Issa L., Yahya A., Sanyora S., Saed M., Al-Rimawi F. // Processes. – 2022. – V.10. – No 10. P. 2050. <https://doi.org/10.3390/pr10102050>
7. Dong J., Li P., Du Y., Cao L., Yan Z. // Biology. – 2025. – V. 14. No 9. P. 1141. <https://doi.org/10.3390/biology14091141>

## SYNTHESIS AND ACUTE TOXICITY OF SCHIFF-BASED DERIVATIVES OF GOSSYPOL

**Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B.**

A.S.Sadykov Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, r\_k\_zh@bk.ru

Synthesis of gossypol derivatives was carried out according to scheme 1 below. Their physicochemical properties and acute toxicity are presented in Table 1.



Scheme 1. Synthesis of gossypol and its Schiff derivatives

Table 1. Physicochemical properties of the synthesized compounds and their acute toxicity

Compounds	UV spectrum, nm, (DMSO), $\lambda_{\text{max}}$ , (log $\epsilon$ )	Chemical Formula	Yield, %	LD <sub>50</sub> , mg/kg, mice	
RK-01	384 (4,12)	C <sub>34</sub> H <sub>38</sub> N <sub>2</sub> O <sub>14</sub> S <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>	77,00	180 (Class IV)	[1]
RK-02	440 (4,09)	C <sub>52</sub> H <sub>52</sub> N <sub>6</sub> O <sub>8</sub>	82,00	386 (Class VI)	
RK-03	490 (4,21)	C <sub>38</sub> H <sub>34</sub> N <sub>4</sub> O <sub>12</sub>	76,00	316 (Class VI)	
RK-04	366 (4,27)	C <sub>30</sub> H <sub>30</sub> O <sub>8</sub>	71,00	154 (Class IV)	
RK-05	448 (4,18)	C <sub>36</sub> H <sub>34</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	74,00	300 (Class VI)	

Gossypol and its Schiff base derivatives, as shown in the above scheme, are considered to be biologically active substances with certain specificities. In order to further study these substances in depth, their acute toxicity was analyzed. It was found that these substances belong to class IV and VI, that is, they are practically non-toxic substances (Table 1). Because many drugs have been created on the basis of gossypol and its Schiff-based derivatives. Therefore, this direction is considered promising.

Research work is ongoing.

*The authors express their gratitude to the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Institute of Bioorganic Chemistry for creating conditions for conducting scientific research and providing financial support.*

References:

Rakhmonova G.G., Baratov K.R., Vypova N.L. et al. Determination of acute toxicity of gossypol derivatives // Infection, immunity and pharmacology. 2022. No. 3. P. 200-208.



## STUDY OF WOUND HEALING EFFECT OF NEW GEL FORMS BASED ON GOSSYPOL (GAA-3)

**Rezhepov K.Zh.<sup>1</sup>, Alimbayeva Sh.B.<sup>1</sup>, Khodzhanizayov B.A.<sup>2</sup>, Makhmudov L.U.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>A.S.Sadykov Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, r\_k\_zh@bk.ru

<sup>2</sup>Karakalpak State University named after Berdakh, Karakalpakstan, Nukus city, Uzbekistan

It is known that gossypol-1,1',6,6',7,7'-hexahydroxy-5,5'-diisopropyl-3,3'-dimethyl-(2,2'-binaphthalene)-8,8'-dicarboxaldehyde (Figure 1) is a natural plant-based biologically active polyphenol compound [1-5].

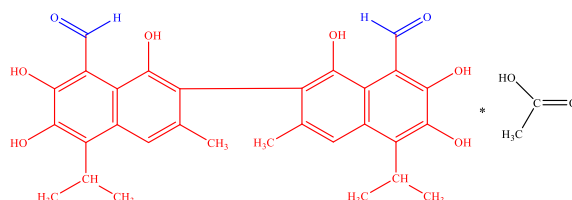


Figure 1. Chemical structural formula of gossypol acetic acid (GAA-3) ( $C_{30}H_{30}O_8 \cdot C_2H_4O_2$ )

A number of medicines have been created on the basis of gossypol [6]. As a continuation of our research, the effect of alternative anti-inflammatory effects of G-Bek-2 (0.5%) and G-Bek-1 (1%) GAA-3 gels was studied. The comparative drug is Levomekol ointment. It was found that the median lethal dose of 0.5% and 1.0% GSK-3-based gels in laboratory mice was  $LD_{50} > 2000 \text{ mg/kg}$  and belonged to class V, a chemical with almost no toxicity.

On days 3-7 of our observation, the wound characteristics of control rats remained the same. A thin brown and purple crust began to form on the surface of the wound. The crust was quite tightly attached to the bottom of the wound. It should be noted that epithelialization of the defect continued slowly in control rats. The area of the wounds corresponded to the area of the defect where the drug was initially applied. Later, the wound surface gradually began to heal. Complete wound healing occurred on the 14th day of the experiment. A complete regeneration with a wool cover was formed at the site of the skin defect.

Research work is ongoing.

*The authors express their gratitude to the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Institute of Bioorganic Chemistry for creating conditions for conducting scientific research and providing financial support.*

References:

1. Rezhepov K.Zh., Ziyaev Kh.L., Alimbayeva Sh.B. Preparation and physico-chemical characteristics of the water-soluble complex of the gossypol derivative // Chemistry of plant raw materials. 2022. No 4. Pp. 277-282. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410648>
2. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Gossipol and its derivatives: synthesis, modification and structure // Chemistry of plant raw materials. 2023. No 1. Pp. 135-143. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230110881>
3. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Complexes of water-soluble local plant polyphenol derivatives and their biological activity // Chemistry of plant raw materials. 2024. No 1. Pp. 169-176. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240112023>
4. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Chemical modification and biological activity of natural polyphenol-gossipol // Chemistry of plant raw materials. 2024. No 4. Pp. 353-360. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240413284>
5. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Water-soluble complex of gossypol: production, structure and biological activity // Chemistry of plant raw materials. 2025. No 1. Pp. 148-155. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250113505>
6. Baram N.I., Ismailov A.I., Ziyaev Kh.L., Rezhepov K.Zh. Biological Activity of Gossypol and Its Derivatives // Chemistry of Natural Compounds. 2004. Vol. 40. Pp. 199-205. <https://doi.org/10.1023/B:CONC.0000039123.09208.79>

## DERIVATIVES OF GOSSYPOL: PREPARATION AND BIOLOGICAL ACTIVITY

Rezhepov K.Zh.<sup>1</sup>, Tilyabaev Z.<sup>1</sup>, Alimbayeva Sh.B.<sup>1</sup>, Khodzhanliyazov B.A.<sup>2</sup>, Khashimova M.<sup>3</sup><sup>1</sup>A.S.Sadykov Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, r\_k\_zh@bk.ru<sup>2</sup>Karakalpak State University named after Berdakh, Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan<sup>3</sup>Institute of Zoology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent

It is known that gossypol (Figure 1) is a secondary metabolite of the natural cotton plant (*Gossypium hirsutum*). In this article, on the basis of gossypol Schiff derivatives, their water-soluble complexes known in the literature were obtained [1-5] and their activity against termites was determined for the first time.

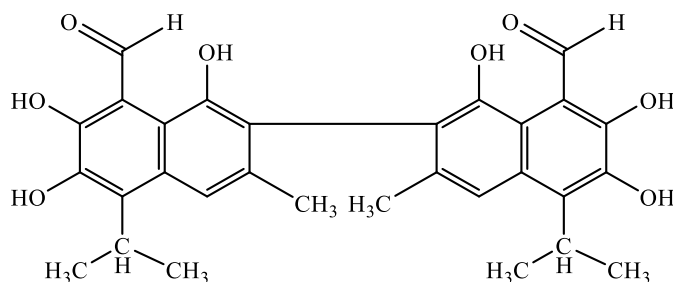


Figure 1. Chemical structural formula of gossypol

The results obtained allowed us to assume that the biological effectiveness of the compounds has a tendency to increase depending on the concentration, structure and duration of the water-soluble complexes. One of the studied water-soluble complexes showed the highest insecticidal activity. It led to the death of 87% of termites at a concentration of 0.25%, and at a concentration of 1.0% the effectiveness increased to almost 100%. Hence, it suggests the idea of continuing to synthesize new gossypol analogs, which appear among the compounds with the highest insecticidal properties against termites. Based on the above results, it can be concluded that modifications in the structure of gossypol significantly affect their effectiveness against termites.

Research work is ongoing.<sup>6</sup>

*The authors express their gratitude to the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Institute of Bioorganic Chemistry for creating conditions for conducting scientific research and providing financial support.*

## References:

1. Rezhepov K.Zh., Ziyaev Kh.L., Alimbayeva Sh.B. Preparation and physico-chemical characteristics of the water-soluble complex of the gossypol derivative // Chemistry of plant raw materials. 2022. No. 4. Pp. 277-282. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410648>
2. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Gossypol and its derivatives: synthesis, modification and structure // Chemistry of plant raw materials. 2023. No. 1. Pp. 135-143. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230110881>
3. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Complexes of water-soluble local plant polyphenol derivatives and their biological activity // Chemistry of plant raw materials. 2024. No. 1. Pp. 169-176. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240112023>
4. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Chemical modification and biological activity of natural polyphenol-gossypol // Chemistry of plant raw materials. 2024. No. 4. Pp. 353-360. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240413284>
5. Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B. Water-soluble complex of gossypol: production, structure and biological activity // Chemistry of plant raw materials. 2025. No. 1. Pp. 148-155. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250113505>
6. Baram N.I., Ismailov A.I., Ziyaev Kh.L., Rezhepov K.Zh. Biological Activity of Gossypol and Its Derivatives // Chemistry of Natural Compounds. 2004. Vol. 40. Pp. 199-205. <https://doi.org/10.1023/B:CONC.0000039123.09208.79>

## ОЦЕНКА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭКСТРАКТА РАСТЕНИЯ *ASTRAGALUS VILLOSISSIMUS* МЕТОДОМ ВЭЖХ

Агзамова М.А., Оманова У.М.

Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН Р Уз (ИХРВ АН Р Уз),  
Ташкент, agzamova\_manzura@mail.ru

*Astragalus villosissimus* Bge. (Fabaceae) - астрагал косматейший, многолетний, эфемероидный кустарник высотой до 1 м, произрастающий на гипсовых, серо-коричневых, песчаных почвах.

*A. villosissimus* произрастает в песках Каракума и Кызылкума, на бугристых, выровненных и слабо закрепленных песках, реже на песчано-гравийной и супесчаной почве, на солончаках, в каменистой пустыне и является эндемичным растением южных пустынь Центральной Азии. Для растения характерно раннее опадание листьев, отмирание молодых ветвей, стремительное цветение и быстрое созревание плодов перед жарким летом. Вегетативный рост начинается с марта по апрель. Растение *A. villosissimus* охотно поедается верблюдами и овцами.

В народной медицине различные виды астрагала применяют как сердечно-сосудистые, тонизирующие, потогонные, вяжущие, кровоостанавливающие средства, при ревматизме, кашле, болезнях почек, женских болезнях. В тибетской медицине используют при болезнях крови, опухолях, коликах, а также для лечения ран и язв.

Ранее проведенные исследования химического состава *A. villosissimus* показали, что водорастворимые полисахариды и пектиновые вещества обладают пребиотической активностью, способствуя росту бифидо- и лактобактерий. В корнях растения обнаружили и идентифицировали стероидные и терпеноидные соединения, среди которых тритерпеновый гликозид циклоартанового ряда, циклоаралозид F, в молекуле которого остаток в виде D-апиозы.

Исследования хлороформного экстракта надземной фитомассы *A. villosissimus* выявили содержание 1,5% общих липидов, состоящих из нейтральных липидов и гликолипидов (87,16%). Нейтральные и полярные липиды показаны насыщенными жирными кислотами ряда 10:0 – 26:0.

Исследования элементного состава показали наибольшее содержание Ca, K и Fe в анализируемом образце растения *A. villosissimus*. Определили аминокислотный состав белков с высоким содержанием лейцина, изолейцина и валина.

*A. villosissimus* в количестве 14 кг был заготовлен в июне месяце в Навоийской области Республики Узбекистан, в окрестностях села Кизилча. Проведена экстракция этанолом. Разделение экстракта проводили по фракциям: этилацетатом, н-бутанолом.

Впервые исследовали бутанольную фракцию экстракта *A. villosissimus* методом жидкостной хроматографии – масс-спектроскопии высокого разрешения LC-MS/MS и идентифицировали фенольные соединения. Фенольные кислоты: хининовая (0,279%), кофейная (0,034%), п-кумаровая (0,157%), салициловая (0,2%). Флавоноиды: физетин (0,048%), лютеолин (0,039%), акацетин (0,012%).

Для количественной оценки суммы и стандартных соединений использовали высокоэффективную жидкостную хроматографию модели Shimadzu-Nexera в сочетании с tandemным масс-спектрометром. Система ВЭЖХ оснащена автодозатором (SIL-30AC), термостатом колонок (СТО-10ASvp), бинарными насосами (LC-30AD) и дегазатором (DGU-20A3R). Колонки с обращенной фазой Agilent Poroshell 120 EC-C18 (150 мм × 2,1 мм, 2,7 мкм). Температура колонки 40 °С.

Фенольный состав суммы бутанольной фракции экстракта растения *A. villosissimus* не богат по разнообразию флавоноидов, но скрининг фармакологической активности выявил гипотензивный эффект.

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКСТРАКТАХ ЭНДЕМИЧНЫХ РАСТЕНИЙ АРМЕНИИ И ОЦЕНКА ИХ АНТИРАДИКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Арустамян М.М., Казарян Ш.А., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Оганесян А.А.  
ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет, Ереван, Армения  
+37496260563, shushanik.kazaryan@rau.am

Фенольные соединения растений благодаря выраженным антиоксидантным, противовоспалительным, антибактериальным, иммуномодулирующим и т.д. свойствам являются перспективными объектами для разработки фитопрепаратов и функциональных продуктов [1]. Ввиду малой изученности фенольного состава растений флоры Армении, целью данной работы было определение общего содержания фенолов (ОФС) и флавоноидов в водно-этанольных экстрактах растений *Ziziphora sp.*, *Rhynchocorys orientalis*, *Tanacetum punctatum* и *Hypericum alpestre*, а также оценка их антирадикальной активности (АРА).

Растительное сырьё было собрано в Котайкском и Тавушском марзах Армении. УЗ-экстракцию проводили с дистиллированной H<sub>2</sub>O, 25%, 50%, 70% и 96% этанола. Общее содержание фенолов (ОФС), флавоноидов (ОСФ) и АРА определяли колориметрически.

За исключением *H.alpestre*, наибольшее экстрагирование фенолов и флавоноидов происходило при использовании 50% этанола, наименьшее - 96% этанола. Максимальные показатели ОФС ( $2,54 \pm 0,24$  мкг/мл) и ОСФ ( $37,23 \pm 0,08$  мкг/мл) детектированы в 70% этанольном экстракте *H. alpestre*, минимальные — в 96% этанольном экстракте *Ziziphora sp.* ( $0,50 \pm 0,07$  мкг/мл и  $3,03 \pm 0,04$  мкг/мл соответственно). Все экстракты проявили дозозависимую АРА, при этом наибольшую активность демонстрировал 70% экстракт *H. alpestre* ( $IC_{50} = 0,24 \pm 0,02$  мг/мл), а наименьшую — 96% экстракт *T. punctatum* ( $IC_{50} = 3,50 \pm 0,09$  мг/мл). Метод ВЭЖХ подтвердил наличие рутина и кверцетина в экстрактах *H. alpestre*, причём установлена прямая корреляция между антирадикальной активностью (АРА) и содержанием кверцетина: максимальное значение АРА наблюдалось в 70 % этанольном экстракте ( $IC_{50} = 0,24 \pm 0,02$  мг/мл), минимальное — в 50 % экстракте ( $IC_{50} = 0,31 \pm 0,03$  мг/мл). В экстрактах *Ziziphora sp.* была выявлена розмариновая кислота, содержание которой также коррелировало с АРА, с наибольшим значением в 50 % этанольном экстракте ( $IC_{50} = 1,00 \pm 0,01$  мг/мл) и наименьшим в 96 % экстракте ( $IC_{50} = 1,30 \pm 0,03$  мг/мл). В 70 % и 96 % этанольных экстрактах *R. orientalis* был обнаружен рутин, при этом АРА снижалась по мере увеличения концентрации ( $IC_{50} = 1,00 \pm 0,03$  мг/мл и  $2,45 \pm 0,05$  мг/мл соответственно), что указывает на концентрационную зависимость эффекта. Таким образом, *H. alpestre* представляет собой перспективный источник биологически активных фенольных соединений с выраженными антиоксидантными свойствами, что открывает возможности для их дальнейшего изучения и использования в фитотерапии.

### References:

Ohanyan Agapi, et al. "Antioxidant and hemolytic properties of different extracts from *Prunella vulgaris* L. leaves." MBCK, 13.3 (2018): 507-510.

Исследование проведено в рамках грантовых финансирования МОНКЦ РА (10-2/25-I/RAU-BIOL, 24FP-3B0, 25RG-1F151 и 10-2/25YR-2J030).

## ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ – МОДУЛЯТОРЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕЧЕНИ КРЫС

**Балакина А.С., Тутельян В.А.**

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», г. Москва, +79645830700, balakina.a.s@yandex.ru

Регулярное употребление с рационом пищи, богатой полифенолами приводит к снижению риска развития многих неинфекционных заболеваний. В связи с этим большой интерес представляют растительные соединения полифенольной природы, обладающие выраженными антиоксидантными свойствами, способные взаимодействовать с транскрипционными факторами и активно влиять на различные звенья защитных систем организма. Кроме того имеются лишь единичные сведения о взаимодействии полифенолов при совместном поступлении в организм, при этом их сочетанные эффекты на Nrf2-регулируемые ферменты антиоксидантной защиты в условиях *in vivo* остаются практически неизученными.

В связи с вышеизложенным, целью исследования являлось изучение влияния минорных БАВ пищи полифенольной природы на активность, экспрессию генов и белков Nrf2-регулируемых ферментов в печени крыс при их раздельном и сочетанном поступлении в организм здоровых интактных животных.

Эффекты раздельного и сочетанного поступления БАВ в организм изучали у интактных крыс-самцов Вистар ( $\approx 200$  г), включая в состав рациона животных в течение 14 дней отдельно и в комбинации следующие соединения: рутин и гесперидин в дозе 400 мг/кг массы тела (м.т.); кверцетин и ресвератрол - 100 мг/кг м.т.; куркумин и кверцетин - 200 мг/кг м.т.; индол-3-карбинол и эпигаллокатехингаллат - 50 мг/кг м.т. и 200 мг/кг м.т., соответственно. Исследования на животных выполнены в соответствии со стандартными принципами надлежащей лабораторной практики и одобрены Комитетом по этике ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Для оценки антиоксидантного статуса крыс изучали активность ферментов гемоксигеназы-1 (ГО-1) и NAD(P)H-хиноноксидоредуктазы (ХР) спектрофотометрическими методами, уровень экспрессии белка этих ферментов и транскрипционного фактора Nrf2 методом Вестерн блоттинг и уровень экспрессии генов ферментов ХР (*NQO1*) и ГО-1 (*Hmox1*) и транскрипционного фактора Nrf2 (*Nrf2*) методом ПЦР-РТ.

Полученные результаты показали, что включение в рацион здоровых интактных крыс рутина вызывает достоверное возрастание в печени активности, количества белка и экспрессии гена ГО-1, а также увеличение активности и уровня белка ХР, причем при совместном введении рутина и гесперицина наблюдался аддитивный эффект на экспрессию белка ГО-1. Только совместное включение в рацион кверцетина и ресвератрола сопровождалось возрастанием активности и увеличением количества белка ХР. Важно отметить, что ресвератрол, так же как кверцетин совместно с ресвератролом, достоверно индуцируют экспрессию гена *Nrf2*. Также было обнаружено статистически значимое возрастание активности ГО-1 при совместном включении в рацион крыс куркумина и кверцетина, а так же индол-3-карбинола и эпигаллокатехин-3-галлата.

Таким образом, установлено, что БАВ пищи полифенольной природы могут оказывать стимулирующее влияние на молекулярные механизмы, лежащие в основе защитно-адаптационного потенциала организма – на активность и экспрессию генов ферментов антиоксидантной защиты: ГО-1 и ХР, как через сигнальный механизм Nrf2/Keap1/ARE так и на посттранскрипционном уровне. Обнаружено, что комбинированное действие БАВ пищи может в значительной степени модулировать их индивидуальные эффекты.

*Научно-исследовательская работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания FGMF-2025-0014.*



## **ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ МЕТИЛЖАСМОНОМ РАСТЕНИЙ *TRITICUM AESTIVUM* L. И *BRASSICA JUNCEA* L. (CZERN.) НА НАКОПЛЕНИЕ АНТОЦИАНОВ В ЛИСТЯХ В ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ ДЕЙСТВИИ КАДМИЯ**

**Батова Ю.В., Репкина Н.С., Икконен Е.Н.**

Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, batova.krc@mail.ru

Абиотические стрессы являются одной из основных причин снижения продуктивности растений и качества сельскохозяйственной продукции. Поэтому поиск способов повышения стрессоустойчивости культурных растений является важной научной задачей. Жасмонаты, включая их производную – метилжасмонат (МЖ), являются фитогормонами липидной природы, выполняющими протекторную роль в отношении многих неблагоприятных факторов внешней среды, однако их участие в процессе адаптации растений к действию тяжелых металлов (ТМ) пока слабо изучено. Полагают, что защитная роль МЖ обусловлена его влиянием на активность антиоксидантной системы растений. Антоцианы, являющиеся растительными пигментами класса флавоноидов, обладают выраженными антиоксидантными свойствами. Кроме того, антоцианы могут выступать в качестве хелатирующих агентов для металлов, что позволяет предположить их важную роль в адаптации растения к стрессу, вызванному ТМ. Целью данной работы явилась оценка содержания антоцианов в листьях *Triticum aestivum* L. и *Brassica juncea* L. (Czern.) при действии Cd, а также выявление влияния предобработки растений метилжасмонатом на этот показатель.

В качестве объектов исследования выбраны виды растений, которые различаются по стратегии адаптации к ТМ: *T. aestivum* относится к группе «исключателей», а *B. juncea* считается аккумулятором ТМ. Для проведения опытов использовали растения *T. aestivum* с. Московская, 39 и *B. juncea* с. Ника, которые выращивали в факторостатных условиях на растворе Хогланда-Арнона. В возрасте 7 и 14 дней (для *T. aestivum* и *B. juncea*, соответственно), часть растений помещали на 24 ч на раствор МЖ (10  $\mu$ M), а затем обработанные и необработанные МЖ растения переносили либо на раствор сульфата Cd (100 мкM), либо на питательный раствор без Cd при сохранении прочих условий неизменными. Анализ содержания антоцианов проводили на 1, 3 и 7-е сутки от начала действия Cd.

Опыты показали, что предобработка растений МЖ влияет на содержание в их листьях антоцианов, причем отклик растений на действие МЖ видоспецифичен. Так, в отсутствие Cd у *T. aestivum* на 3-и сут после обработки МЖ содержание антоцианов существенно снижалось, а у *B. juncea*, наоборот, увеличивалось с 1 по 3 сут от начала обработки, с последующим снижением до исходных значений на 7 сут. Независимо от предобработки МЖ действие Cd вызывало существенное увеличение содержания антоцианов у обоих видов, однако у необработанных МЖ растений *B. juncea* оно наблюдалось раньше, чем у *T. aestivum* (через 1 и 7 сут, соответственно) и было выражено сильнее (в 3.8 и 1.3 раза, соответственно). При сравнении содержания антоцианов у обработанных МЖ растений, обнаружено, что в присутствии Cd у *T. aestivum* оно было выше, а у *B. juncea*, ниже, чем у растений не прошедших предобработку. Проведенная в конце опыта оценка содержания МДА в листьях показала, что у обработанных МЖ растений обоих видов в условиях действия Cd этот показатель был существенно ниже, чем у необработанных.

В целом, можно заключить, что у растений *T. aestivum* и *B. juncea* антоцианы участвуют в адаптации к токсическому действию Cd. Предобработка МЖ оказывала существенное влияние на накопление антоцианов в листьях и способствовала смягчению окислительного стресса, вызванного избытком металла, однако конкретные механизмы протекторного действия такой обработки требуют дополнительных исследований.

*Работа выполнена в рамках государственного задания FMEN-2022-0004*

## 2-ФОСФОРИЛФЕНОЛЫ. СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**Баулин В.Е.**<sup>1,2</sup>, **Рогачёва Ю.И.**<sup>1</sup>, **Цебрикова Г.С.**<sup>2</sup>, **Лапшина М.А.**<sup>1</sup>, **Николаева Н.С.**<sup>1</sup>,  
**Иванова И.С.**<sup>3</sup>, **Пятова Е.Н.**<sup>3</sup>, **Соловьев В.П.**<sup>2</sup>, **Илюхин А.Б.**<sup>3</sup>, **Цивадзе А.Ю.**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, Институт физиологически активных веществ РАН, Черноголовка, Московской обл., mager1988@gmail.com

<sup>2</sup> Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, Москва,

<sup>3</sup> Институт общей и неорганической химии им. А. Н. Курнакова РАН, Москва

Синтез новых органических соединений, изучение их физико-химических и биологических свойств являются эффективными подходами к созданию функциональных материалов, лекарственных препаратов и средств защиты растений. 2-Фосфорилфенолы (2-PP) (рис. 1) – малоизученные аналоги салициловой кислоты ( $H_2Sal$ ), известного хелатирующего и биологически активного соединения, в которой карбонильная ( $C=O$ ) группа заменена на фосфорильную ( $P=O$ ) группу.

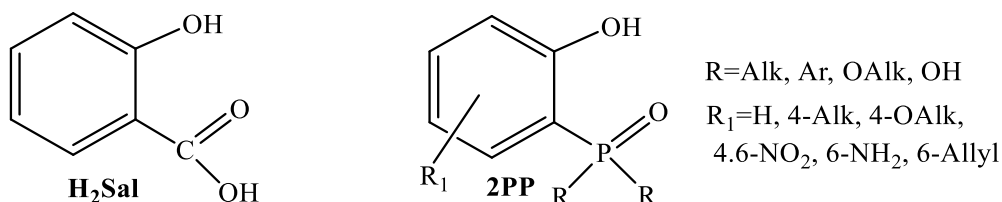


Рисунок 1. Структурные формулы ( $H_2Sal$ ) и полученных 2-фосфорилфенолов

В докладе отображены результаты синтеза ряда 2-PP, производных окисей фосфинов и фосоновых кислот, их дальнейшей модификации путем введения различных функциональных групп. Представлены основные закономерности, связывающие структуру синтезированных 2-PP, протофильные свойства, устойчивость их координационных соединений с биоактивными катионами  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  в воде. Изучена цитотоксичность, накопление в опухолевых и здоровых клетках, способность влиять на процессы, связанные с окислительным стрессом. Обсуждаются перспективы использования полученных соединений в качестве компонентов новых материалов и биологически активных веществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-13-00109).

## АНТИКОАГУЛЯНТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

**Бахтиярова А.Х.<sup>1</sup>, Дышлюк Л.С.<sup>1</sup>, Мурашко Е.А.<sup>2</sup>, Силюнская С.А.<sup>3</sup>, Орлова А.А.<sup>3</sup>,  
Фролов А.А.<sup>1,3</sup>, Бабич О.О.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», Калининград,  
bakhtiarova.allina@yandex.ru

<sup>2</sup>Кафедра математики и естественнонаучных дисциплин лечебного факультета Института  
медицинского образования им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург,

<sup>3</sup>Лаборатория Аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений  
им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

Вторичные метаболиты растений с выраженными антикоагулянтными свойствами являются перспективными активными компонентами для создания новых фармацевтических субстанций и нутрицевтиков. Фенольные соединения представляют собой одну из ключевых групп растительных метаболитов, обладающих широким спектром биологических свойств. В частности, для них показана антиоксидантная, противовоспалительная, нейропротекторная и геропротекторная активности. В то же время некоторые биологические свойства экстрактов растений остаются в недостаточной степени охарактеризованными в контексте соединений, непосредственно вовлеченных в их проявление. Одним из таких свойств является противосвертывающая (антикоагулянтная) активность.

Потому, в данном исследовании нами рассматривается ряд лекарственных растений, для которых такая активность известна, с целью выявления конкретных соединений, обладающих этими свойствами: *Teucrium chamaedrys* L., *Delphinium consolida* L., *Thymus serpyllum* L., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Hedera helix* L., *Verbascum thapsus* L., *Tribulus terrestris* L., *Astragalus membranaceus* L., *Tanacetum vulgare* L., *Pinus sylvestris* L. Несмотря на широкое распространение этих растений, с точки зрения антикоагулянтных свойств, а также взаимосвязи биоактивности и структуры компонентов оно изучено недостаточно.

Соединения фенольной природы, лежащие в основе вторичного метаболома объектов исследования, представляются наиболее вероятными кандидатами. В ходе работы проводилось исследование антикоагулянтной активности метанольных извлечений *in vitro* клоттинговым методом, а также исследование состава экстрактов и фракций при помощи обращеннофазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией высокого разрешения (ОФ-ВЭЖХ-ВР-МС).

По результатам скрининга метанольные экстракты растений показали увеличение времени образования сгустка в тестах АЧТВ (активированное частичное тромбопластиновое время), ТВ (тромбиновое время) и ПВ (протромбиновое время), что подтверждает перспективы дальнейших исследований нацеленных на поиск растительных антикоагулянтов и разработку стратегии их эффективного применения в терапии тромботических расстройств.



## ПРИМЕНЕНИЕ ЛИГНОГУМИНОВОГО РАСТВОРА ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ ШЕЛУХИ ОВСА В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРА

Бацин Н.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск nikita.batsin@yandex.ru

<sup>2</sup>Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), г. Бийск

Биостимуляторы роста растений являются перспективным средством для повышения продуктивности сельскохозяйственных растений в условиях действия абиотических стрессов и сокращения пригодных земель [1].

На базе ИПХЭТ СО РАН ведется разработка природных биостимуляторов на основе недревесного целлюлозосодержащего сырья.

Объектом исследования являлся раствор, полученный в результате проведения азотнокислой обработки шелухи овса для последующего выделения целлюлозы. Обработку вели 4 % раствором  $\text{HNO}_3$  при температуре 95–97 °С в течении 7 ч при модуле 1:20. В результате происходит гумификация лигнина и образуется комплексный раствор, содержащий лигногуминовые соединения.

Оценку ростстимулирующих свойств проводили на примере овса посевного (*Avenasativa.*). Ростстимулирующая активность раствора и его влияние на морфометрические характеристики семян исследованы при степенях разбавления  $10^{-1}$ –  $10^{-5}$  (Р10-1). В качестве контроля использована дистиллированная вода. Семена выдерживали в растворах в течение 2 ч и проводили посадку рулонным методом, согласно ГОСТ 12038–84. Опыты проведены в 4-кратной повторности и обработаны статистически.

Полученные в ходе проведения эксперимента результаты оценки ростстимулирующей активности и морфометрических показателей семян овса посевного представлены на рис. 1.

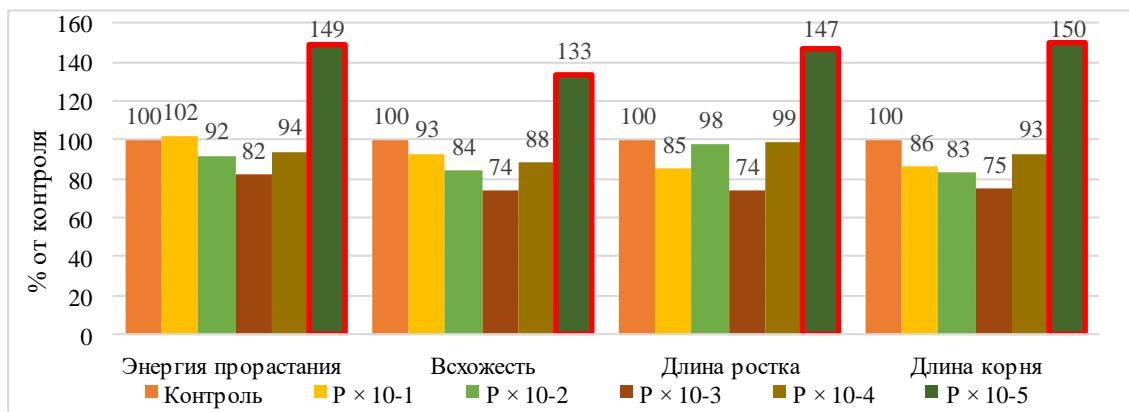


Рисунок 1. Результаты исследования

Семена овса после обработки исследуемым раствором показали рост энергии прорастания и всхожести на 33 и 49% при разведении в 100.000 раз, а также увеличение длины ростка и корня на 47 и 50 % в аналогичном разведении.

Литература:

Медведев, Н. А., Синергетический эффект комбинированного применения эндофитных бактерий и гуминовых биостимуляторов на продуктивность ярового ячменя// Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025.№1. С. 42-48.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках госзадания ИПХЭТ СО РАН (код научной темы FUFЕ-2024-0008, регистрационный номер 124021200031-4).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОЖЖЕЙ *S. CEREVISIAE* ДЛЯ СКРИНИНГА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСВЕРАТРОЛА)**

**Бейбалаева А.К., Абакарова А.А., Гасанов Р.З., Аливердиева Д.А.**

ФГБУН Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, +7-988-644-21-49, aina.beibalaeva@mail.ru

Ресвератрол – полифенольное соединение (стильбеноид, фитоалексин), обнаруженное во многих природных источниках в виде транс- и цис-изомеров. Ресвератрол обладает широким спектром биологических свойств, среди которых можно выделить антиоксидантные, противогрибковые, антибактериальные, противовирусные и др. [1]. Показано, что ресвератрол влияет на различные клеточные мишени, оказывая плеiotропное влияние на физиологические и биохимические показатели клеток [2]. Однако ряд ограничений и проблем, связанных с использованием ресвератрола, требуют разработки новых экспериментальных подходов для изучения механизма его действия. Дрожжи *S. cerevisiae* признаны удобной экспериментальной моделью исследования биологии клеток эукариот благодаря хорошей изученности генома, протеома, малым размерам, высокой скорости роста, содержанию многочисленных белков-ортологов человека [3]. В наших исследованиях использовали стандартный лабораторный штамм *S. cerevisiae* S288с. Были подобраны условия (температура, концентрации этанола, ДМСО и др.), при которых достигалась максимальная растворимость ресвератрола (при сохранении его активности) в питательных средах выращивания дрожжевой культуры. Показано, что в присутствии 1000 мкМ ресвератрола в составе агаризованных сред выращивания дрожжей, содержащих разную концентрацию глюкозы (от 0,1 до 10 %), размеры гигантских колоний были меньше, чем в контроле, несколько отличалась и форма колоний. Наиболее выраженные отличия наблюдали в средах с пониженной концентрацией глюкозы (0,1%). Ресвератрол в концентрации 10 мкМ практически не влиял, а при увеличении концентрации до 1000 мкМ снижал жизнеспособность клеток во всех вариантах опытов. В средах, содержащих от 2 до 10 % глюкозы, ресвератрол во всех использованных концентрациях (от 10 до 1000 мкМ) не влиял на динамику роста дрожжей при 28°C. В среде культивирования, содержащей 0,1% глюкозу, ресвератрол в концентрациях 50 и 500 мкМ не оказывал влияния на динамику роста дрожжей, а увеличение концентрации ресвератрола до 1000 мкМ приводило к существенному (в два раза) снижению скорости роста клеточной культуры. Представляет интерес изучение действия ресвератрола на параметры энергетического обмена клеток дрожжей.

### Литература

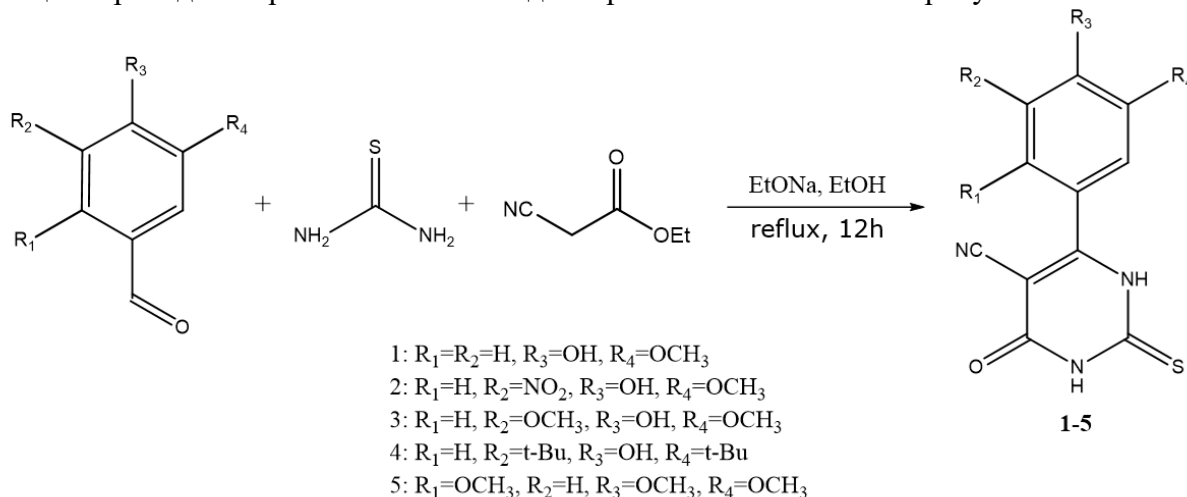
1. Radeva L., Yoncheva K. Resveratrol - a promising therapeutic agent with problematic properties. // *Pharmaceutics*. 2025;17(1):134).
2. Ren Z.Q., Zheng S.Y., Sun Z., Luo Y., Wang Y.T., Yi P., Li Y.S., Huang C., Xiao W.F. Resveratrol: molecular mechanisms, health benefits, and potential adverse effects. // *MedComm* (2020). 2025 Jun 11;6(6).
3. Vanderwaeren L., Dok R., Voordeckers K., Nuyts S., Verstrepen K. J. *Saccharomyces cerevisiae* as a model system for eukaryotic cell biology, from cell cycle control to DNA damage response. // *Int J Mol Sci* . 2022; 23(19):11665.

## СИНТЕЗ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ 2-ТИОКСО-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОПИРИМИДИН-5-КАРБОНИТРИЛОВ С ФЕНОЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ

Снастина О.В., Богомолов М.А., Кошелев В.Н.

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, факультет химической технологии и экологии, Москва, erikser@yandex.ru

Производные тиюрацила являются перспективными гетероциклическими обладают широким спектром биологической активности и могут быть использованы в качестве лекарственных препаратов, обладающих противовирусными, противопухолевыми [1] и противомикробными свойствами [2]. При введении в данные соединения фенольных фрагментов можно получить производные, обладающие также антиокислительной активностью, поскольку фенольные фрагменты являются акцепторами свободных радикалов. В данной работе были синтезированы новые производные тиюрацила – 6-арил-4-оксо-2-тиоксо-1,2,3,4-тетрагидропиримидин-5-карбонитрилы с фрагментами фенола. Для этого проводили трехкомпонентную конденсацию альдегида, содержащего фенольный фрагмент (ванилина, его нитро и метоксизамещенных производных, 4-гидрокси-3,5-ди-трет-бутилбензальдегида и 2,4,5-триметоксибензальдегида) этилцианоацетата и тиомочевины. Реакцию проводили при кипячении исходных реагентов в этаноле в присутствии основания.



Было установлено, что реакция протекает в присутствии этилата натрия; при использовании карбоната калия в качестве основания получить целевые продукты не удалось. Выходы веществ составили 60-67 %, структура была доказана методами ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C спектроскопии, ИК-спектроскопии. Полученные соединения проявляют высокую антиокислительную активность, в том числе способность взаимодействовать с катион-радикалом ABTS, железовосстанавливающие свойства, определенные по методу PFRAP, а также способность ингибировать ААНР индуцированное окисление ДНК.

### Литература

1. Hussein, T., & Ahamad, M. (2021). Synthesis of C-glycoside analogs containing thiouracil derivatives and evaluated as antibacterial, antifungal and antioxidant activities. *Eurasian Chemical Communications*, 3, 584-589.
2. Cui, P. L., Zhang, D., Guo, X. M., Ji, S. J., & Jiang, Q. M. (2021). Synthesis, antibacterial activities and molecular docking study of thiouracil derivatives containing oxadiazole moiety. *Synthetic Communications*, 51(11), 1754-1762.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ АЛКИЛРЕЗОРЦИНОЛОВ В ЗЕРНЕ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С РАЗНОЙ ОКРАСКОЙ ЗЕРНА**

**Валиева А.И., Акулов А.Н., Румянцева Н.И.**

ФГБУН Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, +7(843) 2319042, cell-culture@yandex.ru

Алкилрезорцинолы (АР) – малоизученная группа фенольных соединений (ФС), обнаруженная во внешних оболочках зерна пшеницы, ржи, ячменя. АР представляют собой фенололипиды, образованные алкильной цепью и фенольным кольцом с двумя гидроксильными группами (1,3-дигидрокси-5-*n*-алкилбензол). В растениях АР предположительно играют защитную роль, проявляя антибактериальную, фунгицидную и антиоксидантную активности. Известно, что сорта пшеницы с окрашенным зерном характеризуются повышенным общим содержанием ФС и содержат большее разнообразие ФС по сравнению с белозерными сортами: в перикарпии фиолетовозерных сортов и в алейроновом слое голубозерных сортов присутствуют антоцианы, в семенной оболочке красозерных сортов – проантоцианидины. Содержание и состав АР в сортах с разной окраской зерна не изучены, однако это может быть важным как при отборе сортов пшеницы для функционального питания, так и для изучения функций АР в зерне пшеницы.

Нами проведен сравнительный анализ содержания АР в зерне мягкой яровой пшеницы с разной окраской зерна: белозерных (сорта *Agriño*, *Хазинэ*, *Экада*), красозерных (сорта *Йолдыз*, *Архат*, *Ситара*), фиолетовозерных (сорт *Надира* и линия *Кк-193-08-1*) и голубозерных (сорт *Blue A*, линия *UC 70659*) разновидностей, выращенных в 2023 г на полях селекционного севооборота Татарского НИИСХ (55.63 с.ш., 49.31 в.д.). Содержание АР определяли спектрофотометрически с помощью диазониевой соли *Fast Blue RR*, состав АР – с помощью ВЭЖХ, антирадикальную активность – с помощью DPPH на ТСХ-пластине. Наибольшее содержание АР было обнаружено в фиолетовозерном сорте *Надира* и красозерном сорте *Ситара* (196.7 и 196.3 мкг-экв. орсинола/г сухого веса, соответственно), меньше всего АР содержали белозерные сорта (123.9-133.8 мкг-экв. орсинола/г сухого веса). Фиолетовозерная линия *Кк-193-08-1* и голубозерные сорта были сравнимы по содержанию АР с красозерными сортами *Йолдыз* и *Архат*, они содержали АР в диапазоне от 155.9 до 174.5 мкг-экв. орсинола/г сухого веса. Антирадикальная активность АР также была выше в сортах с окрашенным зерном. ВЭЖХ анализ выявил наличие 5 пиков, соответствующих АР, из них два были доминирующими. Интенсивность пиков была наименьшей в сорте *Agriño*, содержание и соотношение пиков также варьировало у разных сортов. Таким образом, содержание и состав АР могут варьировать в зависимости от генотипа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки) в рамках государственных заданий, выполняемых КИББ ФИЦ КазНЦ РАН

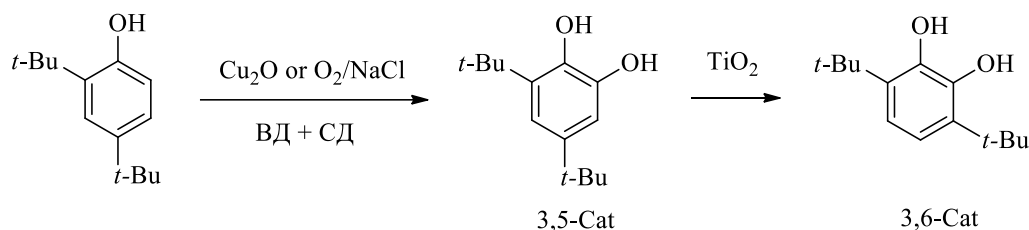
## ТВЕРДОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ 3,6-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛПИРОКАТЕХИНА

**Вольева В.Б., Жорин В.А.\*, Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В.**

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
violetta.voleva@gmail.com

\*ФГБУН ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

3,6-Ди-трет-бутилпирокатехин (3,6-Cat) – родоначальный член двухэлектронной триады 3,6-Cat – 3,6-семихинон (3,6-SQ) – 3,6 – хинон (3,6-Q), широко используемой в фундаментальных исследованиях благодаря способности членов триады образовывать аддукты с активными частицами-радикалами, карбенами, атомами – с образованием более стабильных и легко регистрируемых и спектрально идентифицируемых соединений. Впервые 3,6-Cat синтезирован алкилированием пирокатехина (Cat) изобутиленом при высокой температуре и давлении в качающемся автоклаве с использованием орто-ориентирующего катализатора – специально синтезируемого бис-катехата титана. Процесс селективный, однако для выделения 3,6-Cat из алкилата необходимо высоковакуумное фракционирование. В целом, процесс трудоемкий, сопровождающийся образованием значительного количества смолообразных отходов. В настоящее время разработан удобный для лабораторных исследований твердофазный синтез 3,6-Cat на основе коммерчески доступных 2,4-ди-трет-бутилфенола (2,4-ДТБФ) и  $\text{TiO}_2$  в условиях высокого давления и сдвиговых деформаций (ВД + СД) на наковальнях Бриджмена. Первой стадией процесса является орто-гидроксилирование в условиях ВД + СД 2,4-ДТБФ  $\text{Cu}_2\text{O}$  или  $\text{O}_2$ , адсорбированного в среде NaCl, с образованием 3,5-Cat, который далее превращается в 3,6-Cat в результате изомеризации при использовании  $\text{TiO}_2$  как координирующего катализатора:



### Литература:

Вольева В.Б., Жорин В.А., Комиссарова Н.Л., Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В., Курковская Л.Н. Твердофазное орто-гидроксилирование 2,4-ди-трет-бутилфенола и его производных // ЖОрХ. 2020, 56 (2), 315-318.

## БИОГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ЗООГЛЕИ С ЭКСТРАКТАМИ ЗЕЛЕННОГО ЧАЯ

**Воронина М.С., Игнатова Д.Ф., Рамазанов Р.Б.\***

ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет

\*ООО «ФЕРМЕНТУМЛАБ» Тольятти, 8-999-170-75-47 marianna419@rambler.ru

Ферментированные напитки выделяются среди функциональных продуктов благодаря уникальной особенности - естественному процессу ферментации, результатом которого являются ценные для организма метаболиты. С ростом популярности здорового питания ферментированные напитки всё больше привлекают внимание диетологов и нутрициологов.

Для исследования была разработана опытная партия комбучи, приготовленная на основе зеленого чая с добавлением сахарозы (60 г/л) и смородины.

Полученную экспериментальным методом комбучу проанализировали на ряд физико-химических показателей. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

### Результаты физико-химических показателей

Объект / внешний вид напитка	Органолептические показатели
	Внешний вид - Непрозрачная пенящаяся жидкость
	Цвет – от светло-розового до розового
	Вкус и аромат - Освежающий вкус и аромат сброженного напитка, соответствующий вкусу и аромату используемого сырья
	Сухие вещества, %
	2.5
	Полифенольные соединения мг/мл экстракта в пересчете на галловую кислоту
	1083
	Флавоноиды мг/мл экстракта в пересчете на рутин
	2.6

Результаты исследования подтверждают, что комбуча характеризуется кислой средой, что определяет ее вкусовые свойства и полезные качества.

В ходе дегустации установлено, что напиток обладает сбалансированным кисло-сладким вкусом с выраженной терпкостью и освежающим послевкусием. Аромат варьируется от легкой смородины до насыщенного чайного. Цвет варьируется от светло-розового до розового. Консистенция напитка жидкая, возможен естественный осадок.

Комбуча представляет собой комплексный ферментированный напиток. Ее физико-химические и органолептические характеристики зависят от исходного сырья и условий ферментации. Дальнейшие исследования направлены на изучение влияния различных факторов на состав и свойства комбучи, а также на оценку ее функциональных эффектов на организм человека. Наличие в ферментированном напитке на основе зооглеи полифенольных соединений подтверждает его биогенный потенциал, благодаря их биологически активным свойствам, которые связаны с антиоксидантной активностью, противовоспалительными и другими функциями, что способствует поддержанию здоровья человека.



## **ДОЗОВЫЕ ЭФФЕКТЫ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ РЕСВЕРАТРОЛА И ТНКЖ-ТИО: ПУТЬ К ОПТИМИЗАЦИИ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ**

**Герасимов Н.Ю., Неврова О.В., Жигачева И.В., Голощапов А.Н.**

Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН, Москва

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

[n.yu.gerasimov@gmail.com](mailto:n.yu.gerasimov@gmail.com)

С целью исследования антиоксидантного стресса у растений, а также понимания путей антиоксидантно-прооксидантного действия фенольных соединений, проведено исследование взаимодействия антиоксидантов – растительного полифенола ресвератрола и донора оксида азота серанитрозильного комплекса железа с тиосульфатом  $\text{Na}_2[\text{Fe}_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2(\text{NO})_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (ТНКЖ-тио), и их совместного действия на митохондрии эпикотилей проростков гороха. Окисление липидов, вызванное накоплением активных форм кислорода (АФК) приводит к разрушению липидов, вызывая патологические нарушения в мембранах. Процесс здоровой работы клетки зависит от баланса между образованием АФК и поддержанием их на относительно низком уровне. В присутствии антиоксидантов через регуляцию скорости пероксидного окисления липидов мембранами может достигаться нормальный гомеостаз клетки. Однако в зависимости от условий антиоксиданты могут проявлять как антиоксидантный, так и прооксидантный эффект. За счет окислительно-восстановительной способности антиоксидантов могут накапливаться свободнорадикальные частиц, токсичных в больших количествах. Предполагается, что совместное действие антиоксидантов будет выключать реактивность радикальных антиоксидантных частиц, образованных в результате нейтрализации АФК.

Было показано, что действие ТНКЖ-тио в большой концентрации ( $10^{-4}$  М) приводило к нарушению структурного состояния мембран митохондрий, выделенных из эпикотилей проростков гороха, что проявлялось в резком уменьшении микровязкости липидной фазы, до состояния характерного при патологиях. Микровязкость липидного бислоя мембран определяли методом ЭПР спиновых зондов. В качестве зондов использовали стабильные нитроксильные радикалы 2,2,6,6-тетраметил-4-каприлоилоксилпиперидин-1-оксил и 5,6-бензо-2,2,6,6-тетраметил-1,2,3,4-тетрагидро-γ-карболин-3-оксил. Антиоксидантная активность ресвератрола в дозе  $10^{-6}$  М частично компенсировала токсическое действие ТНКЖ-тио в большой концентрации. Следовательно, в этом случае токсическое действие вероятнее всего связано с проявлением прооксидантных свойств высоких концентраций NO, высвобождаемых из ТНКЖ-тио.

Воздействие ресвератрола в дозах  $10^{-6}$  М и  $10^{-8}$  М на мембраны митохондрий, выделенных из эпикотилей проростков гороха, обработанных  $10^{-8}$  М ТНКЖ-тио, приводило к нарушению связей в системе регуляции ПОЛ мембран, что проявлялось в однонаправленном уменьшении микровязкости липидной и приелковской фазы, т.е. присутствие ресвератрола в данном случае вызывало антиоксидантный стресс. Действие ресвератрола в дозе  $2 \cdot 10^{-5}$  М носило, по-видимому, двойственный характер. Антиоксидантный и прооксидантный эффекты гасили друг друга, в результате чего данная доза полифенола практически не повлияла на структурное состояние мембран митохондрий.

## НЕТАРГЕТНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИОННЫХ ПУТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НАРИНГЕНИНА

Гоман В.Ф., Оличева В.В., Ильясов И.Р.

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва,  
goman\_v\_f@student.sechenov.ru

Исследование антиоксидантной способности флавоноидов актуально в связи с активным применением их в качестве лекарственных средств и биологически активных добавок к пище. Особенно интересен нарингенин, который при кинетическом исследовании [1] его антиоксидантной ёмкости показывает уникальную картину с увеличением концентрации радикал-катионов  $ABTS^{•+}$  с последующим выходом на плато и повторным их накоплением, в отличие от дигидрокверцетина [2].

В связи с этим при помощи масс-спектрометрии высокого разрешения посредством прямого ввода были изучены пробы реакционной смеси нарингенина с радикал-катионами  $ABTS^{•+}$  на разных этапах протекания реакции [3]. Полученные данные были программно обработаны: были построены кинетические кривые веществ в реакционной смеси, рассчитаны параметры для отбора значимых для реакции данных. После проведённых операций было получено 22 значения  $m/z$ , требующих интерпретации.

В результате интерпретации были получены структуры, относящиеся к 3 основным направлениям протекания реакции: 1) конденсация нарингенина с одной, двумя и полутора молекулами  $ABTS^{•+}$ ; 2) окисление кольца В нарингенина до орто-дифенола, затем до орто-хинона с последующим образованием аддукта с одной или двумя молекулами воды и конденсацией с молекулой  $ABTS^{•+}$ ; 3) производные  $ABTS^{•+}$ , такие как аддукты с натрием, димеры, фрагменты.

Исходя из полученных кинетических кривых выделенных значений  $m/z$ , можно предположить, что основными продуктами реакции окисления нарингенина в смеси с радикал-катионами  $ABTS^{•+}$  являются аддукты  $ABTS^{•+}$  с окисленным производным нарингенина ( $m/z = 407,0195$ ) и прямой аддукт полутора молекул  $ABTS^{•+}$  с нарингенином ( $m/z = 525,5213$ ).

Литература:

1. G. Galati, M. Y. Moridani, T. S. Chan, и P. J. O'Brien, «Peroxidative metabolism of apigenin and naringenin versus luteolin and quercetin: glutathione oxidation and conjugation», *Free Radical Biology and Medicine*, т. 30, вып. 4, сс. 370–382, фев. 2001, doi: 10.1016/S0891-5849(00)00481-0.
2. И. Р. Ильясов, «Исследование антирадикальной активности композиции на базе диквертина», кандидат фармацевтических наук, Москва, 2009. Просмотрено: 20 сентябрь 2025 г. [Онлайн]. Доступно на: <https://dissercat.com/content/issledovanie-antiradikalnoi-aktivnosti-kompozitsii-na-baze-dikvertina>
3. I. Ilyasov, V. Beloborodov, и I. Selivanova, «Three  $ABTS^{•+}$  radical cation-based approaches for the evaluation of antioxidant activity: fast- and slow-reacting antioxidant behavior», *Chemical Papers*, т. 72, фев. 2018, doi: 10.1007/s11696-018-0415-9.



## **ПРОТЕОМНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТОВ ИЗОФЛАВОНА ФОРМОНОНЕТИНА НА ПРОТЕОМ МАКРОФАГОВ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК МОНОЦИТАРНОЙ ЛЕЙКЕМИИ ТНР-1**

**Гурина А.К.<sup>1,2</sup>, Янчик Д.А.<sup>3</sup>, Цветкова Е.В.<sup>3</sup>, Мешалкина Д.А.<sup>4</sup>, Бабич О.О.<sup>5</sup>, Фролов А.А.<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup> Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва,

<sup>2</sup> Институт биоинженерии им. К.Г. Скрябина ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва,

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, 199034,

<sup>4</sup> Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург,

<sup>5</sup> НОЦ “Прикладные биотехнологии”, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград,

На протяжении многих веков люди использовали лекарственные растения для лечения различных заболеваний. На сегодняшний день известно, что большинство фармацевтически и нутрицевтически ценных свойств растений обусловлено присутствием в их тканях вторичных метаболитов – биологически активных природных соединений, вовлеченных во взаимодействие растений с окружающей средой. В настоящее время, особое внимание привлекает геропротекторное действие вторичных метаболитов и растительных препаратов на их основе, которое в значительной степени связано с антиоксидантными и противовоспалительными свойствами фенольных соединений. Формонonetин, как изофлавоноид с хорошо известным фитоэстрогенным действием, неоднократно рассматривался как перспективный противовоспалительный препарат. Формонonetин способен регулировать несколько сигнальных путей, включая подавление NF-κB и активацию Nrf2/Keap1. Однако, лишь немногие исследования посвящены общим метаболическим эффектам и детальному изучению регулируемых формонonetином метаболических и сигнальных путей. Данное исследование посвящено поиску этих путей и идентификации конкретных белков и белковых ансамблей, вовлеченных в ответ на обработку клеток культуры макрофагов формонonetином.

Для ответа на этот вопрос мы использовали полномасштабный протеомный анализ клеток линии ТНР-1 в рамках стратегии «снизу-вверх» (“*bottom-up*”). Дифференцированные макрофаги были обработаны формонonetином перед индукцией воспалительного ответа бактериальным липополисахаридом для оценки протекторного эффекта вещества. Было показано, что формонonetин оказывает выраженное влияние на макрофаги, способствуя их поляризации в направлении «противовоспалительного» M2 фенотипа. Он также подавляет активность экспрессии белков генов, регулируемых NF-κB. Кроме того, формонonetин активно участвует в процессе восстановления внеклеточного матрикса тканей, вероятно, за счет фитоэстрогенной активности. Это исследование также открывает новые перспективы для комбинированной терапии глюкокортикоидами, направленной на предотвращение воспалительных процессов. Дальнейшие исследования на уровне посттрансляционных модификаций и с использованием экспериментальных животных моделей помогут лучше понять механизмы, лежащие в основе способности формонonetина модулировать клеточный метаболизм и оценить его потенциал для применения в медицине.

## АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ *GINKGO BILOBA* L.

Дитченко Т.И., Лосев Е.Л.

Белорусский государственный университет, Минск, [ditchenko@bsu.by](mailto:ditchenko@bsu.by)

Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.) известен как богатейший источник биологически активных соединений. На основе извлечений из листьев данного растения производят широкий круг фармацевтических препаратов и биологически активных добавок к пище. Лекарственные препараты, содержащие экстракты из гинкго билоба, проявляют разнообразное фармакологическое действие: антиагрегантное, вентонизирующее, ноотропное, антигипоксическое, антиоксидантное, улучшающее микроциркуляцию, противовоспалительное, мембраностабилизирующее, капилляропротекторное. Важнейшими функциональными компонентами химического состава листьев данного растения являются флавоновые гликозиды и терпеновые лактоны [1,2]. Наряду с традиционным лекарственным сырьем источником их получения могут выступать культуры клеток и тканей гинкго билоба. Целью настоящей работы явилась сравнительная оценка антирадикальной активности экстрактов из листьев *Ginkgo biloba* L. и культуры клеток данного растения.

В качестве объектов исследования использовали каллусную культуру гинкго двулопастного, капсулы «Билобил» (КРКА, Словения), а также травяной сбор «Гинкго билоба листья» (Хорст, Россия). Каллусная культура была инициирована из эксплантов листового происхождения, изолированных из двухлетних саженцев. Поверхностную стерилизацию эксплантов производили с помощью хлорсодержащих антисептиков. Для индукции каллусогенеза использовали питательную среду по прописи Мурасиге и Скуга, дополненную 3% сахарозы, 1-3 мг/л 2,4-Д и БАП. С целью выявления оптимальной комбинации регуляторов роста было протестировано 6 вариантов питательных сред и показано, что наиболее эффективным является использование 2,0 мг/л 2,4-Д и 2,0 мг/л БАП. Первичный каллус характеризовался рыхлой консистенцией, умеренной оводненностью, имел молочную окраску. Для определения антирадикальной активности в работе получали водно-спиртовые экстракты с помощью 70% этанола, готовили серию последовательных разведений на их основе, для которых с помощью спектрофотометрического метода измеряли степень ингибирования хромоген-радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH). Для сравнительной оценки антирадикальной активности экстрактов определяли величину  $EC_{50}$ , т.е. концентрацию, при которой наблюдалось 50%-ное ингибирование радикалов DPPH.

Наиболее низкие показатели  $EC_{50}$  были выявлены для водно-спиртовых растворов, полученных на основе содержимого капсул «Билобил» – сухого, очищенного и количественно стандартизированного экстракта гинкго билоба. Водно-спиртовые извлечения из травяного сбора «Гинкго билоба листья» имели на порядок более высокие значения  $EC_{50}$ , что свидетельствует о слабо выраженной антирадикальной активности, поскольку данный продукт не является лекарственным средством и наряду с листьями гинкго в качестве дополнительного компонента содержит листья клевера лугового. Антирадикальная активность водно-спиртовых экстрактов из каллусных культур гинкго билоба имела показатели, незначительно уступающие экстрактам из капсул билобила, что позволяет сделать заключение о выраженном биосинтетическом потенциале полученной каллусной культуры в отношении вторичных метаболитов из группы флавоноидов, характеризующихся антиоксидантными свойствами.

Литература:

1. Biernacka, P. The Potential of *Ginkgo biloba* as a Source of Biologically Active Compounds – A Review of the Recent Literature and Patents / P. Biernacka, I. Adamska, K. Felisiak // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28, № 10. – P. 3993.
2. Overview and Recent Progress on the Biosynthesis and Regulation of Flavonoids in *Ginkgo biloba* L. / J. Guo [et al.] // *Int J Mol Sci*. – 2023. – Vol. 24, № 19. – P. 14604.

## РАСТИТЕЛЬНЫЕ *ОРТО*-ФТАЛАТЫ – СОСТАВ И ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ФУНКЦИИ

Еникеев А.Г.

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск,  
and56irk@mail.ru

Сложные эфиры *орто*-фталевой кислоты (фталаты) долгое время рассматривались в экологической литературе исключительно как промышленные поллютанты. В настоящее время природное происхождение этих соединений доказано результатами многочисленных исследований. В литературе приведены описания нескольких десятков соединений выделенных их живых организмов и их число постоянно растет. [1,2]. Дальнейшее развитие этого направления исследований в значительной степени тормозится отсутствием четкого разграничения природных и синтетических фталатов. Большинство соединений этой группы, за исключением наиболее простых соединений, представлены несколькими изомерами, действие которых на живые организмы может значительно отличаться. Однако, ни в одном исследовании действия фталатов на живые организмы изомерный состав соединений не учитывался, что нередко приводит к получению взаимоисключающих результатов [3,4].

Физиологические функции фталатов в растениях неизвестны. Существуют лишь отдельные предположения о возможной роли этих соединений в метаболизме растений, слабо подкрепленные экспериментальными данными. Сведения о физиологической роли фталатов в растениях имеют преимущественно косвенный характер и базируются на результатах изучения их биологической активности. Одна из наиболее вероятных функций фталатов – защита растений от негативного воздействия других организмов. Многократно описаны антибактериальное, фунгицидное и противовирусное действие фталатов [5,6]. Хорошо известно защитное действие фталатов от насекомых и других беспозвоночных [7]. Фталаты – жирорастворимые соединения, и могут взаимодействовать с клеточными мембранами, изменяя их реологические свойства [8].

Изучение фталатов как вторичных метаболитов растений, установление физиологических функций и механизмов действия предполагает поиск новых теоретических и методических решений.

Литература:

1. Roy R.N. Crit. Rev. Biotechnol. 2020. V. 40. P. 913. doi:10.1080/07388551.2020.1789838
2. Zhang H., Hua Y., Chen J., Li X., Bai X., Wang H. Journal of Environmental Science and Health. Part C. 2018. V.36. P.125. <https://doi.org/10.1080/10590501.2018.1490512>
3. Kim H. Journal of Toxicology and Environmental Health. 2016. V. 31. e2016011. <https://doi.org/10.5620/eh.t.e2016011>
4. Lee K.H., Kim J.H., Lim D.S., Kim C.H Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2000. V. 52. P. 593. <https://doi.org/10.1211/0022357001774246>
5. Rameshthangam P., Ramasamy P. Virus research. 2007. V. 126. P. 38. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2007.01.014>
6. Islam M.T., Ahn S.-Y., Cho S.M., Yun H.K. Horticulture, environment and biotechnology. 2013. V. 54. P. 338. doi 10.1007/s13580-013-0028-8
7. Paluch G., Bartholomay L., Coats J. Mosquito repellents: a review of chemical structure diversity and olfaction // Pest Management Science. 2010. V. 66. P. 925. <https://doi.org/10.1002/ps.1974>
8. Chen C.Y. Biosynthesis of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and di-n-butyl phthalate (DBP) from red alga—*Bangia atropurpurea* // Water Res. 2004. V. 38. P. 1014. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.029>

## **НАТРИЙ АНФЕН ПРЕДОТВРАЩАЕТ ДИСФУНКЦИЮ МИТОХОНДРИЙ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДЫ**

**Жигачева И.В.<sup>1</sup>, Крикунова Н.И.<sup>1</sup>, Генерозова И.П.<sup>2</sup>**

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, +7(495)9397409,  
zhigacheva@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, тел.+7(499)6785340,  
igenerezova@mail.ru

Митохондрии являются одним из основных источников активных форм кислорода (АФК), участвующих в клеточной сигнализации или при избыточной генерации приводящих к повреждению компонентов клетки. Избыточная генерация АФК сопровождается перекисным окислением липидов мембран, набуханием митохондрий, возможным выходом апоптогенных белков из межмембранного пространства этих органелл и активацией апоптоза. Можно предположить, что антиоксиданты, снижающие генерацию АФК митохондриями, будут повышать устойчивость организма к стрессовым факторам. Таким антиоксидантом, вероятно, является относящийся к классу пространственно-затрудненных фенолов натрий анфен (1-карбокси-1-(N-метиламид)-2-(3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокси-фенилпропионат натрия) (АНФ). Целью нашего исследования было изучение влияния АНФ на функциональные характеристики митохондрий этиолированных проростков гороха (*Pisum sativum* L., cv. Alpha).

Известно, что в условиях стресса увеличивается генерация АФК митохондриями. Поэтому для имитации стрессовых воздействий необходимо было найти условия, при которых возрастала бы продукция АФК митохондриями, а, следовательно, активировалось ПОЛ. Эту задачу мы решили, разработав модель «старения» (инкубация митохондрий проростков гороха в гипотонической солевой среде, содержащей 1 мМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , при комнатной температуре). «Старение» митохондрий приводило к росту генерации АФК митохондриями, что отражалось на увеличении интенсивности флуоресценции продуктов ПОЛ (оснований Шиффа) в 3 раза. Введение натрий анфена в среду инкубации митохондрий сопровождалось зависимым от дозы снижением интенсивности флуоресценции продуктов ПОЛ практически до контрольных значений. Наиболее эффективными оказались концентрации  $10^{-11}$ – $10^{-14}$ М. Возможно, в этих концентрациях препарат проявляет антистрессовые свойства, наличие которых проверяли на модели дефицита воды (ДВ).

ДВ вызывал 3-х кратное возрастание интенсивности флуоресценции продуктов ПОЛ в мембранах митохондрий проростков гороха и обработка семян гороха  $10^{-13}$ М натрий анфена предупреждала активацию ПОЛ, что свидетельствовало о наличии у препарата протекторных свойств.

Активация перекисного окисления липидов повлияла на жирнокислотный состав общей липидной фракции митохондрий. ДВ вызывал изменения в содержании  $\text{C}_{18}$  жирных кислот (ЖК). Так содержание линолевой кислоты снизилось на 11%, линоленовой кислоты на 19%. Обработка семян и проростков гороха  $10^{-13}$ М натрий анфеном предотвращала изменения в составе жирных кислот мембран митохондрий. При этом изменялись и физиологические показатели: дефицит воды тормозил рост проростков. Обработка семян гороха  $10^{-13}$ М натрий анфена предотвращала торможение роста корней и побегов в этих условиях. В этом случае корни проростков, обработанных препаратом были длиннее на 31%, по сравнению с контрольными образцами, что имеет большое адаптивное значение в условиях дефицита воды. Антистрессовые свойства препарата, возможно, определяются его влиянием на функциональное состояние митохондрий, играющих одну из основных ролей в устойчивости организма к изменяющимся условиям внешней среды.

## СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОДУКТАХ СУО – ОКИСЛЕНИЯ ЛИШАЙНИКОВ

**Заварзина А.Г., Пушкарева Е.М.\*, Беляев Н.А.\***

Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, zavarzina@mail.ru

\*Институт океанологии им. П.П.Ширшова, РАН, kate-mp@mail.ru, ratnick@mail.ru

Фенольные соединения (ФС) выполняют важную роль в различных физиологических процессах растений - фотосинтезе, дыхании, росте, адаптации к стрессовым воздействиям. Кроме того, поступая в почвы в виде метаболитов или продуктов деструкции мортмассы, ФС участвуют в формировании органического вещества почв, являясь ключевыми предшественниками гуминовых веществ (ГВ) - специфических соединений гумуса. Основным источником фенольных структур для образования ГВ считается лигнин и продукты его деструкции. Известным методом определения содержания и состава фенольных структур лигнина в природных объектах является СуО-окисление в щелочной среде с дальнейшим газохроматографическим анализом продуктов окисления. Характерными продуктами деструкции лигнина являются ванилиновые, сиреневые, пара-оксибензойные структуры (кислоты, альдегиды, кетоны), а также феруловая и паракумаровая кислоты. Эти соединения считаются биомаркерами лигнина. Низшие растения, к которым относятся лишайники, не содержат лигнин и роль их как источника ФС для гумификации (образования ГВ) малоизучена. Работы по определению состава и содержания ФС в лишайниках единичны. Мы предположили, что метод СуО-окисления является перспективным подходом для определения не только фенольных структур лигнина, но и общего содержания и состава мономерных ФС в природных объектах, в том числе лишайниках, т.к. позволяет разрушить связи ФС с клеточной стенкой и конъюгаты ФС. Цель работы состояла в адаптации методики СуО-окисления для определения широкого спектра низкомолекулярных ФС в лишайниках, а также в сравнительном анализе состава низкомолекулярных ФС в лишайниках, мхах и листовом опаде. Разработана методика совместного определения фенолов «лигнина» и фенольных кислот (всего 20 соединений) методом СуО-окисления. С помощью данной методики определены фенолы «лигнина» и фенольные кислоты - салициловая, коричная, фталевая, вератровая, 2,4-оксибензойная, протокатеховая, галловая, кофейная - в образцах растительности и почв. В лишайниках идентифицированы *n*-оксибензойные, ванилиновые, сиреневые и, в ряде видов, коричные структуры. Содержание фенолов «лигнина» ( $\Sigma$ ПВСК) в леканоровых и пельтигеровых лишайниках варьирует в широких пределах – от 0.06 до 19.9 мг/г (0.01-2.6% от  $C_{орг}$ ). В ряде видов - *Cetraria islandica*, *Alectoria ochroleuca*, *Cladonia rangiferina*, *C.stellaris*, *Peltigera polidactylon*, *P.praetextata*, выявлено преобладание ванилиновых и сиреневых структур над *n*-оксибензойными, что характерно для листовых растений. Установлено, что во мхах (сфагновых и в *Politrichum schreberi*) абсолютно преобладают *n*-оксибензойные структуры ( $\Sigma$ ПВСК 0.25-5.1,  $\Sigma$ ВСК 0.03-0.17). Содержание фенольных структур лигнина ( $\Sigma$ ВСК) в леканоровых (1.4-18 мг/г) и пельтигеровых (0.4-10.3 мг/г) лишайниках оказалось сопоставимо или существенно выше этого показателя в листовом опаде (0.8-2.7 мг/г), а в ряде видов (*C.islandica*, *C.rangiferina*, *P.polidactylon*, *P.praetextata*) составляло 7.0-18.3 мг/г, что близко к кустарничку *Empetrum nigrum* (13 мг/г). В образцах растительности идентифицированы фенольные кислоты в концентрациях 2-450 мкг/г. В сосудистых растениях – коричная и вератровая (31-55), во мхах – салициловая (10-11), коричная (8-86), фталевая (13) и вератровая (9-40), в лишайниках – салициловая (2-463), коричная (33-450), фталевая (16-192), вератровая (73-1090), протокатеховая (15-120), галловая (21-37) и кофейная (19) кислоты. Таким образом, лишайники характеризуются большим содержанием и разнообразием ФС, чем гипновые и сфагновые мхи. Физиологическая роль ФС в лишайниках и роль их в образовании органического вещества почв заслуживают дальнейшего изучения.

Работа выполнена в рамках госзадания 121040800154-8



## ВЛИЯНИЕ ФЛАВОНОИДСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСОВ *SERRATULA CUPULIFORMIS* NAKAI & KITAGAWA НА РАЗВИТИЕ КАРЦИНОМЫ ЛЕГКИХ ЛЬЮИС У МЫШЕЙ

**Зибарева Л.Н., Ан Л.А.\*, Рыбалкина О.Ю.\*, Зуева Е.П.\*, Рогова У.Р.**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

\*НИИ фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга ТНИМЦ РАН

Род *Serratula* (семейство *Asteraceae*) характеризуется наличием большого количества продуцентов экистероидов (более 21 вида) и флавоноидов (более 16 видов). Изучаемый вид *Serratula cupuliformis* Nakai & Kitagawa является богатым источником этих вторичных метаболитов. Состав химических компонентов этого вида обуславливает антимикробную, антиковидную, противогерпесную активности. В связи с этим субстанции, полученные на основе *Serratula cupuliformis* могут стать основой для разработки эффективных лекарственных препаратов. Перспективность изучения флавоноидов *Serratula cupuliformis* продемонстрирована в процессе сравнительного анализа литературных данных и изучения содержания флавоноидов в трех видах *Serratula* - *S. manschurica* Kitag., *S. gmelinii* Tausch., *S. cupuliformis* Nakai & Kitagawa. Выделение суммы флавоноидов из надземной части *S. cupuliformis* селективной экстракцией и последующее разделение на колонках с силикагелем позволило впервые выделить из видов рода *Serratula* индивидуальный мажорный флавоноид и идентифицировать методами ВЭЖХ, ЯМР и МС его структуру с 5,7,2',4'-тетрагидрокси-3-метоксифлавоном.

Целью данного исследования является изучение противоопухолевой активности нативного экстракта и селективно выделенного комплекса БАВ (бутанольная фракция).

В нативном экстракте при сопоставлении спектров поглощения (240-248 нм) и времен удерживания стандартов выявлено 27 экистероидов, общее содержание которых 12,82 %. Уровень мажорного компонента 20Е составил 73,7 % от суммы экистероидов. В сухом нативном экстракте общее содержание флавоноидов составило 80,49 %. Идентификация на основании ВЭЖХ данных и УФ-спектров показала, что в нативном экстракте присутствуют 22 флавоноида, идентифицированы кверцетин, лютеолин, апигенин и 5,7,2',4'-тетрагидрокси-3-метоксифлавоны, содержание последнего около 30 % от суммы флавоноидов. Бутанольный комплекс по составу идентичен нативному экстракту. Однако соотношение концентраций компонентов изменилось – в бутанольном комплексе увеличилось содержание экистероидов. В экспериментах на мышах-самках линии C57Bl/6 проведено исследование влияния этанольного экстракта из надземной части *S. cupuliformis* и его бутанольной фракции на развитие у мышей карциномы легких Льюис (LLC) и эффективность лечения циклофосфамидом (125 мг/кг).

Обнаружено, что курсовое применение экстракта *S. cupuliformis* на 70% этаноле в дозе 100 мг/кг на фоне лечения циклофосфамидом (ЦФ) приводило к усилению антиметастатического эффекта цитостатика: площадь метастазов в легких снизилась в 8,2 раза, а частота метастазирования снизилась до 20% против 60% в группе мышей, получавших ЦФ ( $P < 0,05$ ). Курсовое применение бутанольного комплекса из *S. cupuliformis* в дозах 50 мг/кг и 100 мг/кг у мышей на фоне лечения ЦФ привело к полному подавлению процесса диссеминации опухоли ( $P < 0,01$ ). На рост первичного опухолевого узла применение данных экстрактов как в комбинации с ЦФ, так и при их изолированном применении, не оказало влияния.

Таким образом, курсовое применение этанольного экстракта и бутанольного комплекса из *S. cupuliformis* совместно с ЦФ у мышей с карциномой лёгких Льюис. приводило к повышению эффективности цитостатического лечения за счёт ингибирования процесса метастазирования опухоли.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2024-0009.

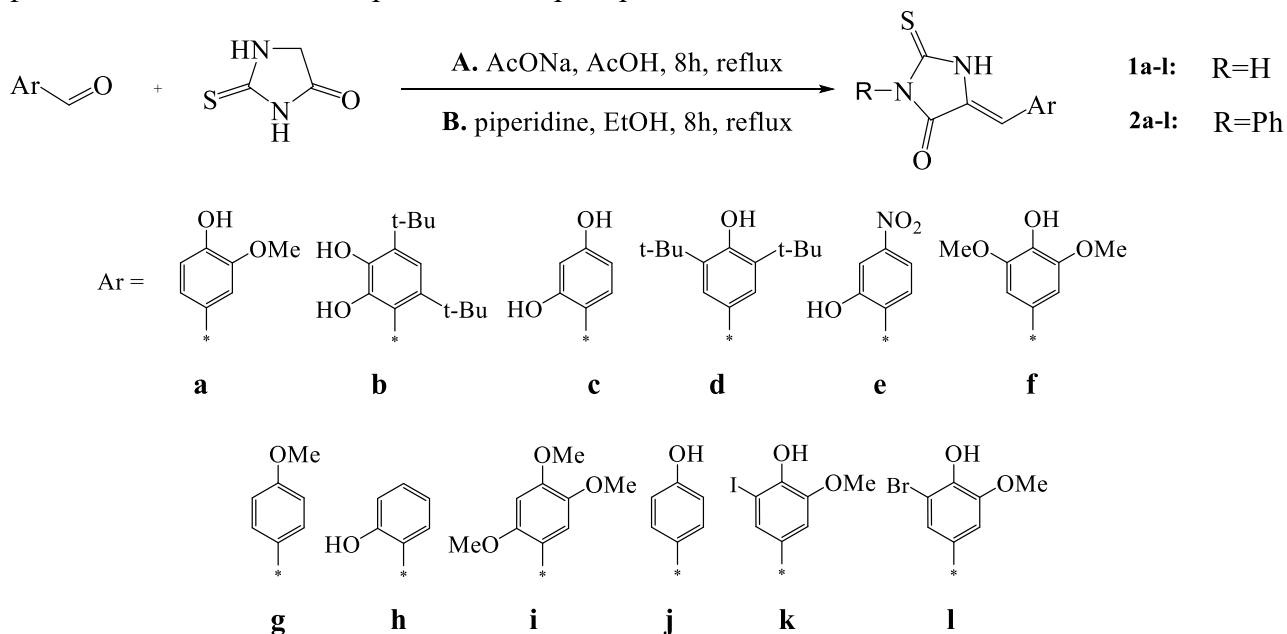
## СИНТЕЗ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ 2-ТИОГИДАНТОИНА С ФЕНОЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ

**Иманова С.С., Уколова В.А., Снастина О.В.**

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва,  
primerova92@yandex.ru

Известно, что производные тиогидантоина за счет большого биологического потенциала и фармакологической активности применяются в медицине в качестве противоопухолевых [1], противомикробных, антисептических и противоэпилептических препаратов [2]. Интерес представляет создание гибридных антиоксидантов, объединяющих в одной молекуле фрагменты фенола и гетероцикла, что может обеспечить синергизм действия и высокую совместимость с клетками живых организмов.

В данной работе проводили взаимодействие между тиогидантоином или 3-N-фенилтиогидантоином и рядом формилфенолов с использованием двух методов: по методу А в качестве основания был использован пиперидин в этаноле, по методу В – ацетат натрия в уксусной кислоте. В зависимости от выбранных условий выходы целевых соединений варьировались от 21,6 до 95,0% – для тиогидантоина, от 18,0 до 87,1% – для 3-N-фенилтиогидантоина. Ход реакции контролировали с помощью ТСХ.



Для количественной оценки антиоксидантных свойств полученных производных 2-тиогидантоина были использованы стандартные методы ABTS и PFRAP. При концентрации 25 мкмоль/л по методу ABTS наиболее эффективным среди производных 2-тиогидантоина оказалось вещество **2b**, среди производных 3-N-фенилтиогидантоина – **1l**. По методу PFRAP наиболее эффективным среди производных 2-тиогидантоина оказалось соединение **2e**, среди производных 3-N-фенилтиогидантоина – **1k**. Производные 3-N-фенилтиогидантоина обладают наиболее ярко выраженными антиокислительными свойствами.

Литература:

1. Mohamed A. Metwally, Ehab Abdel-Latif. Thiohydantoin: synthetic strategies and chemical reactions // Journal of Sulfur Chemistry. – 2012. – № 33. – P. 229-257.
2. Mezoughi A. B., Abdussalam-Mohammed W., Ali A. A. Synthesis and molecular docking studies of some thiohydantoin derivatives as potential anticancer and antimicrobial agents // Advanced Journal of Chemistry-Section A. – 2021. – № 4. – P. 327-338.

## БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ РАСПРОСТРАНЕННЫХ И КУЛЬТИВИРОВАННЫХ В ГРУЗИИ

**Кавтарадзе Н.Ш., Сагарейшвили Т.Г., Шалашвили К.Г., Сутиашвили М.Г.**  
Институт фармакохимии И. Кутателадзе, Тбилисский государственный медицинский университет, Грузия, (+99532)531494, n.kavtaradze@tsmu.edu

Особенности климатических и экологических условий Грузии обуславливает разнообразие растительности и создает благоприятную среду для культивирования разновидностей не свойственных местной флоре. Исследованием видов, полученных систематическими фармако-ботаническими экспедициями института фармакохимии с 60-ых годов прошлого века, были выявлены перспективные растения по содержанию биологически активных фенольных соединений. Значительным содержанием полифенолов выделялись представители родов *Achillea* L., *Akebia* Decne., *Alchemilla* L., *Aruncus* L., *Astragalus* L., *Aucuba*, Thunb., *Betonica* L., *Broussonetia* (L.) L'Hér. ex Vent., *Buddleja* L., *Bupleurum* L., *Campanula* L., *Capparis* L., *Centaurea* L., *Cercis* L., *Chimonanthus* Lindl., *Clinopodium* L., *Commelina* L., *Coronilla* L., *Delphinium* L., *Dictamnus* L., *Digitalis* Tourn. ex L., *Erythrostemon* (Klotzsch) E.Gagnon et G.P. Lewis, *Epilobium* L., *Euphorbia* L., *Filipendula* Mill., *Fraxinus* L., *Galega* Tourn. ex L., *Ginkgo* L., *Glycyrrhiza* L., *Hamamelis* Gronov. ex L., *Hedysarum* L., *Hibiscus* L., *Lapsana* L., *Laser* Borkh. ex P.Gaertn., B.Mey. et Scherb., *Lathyrus* L., *Leucanthemum* Mill., *Ligustrum* L., *Lonicera* L., *Melampyrum* L., *Melilotus* Mill., *Eucalyptus* L'Hér., *Onobrychis* Mill., *Ononis* L., *Oxytropis* DC., *Parrotia* C.A.Mey., *Perilla* L., *Pimpinella* L., *Pisum* L., *Prunus* L., *Pueraria* DC., *Robinia* L., *Rhododendron* L., *Rumex* L., *Salix* L., *Salvia* L., *Sambucus* L., *Satureja* L., *Scabiosa* L., *Senecio* L., *Silene* L., *Sisymbrium* L., *Smyrnium* L., *Stachys* L., *Teucrium* L., *Thymus* L., *Tilia* L., *Tragopogon* L., *Trifolium* L., *Turritis* L., *Urtica* L., *Verbascum* L., *Vitex* L., *Wisteria* Nutt. [1-3].

Растения семейств Asteraceae, Apiaceae, Brassicaceae, Asteraceae, Ericaceae, Fabaceae, Gentianaceae, Lamiaceae, Rosaceae отмечены как наиболее значимые по биосинтезу флавоноидов. Более углубленному и тщательному исследованию подверглись более 120 видов. Из них выделены и охарактеризованы 474 индивидуальных полифенольных соединений. Они являются производными фенолокислот, фенилпропаноидов, изофлавонов, флавонов, флавонолов, флаванонов, флаванололов, катехинов, лейкоантоцианидинов, антоцианов, аурунов, халконов, ксантонов, танинов, лигнанов. Из идентифицированных веществ 33 являются новыми природными соединениями [1].

Экстракты, фракции, обогащенные фенольными соединениями и выделенные индивидуальные вещества проявили разнообразные биологические эффекты: антиоксидантную, гипогликемическую, гипозотемическую, диуретическую, антимикробную, противовирусную, ранозаживляющую, регенерирующую, спазмолитическую, гонадотропинстимулирующую, ноопропную, психостимулирующую, гепатопротекторную.

Выявленные биологические активности привели к созданию ряда высокоэффективных и безопасных природных лекарственных средств.

Литература:

1. M. Alania, K. Shalashvili, T. Sagareishvili, N. Kavtaradze, M. Sutiashvili, J. Aneli. *Phenolic compounds of some plants spread and cultivated in Georgia*, 2023, Tbilisi, 334 p. [in Georgian]
2. T. Sagareishvili, K. Shalashvili, M. Alania. Preliminary investigation of some higher plants' leaves introduced in the National Botanical Garden of Georgia for the content of biologically active compounds, *Experimental and clinical medicine*, 2022, 6, 36-40.
3. K. Shalashvili, T. Sagareishvili, N. Kavtaradze, M. Sutiashvili, J. Aneli, M. Alania. Preliminary research on the content of biologically active compounds (flavonoids, triterpenoids) of some plants spread and cultivated in Georgia, *Experimental and clinical medicine*, 2022, 8, 75-84.



## ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ НА ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* РАСТЕНИЙ РОДА *HEDYSARUM*

**Кадырбаев М., Кожемякина Д.П., Никулина С.А., Бойко Е.В., Головацкая И.Ф., Зиннер Н.С.**

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, CaterinaSoloveva@gmail.com

Копеечники альпийский (*Hedysarum alpinum*) и чайный (*Hedysarum theinum*) являются ценными лекарственными растениями, отнесенными к редким и нуждающимся в охране видам. Введение в культуру данных видов, и прежде всего, *H. theinum* осложнено низкой выживаемостью растений, обусловленной их сильной зависимостью от экологических условий мест произрастания природных популяций и отсутствием плодоношения, наблюдаемого в отдельные годы. В свою очередь для *H. alpinum* отмечен ежегодный полный цикл развития. В связи с чем целью данного исследования стало введение в культуру *in vitro* и сравнение эффективности культивирования видов *H. alpinum* и *H. theinum*.

Для получения стерильного посадочного материала использовали семена копеечников (*Hedysarum* spp.), предоставленные Сибирским ботаническим садом ТГУ. Стерилизацию семян проводили стерилизующей жидкостью (3 %  $H_2O_2$  в 80 % растворе этилового спирта), длительность стерилизации составляла 10 минут, после чего семена многократно промывали дистиллированной водой и высушивали до полного удаления влаги. Стерильные семена высевали в пробирки со стерильными средами:  $\frac{1}{2}$  Мурасиге–Скуга ( $\frac{1}{2}$  MS) и модифицированную BMS-среду (макроэлементы по Гамборгу и Эвелингу, микроэлементы, витамины и органические компоненты по Мурасиге и Скугу). Наиболее эффективное прорастание семян отмечено на модифицированной BMS-среде. Однако последующее культивирование стерильных молодых растений *in vitro* сопровождалось потемнением питательной среды, отсутствием развития побега и корней. Предположительно, это обусловлено выделением из эксплантов биологически активных соединений, обладающих ингибирующим действием и подавляющих морфогенез *in vitro*. Для оценки возможных экссудатов, выделяемых клетками корня растений в питательную среду, исследовали содержание вторичных метаболитов, таких как фенольные соединения, флавоноиды, антоцианы, аскорбиновая кислота и содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений копеечника. Исследования проводили на растениях (возраст 3,5 месяца), выращенных в коммерческом грунте «Торфянная поляна» Грунт Универсальный. Содержание суммы фенольных соединений с применением раствора Фолина-Дениса. Определение суммы флавоноидов осуществляли спектрофотометрически с последующим пересчетом на рутин. Суммарное содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом в экстракте в 1% растворе соляной кислоты. Определение содержания аскорбиновой кислоты проводили спектрофотометрическим методом. Содержание фотосинтетических пигментов в спиртовом экстракте определяли по методике.

Было показано, что содержание фотосинтетических пигментов в обоих видах копеечника было сопоставимо, но содержание антоцианов и аскорбиновой кислоты в копеечнике альпийском было выше, чем в копеечнике чайном. В свою очередь общее содержание флавоноидов и фенольных соединений в копеечнике чайном было значительно выше соответственно на 45 и 40 % относительно уровня данных веществ в копеечнике альпийском. Полученные данные позволяют сделать вывод о разном накоплении биологически активных веществ в двух видах копеечника. Сложность введения в культуру копеечника чайного вероятнее всего обусловлена значительно более высоким содержанием фенольных соединений. В свою очередь высокая всхожесть копеечника альпийского и выживаемость могла быть обусловлена содержанием низкомолекулярных антиоксидантов.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

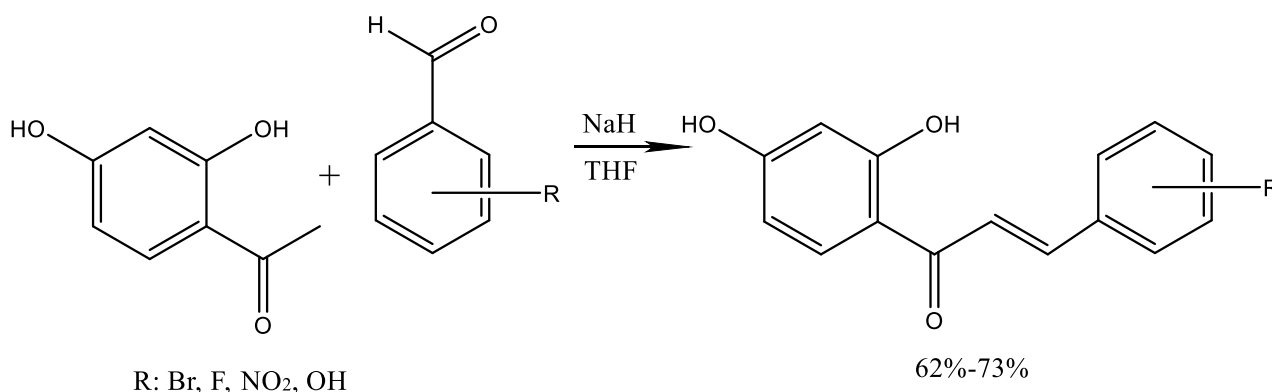
## ЭФФЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ ГИДРОСИХАЛКОНОВ – АНАЛОГОВ ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

**Кадыров И.Н., Воробьев С.В., Кошелев В.Н.**

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва,  
kadyrov.ivan05@yandex.ru

В органической химии халконы занимают важное место как класс соединений, представляющий собой  $\alpha,\beta$ -ненасыщенные кетоны с общей формулой  $\text{Ar}-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}-\text{Ar}'$ . Эти соединения являются не только ключевыми промежуточными продуктами в синтезе более сложных гетероциклических структур, но и обладают самостоятельной ценностью благодаря широкому спектру биологической активности. Актуальность исследований в области их синтеза обусловлена постоянным поиском более эффективных, селективных и экологически безопасных методов получения. Халконы, являющиеся биогенными предшественниками флавоноидов, были обнаружены в различных растениях и продемонстрировали впечатляющий спектр полезных свойств: от противовоспалительных и антиоксидантных до противоопухолевых [1]. Это сделало их синтез одной из важнейших задач для химиков, стремящихся не только воспроизвести природные аналоги, но и создать новые, более эффективные молекулы.

Наиболее распространенный метод синтеза халконов заключается в конденсации в водной щелочи [2], но в случае наличия гидроксильных групп в структуре соединения данный путь синтеза сопровождается снижением реакционной способности и побочными реакциями. С целью увеличения выхода целевой реакции нами предложены новые условия: в качестве растворителя используется тетрагидрофуран, а также более сильное основание – гидрид натрия. Нами получены соединения на основе резацетофенона и различных бензальдегидов с удовлетворительными выходами. Строение всех полученных соединений было доказано с помощью ИК- и ЯМР-спектроскопии.



### Литература

1. Rozmer Z., Perjési P. *Phytochem. Rev.* 2016, 15, 87-120.
2. Shalaby M.A., Rizk S.A., Fahim A.M. *Org. Biomol. Chem.* 2023, 21, 5317-5346

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТА И ФРАКЦИЙ ИЗ *URTICA URENS* L., СОДЕРЖАЩИЕ ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Квицинадзе М., Сухишвили Н., Кавтарадзе Н., Гетиа М.**

Институт фармакохимии И. Кутателадзе, Тбилисский государственный медицинский университет, Тбилиси, Грузия, 0159, ул. П. Сараджишвили 36, (+995 32) 53 14 94, makakvtsinadze225@gmail.com

Экстракты из крапивы жгучей – *Urtica urens* L. характеризуются разнообразными и интересными биологическими эффектами [1-4]. Фракционированием очищенного от липофильных веществ водного остатка 80% этанольного экстракта листьев *U. urens* на колонке с синтетической ионообменной смолой – Diaion-HP-20 были получены водная, 30%, 60%, 90%, и 100 % метанольные фракции. Содержание фенольных соединений во всех фракциях подтверждено характерной реакцией с хлоридом железа III. Антиоксидантную активность фракций определяли по их  $IC_{50}$  (мкг/мл) *in vitro* методами DPPH [5] и ABTS [6] в зависимости от гидрофильности исследуемых объектов. В качестве стандарта использовалась галловая кислота. Методом DPPH выявлены антиоксидантные свойства 60% и 90% метанольных фракций. Методом ABTS выявлена умеренная активность гидрофильных фракций: очищенного от липофильных соединений экстракта листьев и водной фракции ( $IC_{50}=28.55\pm0.32$  и  $55.61\pm0.16$  мкг/мл, соответственно). Наиболее выраженным антиоксидантным эффектом ( $IC_{50}=8.39\pm0.23$  мкг/мл) обладала 30% метанольная фракция.

Из 60% метанольной фракции, дающей интенсивную цианидиновую реакцию, методом ВЭЖХ выделены три индивидуальных соединения. Масс-спектрометрическим анализом одно из них идентифицировано как ( $\pm$ )-катехин.

Фракция, выделенная хроматографированием подкисленного водного экстракта стеблей *U. urens* на целлюлозе, содержащая антоциановые гликозиды, характеризуется умеренной активностью -  $IC_{50}=49.14\pm0.31$  мкг/мл. Во фракции, полученной из стеблей растения УФ и ВЭЖХ-МС анализами установлено наличие четырех антоциановых пигментов, производных петунидина, ацилированных остатками фенольных кислот.

### Литература:

1. Alaa A. Gaafar, Sami I. Ali, Omnia Kutkat, Ahmed M. Kandeil, Salwa M. El-Hallouty, Bioactive Ingredients and Anti-influenza (H5N1), Anticancer and Antioxidant Properties of *Urtica urens* L., *Jordan Journal of Biological Sciences*, 2020, vol.13, pp.647-657
2. Maaroufi L., Sazzad Hossain M., Tahri W., Landoulsi A. New insights of Nettle (*Urtica urens*): Antioxidant and antimicrobial activities, *Journal of Medicinal Plants Research*, 2017, vol. 11, 4, pp.73-86
3. Mzid M., Ghilissi Z., Salem M.B., Khedir S.B., Chaabouni K., Ayedi F., Sahnoun Z., Hakim A., Rebai T. Chemoprotective role of ethanol extract of *Urtica urens* L. against the toxicity of imidacloprid on endocrine disruption and ovarian morphometric in female rats, GC/MS analysis, *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 2018, vol. 97, pp.518–527
4. Mzid M., Khedir S.B., Baradaa S., Sahnoun Z., Rebai T. Chemical composition, phytochemical constituents, antioxidant and anti-inflammatory activities of *Urtica urens* L. leaves. *Arch. Physiol. Biochem.*, 2017, vol.123, 2, pp. 93-104.
5. Koffi Sénam Etsè, Kodjo Djidjolé Etsè, Pauline Nyssen, Ange Mouithys-Mickalad. Assessment of anti-inflammatory-like, antioxidant activities and molecular docking of three alkynyl-substituted 3-ylidene-dihydrobenzo[d]isothiazole1,1-dioxide derivatives, *Chem. Biol. Interact.*, 2021, vol. 344, 109513
6. Ilyasov I.R., Beloborodov V.L., Selivanova I.A., Terekhov R.P. ABTS/PP decolorization assay of antioxidant capacity reaction pathways. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, 3, 1131.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭКЗОГЕННОГО ГОМОКАСТАСТЕРОНА В УСЛОВИЯХ ГЕРБИЦИДНОГО СТРЕССА**

**Кем К.Р., Ламан Н.А.**

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича НАН Беларуси»,  
Минск, +375336669200, kem-666@mail.ru

Фенольные соединения играют важную роль в жизнедеятельности растений. Часто они выполняют защитную функцию, предохраняя растения от патогенных грибковых или вирусных заболеваний, проявляют антиоксидантные свойства, помогают справляться с неблагоприятными факторами. Было выдвинуто предположение, что изменение содержания данных соединений в тканях растения может являться показателем, характеризующим ответную реакцию организма на химический стресс, вызванный гербицидом глифосатом.

Целью эксперимента стало определение суммарного содержания фенольных соединений (ФС) и отдельно флавоноидов в корнях и надземной части проростков льна-долгунца сорта Грант, семена которых были инкрустированы смесями глифосата (гербицид, стрессор) и брассиностероида гомокастастерона (ГКС, стресс-протектор) в различных концентрациях.

Проведенные ранее исследования влияния смесей глифосата в ингибирующей дозе и ГКС в широком диапазоне концентраций на длину корней проростков льна-долгунца, позволили выявить на графике зависимости диапазон, в котором наблюдается наиболее выраженное протекторное действие последнего на рост корневой системы проростков. Таким образом, для проведения экспериментов были взяты три концентрации ГКС: до интервала максимального действия ГКС ( $3,0 \cdot 10^{-7} \text{М}$ ), внутри ( $3,5 \cdot 10^{-6} \text{М}$ ) и после интервала ( $2,0 \cdot 10^{-5} \text{М}$ ). Контроль-1 представлял собой вариант с обработкой семян 1%-ным раствором пленкообразователя Гисинар; контроль-2 – глифосат (ГФ) в ингибирующей концентрации –  $5,5 \cdot 10^{-4} \text{М}$ . Исследуемые варианты были следующими: 1) ГКС  $3,0 \cdot 10^{-7} \text{М}$  2) ГКС  $3,5 \cdot 10^{-6} \text{М}$  3) ГКС  $2,0 \cdot 10^{-5} \text{М}$  4) ГФ + ГКС  $3,0 \cdot 10^{-7} \text{М}$  5) ГФ + ГКС  $3,5 \cdot 10^{-6} \text{М}$  6) ГФ + ГКС  $2,0 \cdot 10^{-5} \text{М}$ . Инкрустацию проводили с расходом рабочего раствора 20 мкл на 1 грамм семян. Определение суммы фенольных соединений и флавоноидов проводили на девятидневных проростках спектрофотометрическим способом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу (для ФС) и хлорида алюминия (для флавоноидов).

При анализе полученных данных отмечено, что контроль-1 имел показатели содержания ФС 7,1 мкг/г в надземной части проростков и 6,4 мкг/г в корнях, а контроль-2 – 4,4 и 3,9 мкг/г соответственно, т.е. глифосат снижал их количество в 1,6 раза. Следовательно, этот гербицид, блокируя один из ключевых ферментов биосинтеза ароматических соединений, способен снижать их накопление в растительных тканях. Влияния инкрустации семян растворами ГКС различных концентраций (варианты 1–3) на содержание ФС не выявлено. Однако во всех вариантах с инкрустацией семян смесями ГКС и ГФ (варианты 4–6) показатели уровня ФС были статистически достоверно выше, чем у контроля-2. Лучший показатель имел вариант №5 – 6,2 мкг/г в надземной части и 5,3 мкг/г в корнях.

Что касается содержания флавоноидов, то в контроле-1 оно составило 0,59% в корнях проростков и 1,63% в надземной части; в контроле-2 – 0,31 и 0,75% соответственно. В вариантах со смесями самый высокий уровень содержания флавоноидов относительно контроля-2 отмечен при концентрации ГКС  $3,5 \cdot 10^{-6} \text{М}$  (вариант №5), также как и в случае с общей суммой ФС. Показатель имел значение 0,43% в корнях проростков льна и 1,18% в надземной части. В общей сложности, изученные ранее линейные параметры роста проростков, а также результаты новых биохимических исследований позволяют сделать вывод о том, что гомокастастерон в концентрациях, близких к  $3,5 \cdot 10^{-6} \text{М}$ , проявляет наиболее высокую адаптогенную активность в условиях стресса.

## СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ЗЕЛЕНОМ И БЕЛОМ ЧАЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ХРАНЕНИЯ

**Климова Е.В., Платонова Н.Б.**

ФГБУН ФИЦ Субтропический научный центр РАН, Сочи, kittiklema@yandex.ru

Комплекс фенольных соединений в готовом чае играет ключевую роль в формировании его биохимических характеристик, в частности, определяя антиоксидантную активность продукции. Учитывая подверженность готовой продукции окислительной деградации, оценка полифенольного комплекса является важным параметром для прогнозирования сохранности и функциональных свойств чая при его хранении в различных условиях.

Исследована динамика содержания общих полифенолов в образцах зеленого и белого чая в зависимости от режима хранения: классического (крафт-пакеты, влажность воздуха не более 65%) и вакуумного. Переработка сырья и аналитические измерения выполнялись в лаборатории биосинтетических процессов преобразования растительного сырья ФИЦ СЦ РАН. Определение общих полифенолов проводили спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу в качестве реагента. Количественный анализ проведен до и после годичного эксперимента. Результаты представлены на рисунке 1.

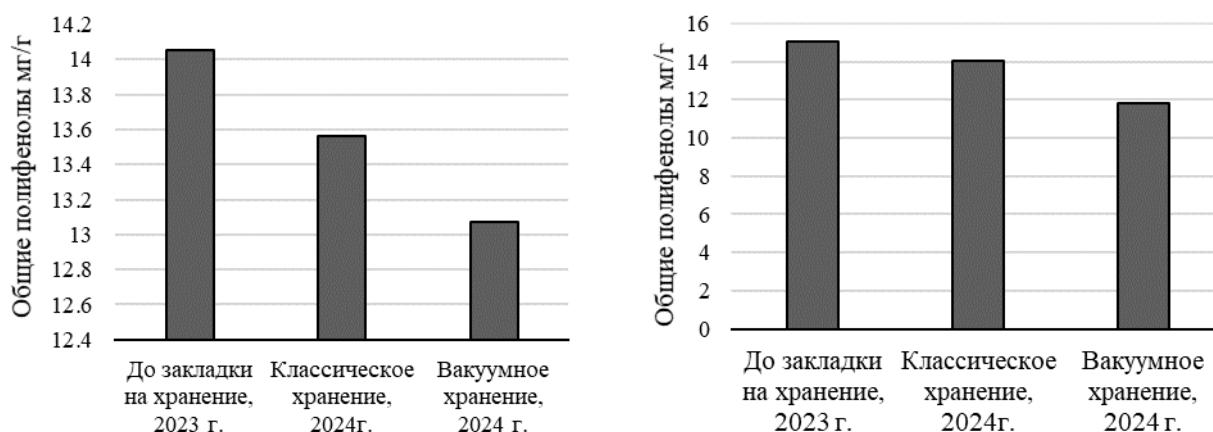


Рисунок 1. – Содержание общих полифенолов в готовых чаях, 2023-2024 гг.

Сравнительный анализ выявил снижение содержания общих полифенолов во всех образцах чая независимо от режима хранения. Исходные показатели до закладки составили: белый чай – 14,05 мг/г, зеленый чай – 15,05 мг/г. После годичного хранения значения снизились: при классическом хранении (крафт-пакеты, влажность  $\leq 65\%$ ): до 13,56 мг/г (белый) и 14,02 мг/г (зеленый); при вакуумном хранении: до 13,07 мг/г (белый) и 11,8 мг/г (зеленый). Наиболее значительная деградация полифенолов отмечена в зеленом чае при вакуумном хранении (снижение на 21,6%).

Литература:

- Афони́на С.Н., Лебеде́ва Е.Н., Сетко Н.П. Биохимия компонентов чая и особенности его биологического действия на организм (обзор), Оренбургский медицинский вестник, 2017; 4(20): 17-33.
- Платонова Н. Б., Белоус О. Г. Биохимический состав чая и его изменения под влиянием ряда факторов. Техника и технология пищевых производств. 2020;50(3):404-414. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-3-404-414

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ФИЦ СЦ РАН № FGRW-2025-0005, № госрегистрации 125071808812-9



## **ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ НА ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ ЦБК**

**Комаров А.А.**

ФГБНУ Агрофизический институт, Санкт-Петербург, Zelenydar@mail.ru

Крупнотоннажные отходы целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) представляют собой большую проблему для окружающей среды. Прежде всего это связано с тем, что в процессе переработки растительного сырья, содержащего лигнин, отщепляются фенолы, которые относятся к токсичным веществам, способным проникать через клеточные мембраны. Кроме того, они плохо поддаются разложению в естественной среде и склонны к биоаккумуляции. Так, в сточных водах сульфатного производства целлюлозно-бумажного комбината может содержаться до 17 разновидностей фенолов (vo-da.ruelar.urfu.ru). При этом состав сточных вод ЦБК зависит от вида технологического процесса (сульфатного или сульфитного) и качества полученного продукта - белёная или небелёная целлюлоза (vo-da.ru). На основании исследований (frontiersin.org) установлено, что в образцах донных отложений, загрязнённых отходами ЦБК было обнаружено значительное содержание фенолов: общий фенол —  $324,333 \pm 0,577$  мг кг<sup>-1</sup>, хлорфенол —  $522 \pm 2$  мг кг<sup>-1</sup>.

В связи с этим утилизация отходов ЦБК является весьма актуальной. Нами, на основании серии модельных, лабораторных и полевых исследований из многотоннажных и не востребуемых отходов ЦБК были выделены новые высокоактивные гумусоподобные биопрепараты. Впервые описаны основные режимы ступенчатой термохимической окислительно-гидролитической трансформации и окислительного аммонолиза содержащего органического материала. Для каждого процесса выбраны оптимальные условия (технологические режимы) проводимой термохимической трансформации и произведена оценка продуктов реакции (препаратов) на физиологическую активность методом биотестирования. Выявлена высокая эффективность новых препаратов, полученных из отходов производства по новым технологиям. Установлено активирующее действие новых биопрепаратов на развитие корневой системы растений и эффект аттракции.

Биотестирование препаратов производилось методом Гродзинского в нашей модификации (Комаров, 2002) в диапазоне концентраций от 0,25% до 0,0000025% с шагом разведения в 10 раз. Полученные биопрепараты в виде внекорневой подкормки вносились по вегетирующим растениям в оптимальных концентрациях в дозах 100-500 мл на 200 л воды на 1 га. Оперативные системы мониторинга состояния посевов включали систему сопряженных наземных исследований и применения современных методов ДДЗ на основании анализа космоснимков (спутника Sentinel-2) и данных, полученных мультиспектральными снимками БПЛА Геоскан 401 с подвесом MicaSense RedEdge-MX.

Выделенные в оптимальных режимах биопрепараты оценивались с помощью биотеста на семенах яровой пшеницы сорта Злата. Выявлена оптимальная концентрационная зона активирующего действия препарата, обеспечившая ускорение прорастания семян на 20-30% в области концентраций от 0,0025 до 0,00025% (эффект близкий к гормональному). Результаты эксперимента хорошо описываются линейной и полиномиальными функциями с высокой степенью достоверности полученных данных. В полевом эксперименте установлена высокая эффективность изучаемых препаратов, обеспечившая прибавку урожайности зерна пшеницы на 8,7-46,8%. Выявлено сходство и взаимодополнение использования оперативных систем мониторинга состояния посевов, которое проводилось с помощью сопряженных наземных исследований, применения ДДЗ и использования методов геостатистики.

Установлено, что максимальную активность препарат проявляет в начальный период прорастания семян (22-24 часа), обеспечивая прибавку до 33,3%, что указывает на специфический физиологический механизм его активирующего действия.



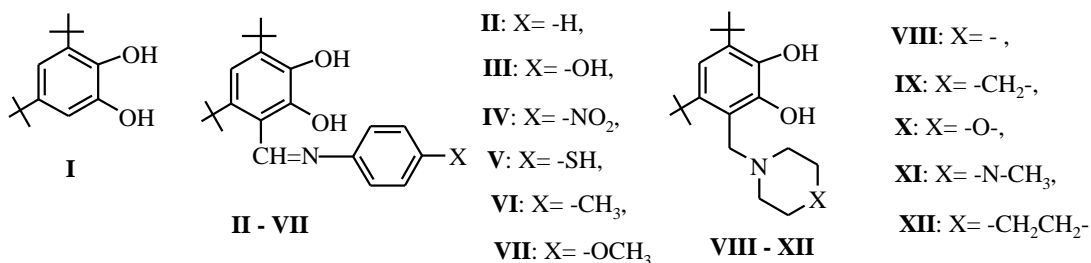
## АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ФЕНИЛИМИНОМЕТИЛЬНЫХ И ЦИКЛОАМИНОМЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 4,6-ДИ-*ТРЕТ*-БУТИЛ-1,2-ДИГИДРОКСИБЕНЗОЛА

Ксендзова Г.А.<sup>1</sup>, Островская Н.И.<sup>1</sup>, Сорокин В.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ, Минск,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, ksja-bn@tut.by

Интерес к фенилиминометильным и циклоаминометильным производным 4,6-ди-*трет*-бутил-1,2-дигидроксibenзола обусловлен тем, что они являются лигандами для биоактивных комплексов Ag(I) и Bi(III), проявляющих высокую антибактериальную активность *in vitro*, а также для комплексов Sn(IV), проявляющих антипролиферативную активность *in vitro*. Фармакологическая активность фенольных соединений может быть связана с их способностью регулировать свободнорадикальные реакции, что мотивировало нас оценить вклад фенилиминометильного фрагмента, содержащего в боковой цепи различные радикалингибирующие группы, а также циклоаминометильного заместителя с различной величиной циклического фрагмента, в антиоксидантную и антирадикальную активности 4,6-ди-*трет*-бутил-1,2-дигидроксibenзола.



Методом стационарного радиолиза было изучено влияние С3-фенилиминометильных (II-VII) и С3-циклоалкиламинометильных (VIII-XII) производных 4,6-ди-*трет*-бутил-1,2-дигидроксibenзола (I) на выходы основных молекулярных продуктов  $\gamma$ -радиолиза азрированного и деазрированного *n*-гексана, а также деазрированного этанола, что позволило оценить реакционную способность тестируемых соединений в отношении пероксидных, алкильных и  $\alpha$ -гидроксиалкильных радикалов.

Установлено, что введение фенилазометиновой группы существенно увеличивает антиоксидантную активность производных II-VII. Катехольный фрагмент в структуре фенилиминометильных производных 4,6-ди-*трет*-бутил-1,2-дигидроксibenзола не оказывает существенного влияния на их реакции с углеродцентрированными радикалами. Показано, что альдиминная группа в соединениях II-VII проявляет высокую активность в качестве акцептора  $\alpha$ -гидроксиалкильных радикалов, но низкую в реакциях с алкильными радикалами. Установлена высокая активность фенилиминометильных производных 4,6-ди-*трет*-бутил-1,2-дигидроксibenзола, содержащих в боковой цепи группы -OH, -SH и -NO<sub>2</sub>, в отношении кислород- и углеродцентрированных радикалов.

Показано, что с увеличением размера циклоалкиламинометильного цикла в боковом заместителе увеличивается активность производных VIII-XII в отношении алкильных радикалов, уменьшается в отношении  $\alpha$ -гидроксиалкильных и остаётся на одном уровне в отношении пероксидных радикалов.

Полученные результаты представляют интерес для установления ключевых факторов, определяющих антиоксидантную и антирадикальную активности производных I, перспективных для разработки универсальных ингибиторов свободнорадикальной деструкции углеводородов, полимерных материалов, биообъектов, а также лигандов для синтеза редокс-активных металлокомплексов с биоцидной активностью.

Литература: 1. DOI: 10.5599/admet.1167. 2. DOI: 10.2174/1573406419666221118104019. 3. DOI: 10.3390/ijms24098319

Результаты данной работы получены в рамках выполнения ГПНИ РБ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» (задание № 2.2.01.05).

## АНТИГЛИКИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ *ORTHILIA SECUNDA* И *RHODIOLA QUADRIFIDA*

**Лаврентьева И.А., Дерябина Е.А., Ларина В.В.**  
ФГАОУ ВО «БФУ имени И.Канта», Калининград, +79114909753,  
lavrentievairina13@yandex.ru

Одним из ключевых патогенетических механизмов старения является неферментативное гликирование белков и липидов, приводящее к образованию конечных продуктов гликирования (КПГ), накопление которых приводит к развитию широкого спектра возрастных патологий. В связи с этим, ингибирование процессов гликирования рассматривается в качестве перспективного направления, которое приводит к замедлению процессов старения и увеличению продолжительности здоровой жизни. Исследования, направленные на выявление и изучение антигликирующих агентов, приобретают значение для разработки инновационных геропротекторных средств [1-2]. Экстракты *Orthilia secunda* и *Rhodiola Quadrifida* обладают рядом полезных свойств, как например, антиоксидантной и антимикробной активностью. Эти растения широко используются в традиционной медицине. Исходя из вышеописанного, целью данной работы было изучение антигликирующей активности экстрактов *R. quadrifida* и *O. secunda*.

Антигликирующая активность определялась спектрофлуориметрическим методом по ингибированию реакции гликирования бычьего сывороточного альбумина глюкозой. Результаты проделанной работы отображены на диаграмме (Рисунок 1).

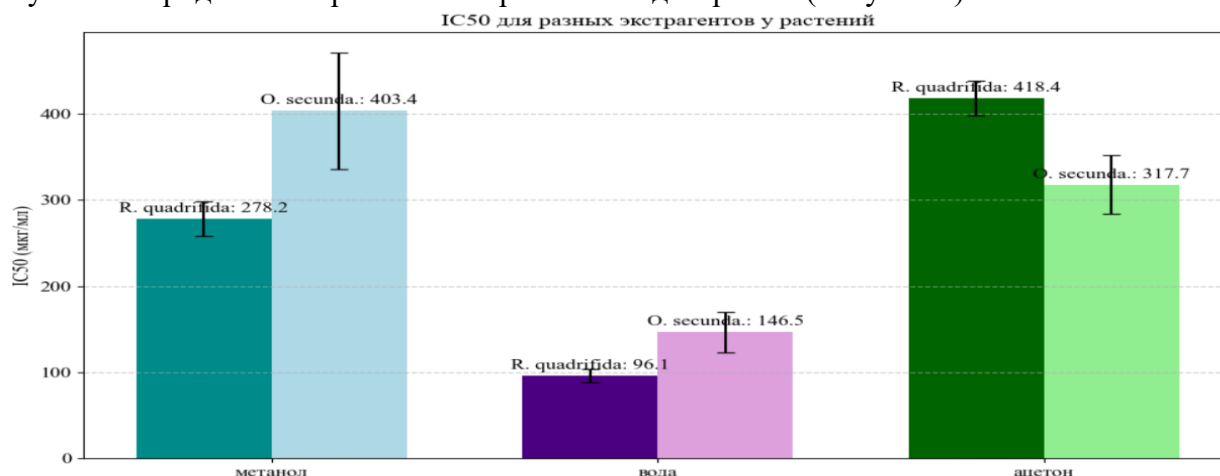


Рисунок 1. Зависимость антигликирующей активности от типа растворителя и растения

В ходе работы было выявлено, что наиболее подходящим экстрагентом для выделения антигликирующих компонентов является вода, при этом *R. quadrifida* показала активность выше, чем *O. secunda*. Обнаружен антигликирующий компонент *O. secunda* – эпигаллокатехин галлат (ИК<sub>50</sub> 134,0±7,8 мкг/мл). Его активность была сопоставима с активностью соединения с известной антигликирующей активностью карнозина.

### Литература

1. Taffet G. E. Physiology of aging //Geriatric Medicine: A Person Centered Evidence Based Approach. – Cham : Springer International Publishing, 2023. – С. 1-11.
2. Dharmarajan T. S. Physiology of aging //Geriatric gastroenterology. – 2020. – С. 1-54

Результат получен при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «Студенческий стартап» мероприятия «Платформа университетского технологического предпринимательства» федерального проекта «Технологии» (договор №0107920).

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *FABACEAE*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА УРАЛЕ

Лотоцкий С.О., Матыков Н.Е., Ермошин А.А.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, SviatLototskii@ya.ru

Семейство *Fabaceae* одно из крупнейших и наиболее распространенных в Северном полушарии, включает множество видов, которые могут являться потенциальным лекарственным сырьем. Так трава донника (*Meliloti herba*) входит в отечественную фармакопею [1]. Однако на данный момент недостаточно информации о содержании фенольных соединений и их биологической активности у других широко распространенных на Урале представителей данного семейства. Цель работы – изучить общее содержание фенольных соединений и флавоноидов в 3-х распространенных на Урале видах семейства *Fabaceae* и антирадикальную активность их экстрактов в сравнении с фармакопейным видом – *Melilotus officinalis*.

Объекты исследования – *Melilotus officinalis*, *Melilotus albus*, *Amoria montana*, *Genista tinctoria*. Растения собирали в Сысертском районе Свердловской области в конце июня в цветущем состоянии, высушивали воздушно-теневым методом, корни и листья измельчали, просеивали, использовали сырье с размером частиц до 1 мм. Экстрагировали методом ремацерации в 50% этанол (соотношение сырья к экстрагенту – 1:25). Содержание фенольных соединений определяли с реактивом Фолина–Чокальтеу, флавоноидов – с хлоридом алюминия. Активность связывания ABTS<sup>+</sup>-радикала определяли после 5 минут инкубации экстракта (разбавлен в 5 раз) с раствором радикала (1:10).

Полученные результаты представлены в таблице. Экстракты из листьев исследуемых видов показали достоверно лучший результат по сравнению с корнями во всех тестах. Выявлены небольшие отличия в суммарном содержании фенольных соединений и антирадикальной активности экстрактов между *M. officinalis* и *M. albus*.

Таблица. Содержание суммы фенольных соединений, флавоноидов в некоторых видах семейства *Fabaceae* и антирадикальная активность их экстрактов

Вид	Орган	Сумма фенолов, мг/г	Сумма флавоноидов, мг/г	Ингибирование ABTS <sup>+</sup> ●, %
<i>M. officinalis</i>	корни	7,0±0,2	0,6±0,2	26,38±0,51
	листья	20,4±0,2▲	18,4±2,0▲	59,88±2,71▲
<i>M. albus</i>	корни	6,9±0,1	0,6±0,2	23,65±0,94*
	листья	22,8±0,2▲*	14,7±1,4▲	61,06±1,37▲
<i>A. montana</i>	корни	2,9±0,1*	1,1±0,2*	8,91±0,56*
	листья	25,4±0,5▲*	26,3±1,8▲*	55,67±1,10▲
<i>G. tinctoria</i>	корни	33,5±0,6*	9,8±0,8*	47,10±0,95*
	листья	36,3±0,7▲*	53,5±1,4▲*	50,21±1,03▲*

Примечание. Значками отмечены достоверные отличия: ▲ – от корня; \* – от *M. officinalis* (U-test, n=6, p<0,05).

Листья *Genista tinctoria* отличаются наибольшим содержанием фенольных соединений (в том числе флавоноидов) по сравнению с остальными видами в нашей работе, а экстракты на их основе проявляют высокую антирадикальную активность. Данный вид требует дальнейшего изучения качественного состава и биологической активности экстрактов с целью выяснения перспектив его использования в качестве лекарственного сырья.

### Литература

Фармакопейная статья. Донника трава *Meliloti herba* (ФС.2.5.0011.15) // Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания, 2018.

## **ФЕНОЛЬНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: ВЫДЕЛЕНИЕ, ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И СИНТЕЗ НА ИХ ОСНОВЕ НОВЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Лузина О.А.**

ФГБУН Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН,  
luzina@nioch.nsc.ru

Лишайники - симбиотические организмы; в основе их существования лежит сожительство разных партнеров: микобионта (гетеротрофного гриба) и фикобионта (водоросли). Физиология и биохимия грибов и водорослей, входящих в состав лишайника, во многом отличаются от физиологии и биохимии свободноживущих грибов и водорослей, о чем свидетельствует синтез исходных вторичных метаболитов, отсутствующих у других групп организмов. Нами разработаны методики выделения основных вторичных фенольных метаболитов, принадлежащих к классам дибензофуранов и депсидов, из лишайникового сырья, основанные на экстрактивных и хроматографических методах. Выявлены и изучены новые области применения фенольных соединений, содержащихся в лишайниках, в качестве биологически активных препаратов.

Полусинтетические производные натуральных веществ являются перспективными кандидатами в лекарственные средства. Химические модификации фенольных метаболитов лишайников позволили нам получить ряд производных с новыми биологическими свойствами, в частности ингибиторы ряда ферментов репарации ДНК - тирозил-ДНК-фосфодиэстераз 1 и 2 (Tdp1 и Tdp2) и поли(АДФ-рибоза)полимеразы 1 (PARP1). Поиск ингибиторов ферментов системы репарации ДНК относится к перспективным направлениям современной фармакологии и является одним из путей увеличения эффективности терапии онкологических заболеваний, особенно для борьбы с лекарственно-устойчивыми опухолями. В экспериментах *in vitro* показано, что производные (+)- и (-)-усниновых кислот сенсibiliзируют опухолевые клетки к действию противоопухолевого препарата топотекана. Для некоторых производных (+)-усниновой кислоты впервые в мировой практике была продемонстрирована способность значительно усиливать противоопухолевый и антиметастатический эффект топотекана *in vivo* в нетоксичных дозах.

Нами разработаны методы целенаправленной дериватизации лишайниковых кислот, ведущие к новым, химически модифицированным соединениям с существенной противовирусной активностью. Синтезированы производные, проявляющие активность в отношении вируса гриппа H1N1, разных штаммов вируса SARS-CoV-2 (в том числе линии Wuhan, Delta и Omicron) и респираторно-синцитиального вируса. Противовирусная активность этих производных подтверждена в тестах *in vitro* и *in vivo*. Выявлены мишени противовирусного действия.

Также подтверждена перспективность лишайниковых кислот для разработки соединений с высокой цитотоксической, противоопухолевой, антибактериальной и противотуберкулезной активностью.

*Работа проводится при финансовой поддержке гранта РФФИ № 25-73-20089.*

## **ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОДА:ОРГАНИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ НА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ И РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ КВЕРЦЕТИНА В СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ**

**Лысенко А.Г., Акованцева А.С., Фенин А.А.**

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический Университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва, lysenko.nastasia@yandex.ru

Флавоноиды, в частности кверцетин, хорошо связывают ионы металлов и образуют с ними комплексы, что в некоторых случаях положительно влияет на антиоксидантные свойства. В научной литературе при изучении комплексообразования чаще всего используются чистые органические растворители, в то время как живые организмы в основном состоят из воды. Соответственно и модельную систему нужно использовать водно-органическую.

В работе рассматривается комплексообразование с цинком, поскольку этот металл является одним из распространенных микроэлементом в организме и принимает активное участие в метаболизме. Исходя из строения молекулы кверцетина возможно образование комплексов различной стехиометрии- кверцетин:цинк, где на одну молекулу кверцетина приходится одна (1:1) или две молекулы цинка (1:2).

Образование комплексов наблюдали спектрофотометрически. Для этого была приготовлена серия растворов, с содержанием этанола 15, 50 и 96%. Для количественного анализа содержания в растворе кверцетина и комплекса кверцетина с цинком была проведена математическая обработка полученных данных в программе Excel.

Исследование реакционной способности кверцетина и его комплексов с цинком по отношению к гидроксиэтильному радикалу проводилось путем стационарного радиолиза водно-этанольного раствора. Константы скорости реакции определяли по расходу акцептора – кверцетина.

Для оценки реакционной способности по отношению к супероксид-радикалу воспользовались спектрофотометрическим методом с использованием индикатора образования супероксида - красителя нитросинего тетразолия (НСТ).

Полученные данные свидетельствуют о том, что в 15% спиртовом растворе при небольшом избытке цинка (в 5 раз больше, чем кверцетин) в растворе будет преобладать комплекс состава 2:1 и свободный кверцетин, при большом избытке цинка, будет преобладать комплекс состава 1:1 и свободный кверцетин. В 50% и 96% спиртовых растворах, даже при небольшом избытке цинка будет преобладать комплекс состава 1:1.

В реакции с гидроксиэтильным радикалом наибольшая константа скорости наблюдается для 15% спиртового раствора. Свободный кверцетин в 15% растворе обладает меньшей реакционной способностью, по сравнению с комплексами. В системе с содержанием спирта 50% реакционная способность свободного кверцетина выше, чем для комплекса состава 2:1, но ниже, чем для комплекса 1:1. В системе с содержанием этанола 96% реакционная способность свободного кверцетина ниже, чем для его комплексов.

Комплексы кверцетина с ионами цинка обладают большей способностью ингибировать выход диформаза, чем свободный кверцетин. Однако, это не может быть интерпретировано как более высокая реакционная способность к супероксиду, т.к. в системе с цинком, без кверцетина, наблюдается снижение выхода диформаза при увеличении концентрации цинка. Несмотря на то, что цинк не способен напрямую взаимодействовать с супероксидом, возможно он связывается с НСТ, изменяя его редокс потенциал,. Таким образом, важно учитывать влияние ионов металлов на редокс-процессы в системе, содержащие НСТ.



## СРАВНИТЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ВЭЖХ-DAD-ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В *URTICA DIOICA* L. И *MELISSA OFFICINALIS* L.

Мансуров Д.А., Хаитбаев А.Х., Тошов Х.С.

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана, Ташкент, 100057, Узбекистан,  
mansurovdilshod789@gmail.com

Проведено количественное ВЭЖХ–DAD-определение полифенолов — галловой кислоты и флавоноидов (рутин, кверцетин, апигенин, кемпферол) — в *Urtica dioica* L. и *Melissa officinalis* L. Экстракцию выполняли 96% этанолом при рефлюксе; разделение — на колонке PerkinElmer C18 в градиенте (элюенты: 0,5% уксусная кислота в воде/ацетонитрил). Идентификацию проводили по временам удерживания и DAD-спектрам, количественную оценку — по калибровкам внешними стандартами.

Полифенолы — ключевой класс биологически активных соединений с антиоксидантной, противовоспалительной и антимикробной активностью. Галловая кислота и флавоноиды (рутин, кверцетин, апигенин, кемпферол) формируют полифенольный профиль, определяющий фармакологический потенциал *Urtica dioica* L. и *Melissa officinalis* L. Их качественно-количественное определение в сложных растительных матрицах воспроизводимо и селективно обеспечивается методом ВЭЖХ–DAD.

Навески высушенного и измельчённого сырья (2,00 г) экстрагировали 20 мл 96% этанола при рефлюксе ( $\approx 78\text{--}80^\circ\text{C}$ ) в течение 75 мин с перемешиванием; охлаждённые экстракты фильтровали (0,45 мкм) и доводили объём до метки. Хроматографирование выполняли на системе Shimadzu LC-2030C 3D Plus, колонка PerkinElmer C18,  $250 \times 4,6$  мм, 5 мкм; элюент А — вода с 0,5% (об.) уксусной кислоты, элюент В — ацетонитрил; градиентное элюирование; скорость потока 0,8 мл/мин;  $T_{\text{колонки}} = 40^\circ\text{C}$ ;  $V_{\text{инж}} = 10$  мкл. Количественное определение — при 280 нм (галловая кислота) и 360 нм (рутин, кверцетин, апигенин, кемпферол). Калибровочные кривые строили по стандартным растворам соответствующих аналитиков.

Концентрации соединений (мг/100 г сухой массы) представлены в таблице

Растение	Галловая кислота	Рутин	Кверцетин	Апигенин	Кемпферол
<i>Urtica dioica</i> L.	85,69	28,99	27,95	—	13,23
<i>Melissa officinalis</i> L.	81,00	60,74	—	—	13,28

Интерпретация: (1) *U. dioica* характеризуется более высоким содержанием галловой кислоты и наличием кверцетина, не выявленного в *M. officinalis*; (2) *M. officinalis* содержит существенно больше рутина ( $\approx \times 2,1$  по сравнению с *U. dioica*); (3) уровни кемпферола близки у обоих видов; (4) апигенин в исследованных условиях не детектирован. Отмеченные различия полифенольных профилей согласуются с известной видовой вариативностью вторичных метаболитов и могут отражать различия в биосинтетических путях флавоноидов у исследованных растений.

Метод ВЭЖХ-DAD позволил количественно охарактеризовать полифенольный состав *U. dioica* и *M. officinalis*. Крапива двудомная богаче галловой кислотой и кверцетином, тогда как Melissa лекарственная демонстрирует повышенное содержание рутина при сопоставимых уровнях кемпферола. Эти данные подтверждают потенциал обоих видов как доступных источников природных антиоксидантов и обосновывают их дальнейшее использование в фармацевтических и нутрицевтических разработках.



## ЗЕЛЁНЫЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ О-(4-НИТРОБЕНЗОИЛ)ЭВГЕНОЛА И СПЕКТРАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ

Мансуров Д.А., Хаитбаев А.Х., Тошов Х.С.

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана, Ташкент, mansurovdilshod789@gmail.com

Эвгенол (4-аллил-2-метоксифенол) — репрезентативный фенольный метаболит, востребованный как платформенный субстрат для целенаправленной химической модификации. Ацилирование фенольного О-центра изменяет электронические и стерические параметры молекулы, что может усиливать или дифференцировать биологическую активность производных.

Ключевые слова: эвгенол; О-ацилирование; гидротермальный синтез; нитробензоиловые производные; ИК-спектроскопия; <sup>1</sup>H ЯМР; масс-спектрометрия.

Эвгенол выделяли из местного сырья *Syzygium aromaticum* (L.) с последующей очисткой; идентификацию исходного вещества проводили по ИК- и <sup>1</sup>H-ЯМР спектроскопии. Для ацилирования использовали 4-нитробензойный ангидрид. В автоклав с тефлоновой вставкой вносили 2,0 г (12,2 ммоль) эвгенола и 2,8 г (13,6 ммоль) ангидрида, растворяли в смеси этанол–вода 3:1 (об./об.), добавляли 3,5 мл триэтиламина и перемешивали. Автоклав герметизировали и выдерживали при 140°C 6 ч (автогенное давление). После охлаждения смесь экстрагировали CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, органическую фазу промывали водой до нейтрального pH, сушили над Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, упаривали *in vacuo* и перекристаллизовывали из этанола.

Получен жёлтый твёрдый продукт; выход 88%; т.пл. 79°C.

ИК (KBr, см<sup>-1</sup>): 1744 (ν(C=O) сложного эфира), 1603 (ν(C=C) Ar), 1532, 1347 (ν<sub>as</sub>(NO<sub>2</sub>)); исчезновение широкой ν(O–H) подтверждает О-эстерификацию.

<sup>1</sup>H-ЯМР (400 МГц, CDCl<sub>3</sub>, δ, м.д.): 3,43 (2H, d, J = 6,7 Гц, Ar–CH<sub>2</sub>–), 3,84 (3H, s, OCH<sub>3</sub>), 5,19–5,11 (2H, m, =CH<sub>2</sub>), 6,02 (1H, ddt, J = 16,8; 10,1; 6,7 Гц, CH=), 6,86 (1H, dd, J = 8,2; 1,6 Гц, H-5\_Ar), 6,88 (1H, s, H-3\_Ar), 7,12 (1H, d, J = 8,0 Гц, H-6\_Ar), 8,36 (4H, m, Ar-H 4-нитробензоил). Сохранение аллильных сигналов указывает на отсутствие побочных превращений аллил-фрагмента.

МС (EI), m/z: 313 (M<sup>+</sup>, 11), 150 (100), 104 (8); M<sup>+</sup> • согласуется с C<sub>17</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>5</sub> (M = 313).

Элементный анализ: найдено C 65,19; H 4,78; N 4,50 %; вычислено для C<sub>17</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>5</sub>: C 65,17; H 4,83; N 4,47 %.

Комбинация протонного растворителя, ангидридного ацилирования и основания смещает равновесие к О-эфиру и подавляет потенциальное С-ацилирование ароматического ядра. Совокупность спектральных признаков (ν(C=O) 1744 см<sup>-1</sup>; набор ароматических сигналов в 7,1–8,4 м.д.; M<sup>+</sup> • = 313) однозначно подтверждает целевую структуру.

Гидротермальный подход в системе этанол–вода/триэтиламин при 140°C обеспечивает высокоселективное О-ацилирование эвгенола 4-нитробензоильным ангидридом с выходом 88% и подтверждённой структурой (ИК, <sup>1</sup>H-ЯМР, МС, элементный анализ). Полученный эвгенил-4-нитробензоат является перспективным объектом для скрининга антимикробной и фитонцидной активности и может служить модельным соединением для изучения взаимосвязей «структура–свойство» в ряду нитробензоил-производных фенолов.

### Литература

1. Wang, Kaibo, et al. "Synthesis and antifungal activity of carvacrol and thymol esters with heteroaromatic carboxylic acids." *Natural Product Research* 33.13 (2019): 1924-1930.
2. Sahoo, Chita Ranjan, Sudhir Kumar Paidesetty, and Rabindra Nath Padhy. "The recent development of thymol derivative as a promising pharmacological scaffold." *Drug Development Research* 82.8 (2021): 1079-1095.
3. Tharamak, Sorachat, et al. "Synthesis of thymyl esters and their insecticidal activity against *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae)." *Pest management science* 76.3 (2020): 928-935.

# **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА SCROPHULARIACEAE JUSS., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО УРАЛА**

**Матыков Н.Е., Лотоцкий С.О., Ермошин А.А.**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, matykov.niki01@gmail.com

Часто источниками для поиска новых лекарственных средств становятся растения народной медицины и родственные уже применяемым в медицине виды. Семейство норичниковых представляет определенный интерес так как многие представители используются в народной медицине (*Veronica officinalis* L. применяется как отхаркивающее и противовоспалительное средство), а некоторые и в официальной – например *Digitalis purpurea* L., сердечные гликозиды которой используются в терапии хронической сердечной недостаточности. В связи с этим актуальным является изучение местных видов норичниковых, их химического состава и биологической активности. Цель данной работы – количественное определение фенольных соединений, в том числе флавоноидов, в экстрактах из корней и листьев некоторых представителей семейства норичниковые, произрастающих на территории Среднего Урала, а также определение их антиоксидантной активности *in vitro*.

Объектами исследования являлись экстракты корней и листьев 4 представителей семейства Норичниковые. Сбор растений осуществляли в конце июня в Сысертском районе Свердловской области, высушивали воздушно-теньевым способом, измельчали и фракцию с размером частиц до 1 мм использовали для приготовления экстрактов методом ремацерации, в качестве экстрагента использовали 50 % этанол (соотношение сырья к экстрагенту – 1:25 м/В).

В экстрактах определяли содержание фенольных соединений с использованием реактива Фолина-Чокальтеу в пересчете на галловую кислоту, количество флавоноидов в реакции с хлоридом алюминия в пересчете на рутин и антирадикальную активность в ABTS-тесте. Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица. Содержание фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантная активность экстрактов некоторых представителей *Scrophulariaceae* Среднего Урала

Образец	Тип сырья	Содержание фенольных соединений, мг/г абсолютно сухого сырья	Содержание флавоноидов, мг/г абсолютно сухого сырья	Антирадикальную активность, %
<i>Digitalis grandiflora</i>	листья	16,81±0,44	23,56±0,68	37,85±0,83
	корневище с корнями	39,96±0,50 <sup>◊</sup>	3,54±0,42 <sup>◊</sup>	72,58±0,90 <sup>◊</sup>
<i>Verbascum thapsus</i>	листья	15,62±0,48	6,57±1,20	30,96±1,27
	корневище с корнями	29,25±0,35 <sup>◊</sup>	1,84±0,15 <sup>◊</sup>	61,47±1,19 <sup>◊</sup>
<i>Verbascum nigrum</i>	листья	63,53±0,82	21,40±0,54	86,01±0,84
	корневище с корнями	59,22±0,75 <sup>◊</sup>	4,80±0,48 <sup>◊</sup>	79,88±1,80 <sup>◊</sup>
<i>Veronica officinalis</i>	травы	77,33±1,49	15,80±1,27	89,76±0,71

Примечание. Значками отмечены достоверные отличия: ◊ – от листьев (U-тест, n=6, p<0,05)

Наибольшее количество фенольных соединений содержалось в траве *Veronica officinalis*, флавоноидов – в листьях *Digitalis grandiflora*, где, исходя из соотношения общих фенолов к флавоноидам, они являются доминирующей группой фенольных соединений и *Verbascum nigrum*. Наибольшей антиоксидантной активностью обладал экстракт *Veronica officinalis*. Корреляции между содержанием суммы фенолов и величиной ингибирования ABTS-радикала найдено не было (по критерию Спирмена, n=6, p<0,05), что говорит о том, что антиоксидантное действие обуславливают и другие группы метаболитов.

Таким образом, все представленные виды можно рекомендовать к дальнейшему изучению как перспективное лекарственное растительное сырье.

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МОНОФЕНОЛЬНЫЙ АНТИОКСИДАНТ ТС-13 ЭФФЕКТИВЕН ПРОТИВ ПОТЕРИ ВОЛОС, ИНДУЦИРОВАННОЙ ХИМИОТЕРАПИЕЙ**

**Меньщикова Е.Б., Серых А.Е., Ромах Л.П., Храпова М.В., Петрова Е.С., Чечушков А.В.,  
Кандалинцева Н.В.\***

ФГБНУ «ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины», Новосибирск,  
lemen7383@mail.ru;

\*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет»

Химиотерапия занимает лидирующие позиции при лечении злокачественных новообразований, и крайне важен поиск способов и средств преодоления или смягчения ее побочных эффектов, в том числе выпадения волос (СІА, chemotherapy-induced alopecia). Несмотря на доказанную роль окислительного стресса в патогенезе СІА, терапевтический потенциал антиоксидантов для ее предотвращения и лечения не изучен. Цель настоящего исследования – проанализировать влияние монофенола 3-(3'-трет-бутил-4'-гидроксифенил)пропилтиосульфоната натрия (ТС-13), обладающего прямым и опосредованным антиоксидантным действием, на восстановление волосяного покрова у мышей при моделировании СІА.

Материал и методы. Исследование выполнено на 30 аутбредных мышах обоего пола, которые были разделены на 4 группы. Животные 1 группы – контроль (n = 7), мыши 2 группы за 14 дней до депиляции и на протяжении всего эксперимента получали ТС-13 с питьевой водой из расчёта 100 мг/кг массы тела (n = 7), у мышей 3 (n = 8) и 4 групп (n = 8) моделировали СІА, при этом животные 4 группы на протяжении всего эксперимента получали ТС-13 с питьевой водой. Для корректного моделирования СІА у мышей индуцировали анагенную фазу волосяного покрова. С этой целью у всех животных выбривали спины, затем под эфирным наркозом обработанные участки депилировали с помощью восковых полосок. На 9-й день, когда все волосяные фолликулы переходят в стадию VI раннего анагена, мышам групп 3 и 4 внутрибрюшинно вводили раствор циклофосамида (120 мг/кг массы тела). В дальнейшем выбритые участки фотографировали через день на однотонном фоне при постоянном освещении, для обеспечения кратковременной неподвижности мышей применяли CO<sub>2</sub>. Полученные изображения анализировали с помощью разработанной нами программы. На 51-й день животных выводили из эксперимента.

Результаты и их обсуждение. Существенных различий в массе тела между группами в динамике эксперимента не наблюдалось, обнаружена лишь тенденция к её снижению у самцов, получавших циклофосамид, на 17-й день (p = 0,0662). У мышей контрольной группы и получавших ТС-13 с питьевой водой интенсивный рост волос начинается на 11–13-й день эксперимента, полностью волосяной покров восстанавливается на 13–15-й день. У животных группы СІА фаза выраженного роста волос существенно сдвигается, начинаясь на 25-й день до полного зарастания на 40-й день. Назначение мышам с СІА ТС-13 (группа 4) ускоряло процесс, хотя и не до значений интактного (группа 1, p = 0,015) и позитивного контроля (группа 2, p = 0,002), быстрый рост шерсти начинался на 17-й день, полное восстановление волосяного покрова происходило на 31-й день, различие с группой 3 статистически значимо (p = 0,004). Тот факт, что назначение ТС-13 не отменяло полностью способность цитостатика индуцировать потерю волос, мы склонны рассматривать как позитивный результат, поскольку главное терапевтическое действие противоопухолевых средств – антипролиферативное. Таким образом, ТС-13 способствует более быстрому восстановлению волосяного покрова, но не отменяет цитостатический эффект в целом.

Заключение. Алопеция той или иной степени затрагивает до 96 % пациентов, подвергающихся химиотерапии, и вследствие возникающего эмоционального дистресса до 14 % больных отказываются от лечения, даже понимая, что оно необходимо для спасения их жизни. В этой связи обнаруженный нами факт ускорения восстановления волосяного покрова под действием ТС-13 при моделировании СІА у мышей выглядит многообещающим и требует дальнейшего изучения.

## АЛКИЛФЕНОЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ФЕНОКСИУКСУСНЫХ КИСЛОТ: СИНТЕЗ И АУКСИНОПОДОБНАЯ АКТИВНОСТЬ

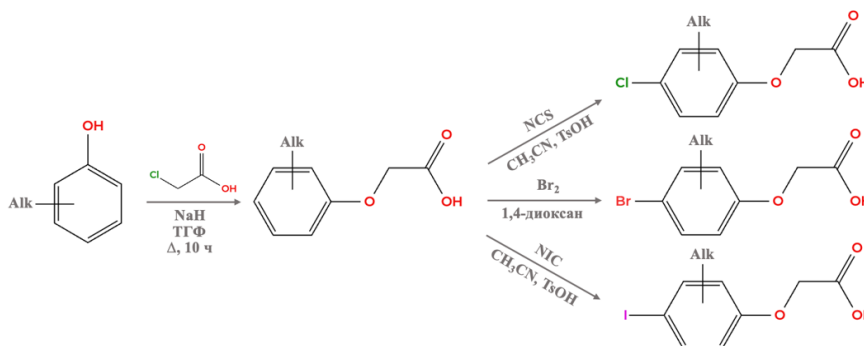
**Мизин Д.В., Воробьев С.В., Брейгина М.А.\*, Кошелев В.Н.**

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, 89772559726, danila.miz@list.ru

\*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Создание новых синтетических регуляторов роста растений – важная задача для сельского хозяйства, а изучение путей их синтеза и биологических свойств требует междисциплинарного подхода, так как находится на стыке химии и биологии. Среди регуляторов роста ключевую роль играют ауксины – гормоны, контролирующие корнеобразование, ветвление и формирование плодов. Наиболее известные синтетические ауксины – 2,4-дихлорфеноксиуксусная и 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислоты – обладают высокой токсичностью, что ограничивает их применение [1]. Производные алкилфенолов рассматриваются как перспективные аналоги благодаря доступности сырья, сниженной фитотоксичности и высокой биодоступности (за счёт липофильности). Интерес представляют также природные алкилфенолы, например, тимол, способный взаимодействовать с активными центрами ферментов. В работе представлены методы оценки ауксиноподобной активности ряда галогенированных производных алкилфеноксиуксусных кислот [2].

Авторами разработаны новые методы получения хлор-, бром- и йодзамещённых алкилфеноксиуксусных кислот. Все галогензамещённые производные получали двухстадийным синтезом: сначала проводили О-алкилирование соответствующих алкилфенолов монохлоруксусной кислотой в ТГФ, затем вводили атом галогена. Для хлорпроизводных оптимальным оказался метод с *N*-хлорсукцинимидом, обеспечивающий выходы более 70% и селективное замещение в *para*-положение. Для бромпроизводных наибольшую эффективность показал метод с молекулярным бромом в диоксане (выходы до 91%), тогда как *N*-бромсукцинимид обеспечивал только 81%. Впервые реализован синтез йодзамещённых аналогов с использованием *N*-йодсукцинимидом, позволивший селективно вводить атом йода в *para*-положение в мягких условиях, без побочных продуктов и с высокой воспроизводимостью.



В ходе исследования биологического эффекта галогензамещённых тимоксиуксусных кислот в модельной системе – суспензионной короткоживущей культуре пыльцы *Nicotiana tabacum* L. – было выявлено, что все три соединения оказывают выраженное влияние на прорастание пыльцы *in vitro*, демонстрируя дозозависимый характер действия. Наиболее выраженная ростостимулирующая активность в низких концентрациях ( $10^{-6}$ - $10^{-7}$  М) зафиксирована для йод- и бромзамещённых производных, в то время как хлорпроизводное проявило умеренное влияние.

Литература:

1. Zažímalová E., Petrášek J., Benková E. *Auxin and Its Role in Plant Development*. – Springer, 2014.
2. Mizin D. V., Vorobyev S. V., Koshelev V. N. *Proc. SPIE*. 2024, Vol. 12986, 129860A.



## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ОБЩИХ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PELARGONIUM* L'HÉR.

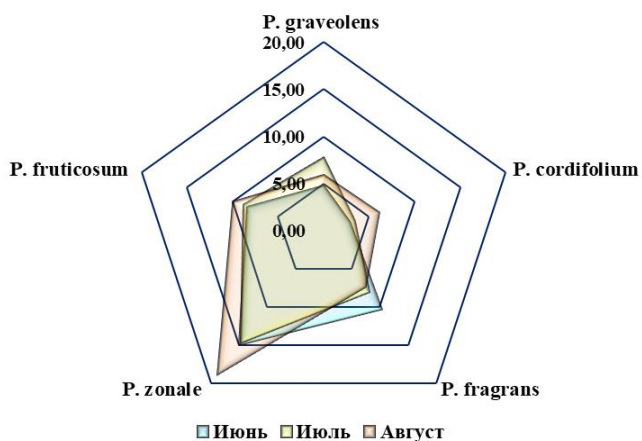
**Москвичева В.В., Кунина В.А.**

ФГБУН ФИЦ Субтропический научный центр РАН, Сочи, moskvichevalera974@gmail.com

В настоящее время в мире усиливается интерес к эфиромасличным, фитонцидным, лекарственным и медоносным растениям. В связи с этим, перспективной культурой является *Pelargonium* L.Herit., которая характеризуется не только своими декоративными качествами, но высоким содержанием фитонцидов, аминокислот и полифенольных соединений [1; 2].

В ботаническом саду «Дерево Дружбы» Субтропического научного центра РАН сформирована большая коллекция данного рода. По последним данным она насчитывает 35 видов и более 200 сортов, из которых 35 сортов отечественной селекции [3].

Цель работы – сравнить динамику содержания общих полифенолов в листьях пяти



видов рода *Pelargonium* (*P. graveolens*, *P. cordifolium*, *P. fragrans*, *P. zonale*, *P. fruticosum*) в условиях летних стрессоров. Анализ выполнен спектрофотометрическим методом Фолина-Чокальтеу. Метеоусловия лета 2025 г. характеризовались аномально холодным июнем с последующим резким ростом температуры и снижением влажности в июле и августе.

Накопление в листовой массе растений полифенольных соединений является неотъемлемой частью их адапционного

Рисунок – Динамика содержания общих полифенолов (мг/г) в листьях *Pelargonium*

ответа на действие абиотических стрессоров, среди которых ключевую роль играют температурный режим и влажность

воздуха. Результаты исследования выявили следующие особенности (рис.): в образцах *P. fruticosum*, *P. cordifolium* и *P. zonale* концентрация росла с июня по август, достигнув максимума у *P. zonale* (18,71 мг/г). Минимальные значения в июне-июле отмечены в листьях *P. cordifolium* (2,918 и 3,356 мг/г). *P. graveolens* – пик содержания пришелся на июль с последующим спадом, что указывает на быструю, но недолговечную стрессовую реакцию. В образце *P. fragrans* наблюдалось атипичная обратная динамика – снижение концентрации исследуемого метаболита. На основании проведенных исследований установлено, что динамика накопления общих полифенолов в листьях исследованных видов имела выраженную видовую специфику, которая коррелировала с изменениями погодных условий в летний период 2025 года.

Литература:

1. Никитина В.С., Шендель Г.В. Содержание фенольных соединений и аминокислот в надземной части *Geranium pratense* и *Geranium sibiricum*, Растительные ресурсы. – 2008. – Т. 44(2). – С. 74-81.
2. Буданцев А.Л. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т.3. Семейства *Fabaceae*, *Apiacea*. СПб, М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010, 610 с.
3. Гутиева Н.М. Особенности наследования декоративных признаков *Pelargonium grandiflorum*, Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Т. 75. – С. 49-55.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ФИЦ СЦ РАН № FGRW-2025-0005, № госрегистрации 125071808812-9

**ОРГАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВЫРАЩИВАНИЯ ВЛИЯЕТ НА СИНТЕЗ  
АНТИОКСИДАНТОВ И ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ *SOLANUM  
LYCOPERSICUM* L.**

**Мотылева С.М., Винокур М.В., Ямилева Э.М.**

Онлайн школа садоводов Strogoorganic, Москва, +79102052710, motyleva\_svetlana@mail.ru

Томаты (*Solanum lycopersicum* L.) являются одними из самых важных овощей в мире. Они важны прежде всего из-за их высокой пользы для здоровья человека - обладают антиоксидантными свойствами, являются источником фенольных соединений, каротиноидов, в частности ликопина, но с низким содержанием жира и калорий, а также без холестерина. Многие авторы подтверждают, что органические продукты питания имеют преимущества для укрепления здоровья человека, защиты окружающей среды и сохранения биоразнообразия, поэтому эти продукты получили широкое признание потребителей [1].

Цель нашего исследования выяснить - оказывает ли органическая система выращивания, по сравнению с традиционной, влияние на накопление фенольных соединений и антиоксидантов в томатах.

Объектами исследования были два отечественных ранних, штамбовых, детерминантных, скороспелых сорта томатов - Ямал (красноокрашенный) и Утенок (желто-оранжевый), входящих в Государственный реестр селекционных достижений.

Были использованы два метода исследований: спектрофотометрия - анализ антиоксидантной активности с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH), общее содержание полифенольных соединений с реактивом Фолина-Чокальтеу и газовая хромато-масс-спектрометрия - анализ состава метаболитов с последующей идентификацией по масс-спектрам библиотеки NIST-15. Исследовали водные и спиртовые (карбинолом) экстракты.

Антиоксидантная активность томатов, выращенных органическим способом, в среднем была больше на 2,15 % (водный экстракт) и на 2,64 % (спиртовой экстракт), при этом более высокая антиоксидантная активность отмечена в экстрактах с. Ямал. Также наблюдалось на 8 % (с. Утенок) и 9 % (с. Ямал) увеличение суммы фенольных соединений в томатах, выращенных органическим способом по сравнению с томатами, выращенными традиционным способом. Корреляция между антиоксидантной активностью спиртовой вытяжки и содержанием суммы фенольных соединений в томатах была положительной, высокой ( $r = 0,82$ ).

В плодах томатов идентифицировано 58 веществ - метаболитов, в том числе фенольные соединения - Chlorogenic acid, p-Coumaric acid, Caffeic acid, Quercetin, Rutin. На основе сравнительного анализа высот пиков установлено, что 35 соединений накапливались в томатах в больших количествах при органическом выращивании, чем по традиционной технологии. Отмечено, что высота пика Caffeic acid в 4,6 раза, а Chlorogenic acid в 2,3 раза выше в экстрактах томатов при органическом способе выращивания, чем при традиционном. Оба вещества обладают высокой антиоксидантной активностью и оказывают влияние на суммарную антиоксидантную активность.

Наши результаты показали, что способ выращивания томатов приводит к изменению некоторых метаболических процессов, при этом питательная ценность томатов увеличивается за счет увеличения содержания фенольных соединений и антиоксидантов. Результаты подтвердили также влияние сорта на биохимический состав томатов.

**Литература**

Мингазова Э.Н., Гуреев С.А., Мингазов Р.Н. Органические продукты питания: медико-социальный аспект. Менеджер здравоохранения. 2024; 4:121–132. DOI: 10.21045/1811-0185-2024-4-121-132т



## ДЕТЕКЦИЯ НЕКОТОРЫХ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ *HYPERICUM PERFORATUM*

Мхитарян А.Г., Сагателян Г., Казарян Ш.А., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Оганесян А.А.  
ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет, Ереван, Армения,  
+37496260563, shushanik.kazaryan@rau.am

Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.) – одно из наиболее известных лекарственных растений, традиционно применяемых в народной и доказательной медицине. Его фармакологическая активность связана с богатым содержанием вторичных метаболитов, обладающими антидепрессивным, противоопухолевым, антибактериальным и ранозаживляющим действием [1]. Несмотря на это, в доступной литературе мало данных о содержании вторичных метаболитов представителей *Hypericum*, прорастающих на Армянском нагорье.

Целью исследования явилось определение некоторых вторичных метаболитов *H. perforatum*, собранного в Тавушском марзе Армении, и оценка антирадикальной активности его экстрактов. Водно-этанольные экстракты семян и надземной части растения были получены методами тепловой и холодной экстракции с использованием 50%, 70% и 96% этанола. Были определены общие содержания фенолов (метод Фолина-Чокальтеу) и флавоноидов (комплексобразование с  $AlCl_3$ ), антирадикальная активность (тест с DPPH), содержание гиперичинов и псевдогиперичинов (спектрофотометрия), выполнен ВЭЖХ анализ (рутин, кверцетин, апигенин, кемпферол, нарингенин, генистеин, розмариновая кислота [1]). Установлено, что экстракты *H. perforatum* проявляют значительные различия в составе и активности в зависимости от метода экстрагирования и используемого растворителя. Максимальное содержание фенолов выявлено в 70% этанольном экстракте семян ( $5,01 \pm 0,10$  мг/г), тогда как наибольшее количество гиперичинов – в 96% этанольном экстракте надземной части растения ( $0,28 \pm 0,01$  мг/г). Флавоноидный профиль надземных частей представлен преимущественно рутином и кверцетином, причём их максимальные концентрации зафиксированы в 70% этанольном экстракте (рутин — 1,82 мг/г) и в 50% этанольном экстракте (кверцетин — 0,87 мг/г), полученных холодным методом.

Антирадикальная активность всех образцов проявляла дозо-зависимый характер, достигая 100% при высоких концентрациях; наибольшая активность наблюдалась у 70% этанольного экстракта надземной части растения, полученного тепловым методом ( $IC_{50} = 0,90 \pm 0,14$  мг/мл). Анализ показал отсутствие прямой корреляции между общим содержанием фенолов/флавоноидов и  $IC_{50}$ , однако выявлена зависимость антиоксидантной активности от содержания отдельных флавоноидов (рутина и кверцетина). Исследование подтвердило, что *H. perforatum*, произрастающий в Армении, является перспективным источником биологически активных вторичных метаболитов, прежде всего гиперичинов и флавоноидов, обладающих выраженной антиоксидантной активностью.

### Литература

Novhannisyan, A. (2018). The influence of some elicitors on growth and morphogenesis of *Hypericum perforatum* L. callus cultures. Russian Journal of Developmental Biology, 37(6), 365–373.

Исследование проведено в рамках грантовых финансирования МОНКЦ РА (10-2/25-I/RAU-BIOL, 24FP-3B0, 25RG-1F151 и 10-2/25YR-2J030).

## **РЕСВЕРАТРОЛ И СТРУКТУРНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ МЕМБРАН: РОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ В МОДИФИКАЦИИ МИКРОВЯЗКОСТИ**

**Неврова О.В., Герасимов Н.Ю., Жигачева И.В., Генерозова И.П., Голощанов А.Н.**

Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН, Москва,

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

[n.yu.gerasimov@gmail.com](mailto:n.yu.gerasimov@gmail.com)

Ресвератрол известен как биологически активный компонент с антиоксидантной активностью, улучшающий функции митохондрий. Интересно, что полифенольные соединения оказывают непосредственное влияние на структуру и функцию митохондрий. Растительные полифенолы взаимодействуют с белками, такими как сигнальные киназы, факторы транскрипции и ионные каналы и регулируют окислительно-восстановительные процессы. Действие антиоксидантов на биологические мембраны объясняется системой регуляции пероксидного окисления липидов, которая напрямую связана с микровязкостью мембран. В то же время активные формы кислорода генерируются, главным образом, митохондриями. Однако, изменение митохондриальной активности ресвератролом растений и о его механизм действия остается мало изученным. Поэтому, в попытках спрогнозировать возможную роль ресвератрола в качестве модулятора активности митохондрий, целью настоящей работы было исследование влияния ресвератрола на митохондрии гороха в норме. Это открывает новые возможности в защите растений от стресс-факторов, связанных с митохондриальной дисфункцией.

Изучено действие антиоксиданта ресвератрола в различных концентрациях на микровязкость мембран митохондрий, выделенных из клеток листьев гороха. Ресвератрол готовили последовательным стократным разбавлением в среде выделения так, чтобы концентрация в образцах с митохондриями при конечном разбавлении составляла  $5 \times 10^{-6}$ ,  $5 \times 10^{-8}$ ,  $5 \times 10^{-10}$ ,  $5 \times 10^{-12}$ ,  $5 \times 10^{-14}$  и  $5 \times 10^{-16}$  М. Микровязкость липидного бислоя мембран определяли методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) спиновых зондов. Показано, что ресвератрол в физиологических ( $5 \times 10^{-6}$  М) и сверхмалых ( $5 \times 10^{-14}$  М) дозах изменял микровязкость и структуру липидного бислоя мембран. По-видимому, данный антиоксидант путем изменения структуры липидного окружения мембранных белков изменяет их активность и таким образом влияет на активность и функции митохондрий. В областях доз между физиологическими и сверхмалыми не было обнаружено никаких изменений, т.е. наблюдалась «мертвая зона». Кроме того, было выявлено, что ресвератрол в физиологических концентрациях сдвигает термоиндуцированный структурный переход в область более низких температур, что может мешать нормальной регуляции естественных процессов.

## **РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ В СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ И РАДИОПРОТЕКТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ ГИДРОКСИБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ**

**Сильченко А.Р., Лысенко А.Г., Николаева В.В., Фенин А.А.**  
РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, valli888@bk.ru, +79253442693

В последние годы исследователи активно изучают создание радиопротекторных препаратов в ответ на растущее применение ионизирующего излучения в различных областях жизни человека. Ионизирующее излучение, будучи мощным источником угрозы для здоровья, способно повреждать ДНК клеток, что запускает каскад реакций, приводящих к образованию свободных радикалов. В связи с этим ученые стремятся разработать эффективные методы нейтрализации этих радикалов для снижения риска развития связанных с ними заболеваний. В рамках этих научных исследований разрабатываются и внедряются как синтетические, так и природные биологически активные вещества, которые должны быть не только действенными, но и безопасными.

В современном мире человек ежедневно взаимодействует с разнообразными биологически активными веществами, которые влияют на организм через окружающую среду и пищевую цепочку. Важно понимать, какие вещества поступают в организм и какое воздействие они оказывают. Соединения с антиоксидантными и радиопротекторными свойствами часто содержат фенольное кольцо в своей структуре. Фенольные соединения разнообразны, и фенольные кислоты составляют значительную часть этого разнообразия. В данной работе рассмотрены гидроксibenзойные кислоты как представители фенольных кислот.

Свободные радикалы — это реакционноспособные частицы с коротким периодом жизни, который зависит от внешних условий. Так, при температуре 37 °C в водной среде период полураспада гидроксильного радикала составляет  $10^{-9}$  с.

В работе рассмотрены гидроксibenзойные кислоты: 4-гидрокси-3-метоксибензойная кислота, 4-гидроксibenзойная кислота, 4-гидрокси-3,5-диметоксибензойная кислота, 2-гидроксibenзойная кислота (салициловая), 3,4,5-тригидроксibenзойная кислота; растворители: этанол, уксусная кислота 2 %. Соединения были исследованы на реакционную способность по отношению к гидроксильным радикалам методом стационарного радиолиза. Растворы подвергали облучению на рентгеновской установке.

Определение концентрации веществ и идентификацию продуктов радиационно-индуцированных превращений, выполняли методом жидкостной хромато-масс-спектрометрии на хроматографе “Acquity UPLC” с масс-детектором TQD.

Константы скоростей выбранных соединений с радикалом определялись методом, при которой система становилась монорадикальной, а активным компонентом был исследуемый радикал.

Определены константы скорости реакции гидроксibenзойных кислот с углерод-центрированными радикалами. Значения констант лежат в диапазоне от  $2 \cdot 10^4$  до  $2 \cdot 10^6$  л·моль<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup> в зависимости от типа радикала и исследуемого вещества.

## КУМАРИНЫ *FERULOPSIS HYSTRIX*: СОСТАВ, СОДЕРЖАНИЕ, МОДИФИКАЦИИ ПЕУЦЕНИДИНА И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ

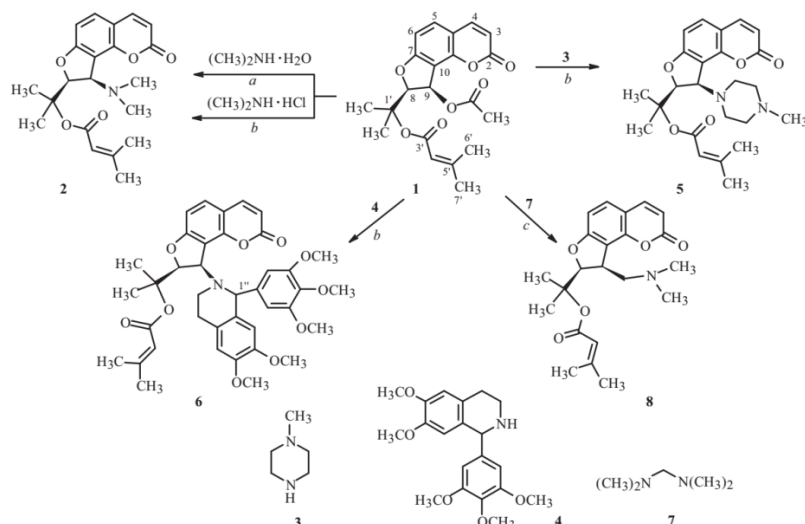
**Николаев Ю.Н., Шульц Э.Э.\*, Тараскин В.В.**

ФГБУН Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ,  
yuriy361@gmail.com

\*ФГБУН Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН,  
Новосибирск

Фенольные соединения, в частности кумарины, обладают значительными нейропротекторными, антиоксидантными и противовоспалительными активностями. Наряду с этим могут служить потенциальными базовыми структурами для создания новых биоактивных молекул. *Ferulopsis hystrix* является доступным источником фуранокумаринов и издавна применяется в восточной традиционной медицине [1,2].

Суммарное содержание кумаринов в сырье из разных популяций различается незначительно. Наибольшее содержание кумаринов приходится на подземную часть растения (до 6%), в траве суммарное содержание достигает 3%. Доминирующим кумарином является – пеуценидин (**1**), на основе которого проведены модификации с целью введения азотсодержащих заместителей в молекулу.



Взаимодействие пеуценидина **1** с вторичными аминами **3,4** приводит к образованию 9β-(N-метилпиперазино)- или 9β-(1-арил-тетрагидроизохинолино)-8β-(2-сенециоилоксипропан-2-ил)-8,9-дигидро-2H-фууро[2,3-*h*]хромен-2-онам (**5,6**) (выход 37-46%). **5,6**. Предложены условия аминотилирования ангулярного дигидрофуранокумарина. Показано, что введение аминотильного фрагмента в структуру дигидрофуранокумарина (соединение **8**) увеличивает седативный эффект пеуценидина, установленный в поведенческих тестах “тиопентал-индуцируемого сна” и “открытого поля”.

Эксплуатационный запас травы и корней на изученных зарослях составил 189,5 кг и 98,6 кг соответственно.

Литература:

1. Shul'ts E.E., Ganbaatar Z., Petrova T.N. et al. Plant coumarins. IX.\* Phenolic compounds of *Ferulopsis hystrix* growing in Mongolia. Cytotoxic activity of 8,9-dihydrofurocoumarins // Chem. Nat. Compd. 48, 211–217. 2012. <https://doi.org/10.1007/s10600-012-0207-3>
2. Razuvaeva Y.G., Toropova A.A., Salchak S.M., Olennikov D.N. Coumarins of *Ferulopsis hystrix*: LC–MS Profiling and Gastroprotective and Antioxidant Activities of Skimmin and Peucenidin // Appl. Sci. 13, 9653. 2023. <https://doi.org/10.3390/app13179653>

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-25-20136) по направлению работ МНОЦ «Байкал», с использованием оборудования ЦКП БИП СО РАН, Химического исследовательского ЦКП СО РАН.

## **ВЛИЯНИЕ КОНЬЮГИРОВАННЫХ ФОРМ ОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ С ХИТОЗАНОМ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ И КАЧЕСТВО ПЛОДОВ ОГУРЦА**

**Овчинников И.А., Калацкая Ж.Н., Николайчук В.В.\***

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, igor-1606@mail.ru

\*Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск

Современные подходы развития биотехнологий для аграрного сектора включают разработку экологически безопасных биodeградируемых полимерных соединений с фитостимулирующими свойствами, которые представляют перспективные средства, повышающие защитные свойства растений к неблагоприятным климатическим условиям. Соединения, основанные на синтезе биополимеров с фенольными веществами, демонстрируют высокую эффективность за счёт синергетического взаимодействия компонентов. В частности, конъюгаты оксикоричных кислот с хитозаном могут быть использованы для регуляции физиологических и биохимических процессов в растениях, повышая их продуктивность и устойчивость к абиотическому стрессу.

Целью работы являлось изучение влияния лиофильных форм конъюгатов феруловой (Х30-ФРК) и кофейной (Х30-КФК) кислот на физиолого-биохимические параметры растений, продуктивность и качество плодов огурца в условиях теплицы.

Семена перед посадкой обрабатывались конъюгатами механическим перемешиванием до полного высыхания семян. Повторная обработка конъюгатами проводилась на 28-е сутки после появления всходов опрыскиванием по вегетирующим растениям. Контролем служили необработанные семена и растения, обработанные водой. Физиолого-биохимические показатели растений огурца определяли на листьях 4-ого яруса (от верха). Продуктивность и качество плодов огурца определяли на стадии плодоношения с 8-ой по 12-ю неделю вегетации.

Выявлено, что применение Х30-ФРК и Х30-КФК снижает накопление пролина в листьях растений огурца. Обработки способствовали увеличению активности пероксидазы в растениях, в то же время активность супероксиддисмутазы оставалась на уровне контроля. Конъюгаты вызвали накопление общего содержания фенольных соединений, а количество оксикоричных кислот не изменялось.

Конъюгаты не изменяли продуктивность растений, но снижали накопление нитратов в кожуре плодов. Содержание фенольных соединений в кожуре плодов при применении Х30-КФК снижалось, Х30-ФРК не изменял накопления фенольных соединений в кожуре плодов. В мякоти оба конъюгата способствовали увеличению содержания фенольных соединений.

Применение Х30-ФРК снижало содержание углеводов в кожуре плодов, а Х30-КФК напротив – увеличивало количество углеводов. В мякоти плодов Х30-ФРК и Х30-КФК привели к накоплению сахаров в 1,5 и 3,3 раза соответственно. Оба конъюгата вызвали увеличение содержания аскорбиновой кислоты как в кожуре, так и в мякоти плодов.

Применение конъюгатов оксикоричных кислот с хитозаном способствует активизации ростовых процессов в растениях, а также улучшает качество плодов огурца.



## **ФЛАВОНОИДЫ КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕМБРАН**

**Ефимова С.С., Мартынюк В.А., Злодеева П.Д., Малыхина А.И., Шекунов Е.В., Архипов А.В., Ишманов Т.Ф., Остроумова О.С.**

ФГБУН Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, +7 (812) 297-18-29,  
ostroumova@incras.ru

В работе обобщены результаты многолетних исследований авторов, посвященных модификации флавоноидами физических свойств липидных бислоев и выполненных с использованием электрофизиологических, флуориметрических, калориметрических и микроскопических методов. Особое внимание уделено индуцированным флавоноидами изменениям дипольного потенциала мембраны, плотности упаковки липидов и сценария фазовой сегрегации в бислое.

Впервые показано, что способностью снижать скачок электрического потенциала на границе раздела фаз мембрана-раствор более, чем на 100 мВ, характеризуются не только дигидрохалконы (флоретин), но и халконы (бутеин), флавоны (лютеолин), изофлавоны (биоханин А), а также флавонолы (физетин, мирицетин и кверцетин). Среди флавоноидов впервые обнаружено соединение, увеличивающее дипольный потенциал мембраны, – байкалеин. Проведен детальный анализ связи между структурой флавоноидов и индуцированными ими изменениями трансмембранного распределения электрического потенциала. Установлено, что рост полярности флавоноидов при раскрытии пиранового кольца, дегидрировании С2-С3 связи в 3-гидроксированных соединениях и дегликозилировании молекул приводит к увеличению диполь-модифицирующей способности. Вероятное изменение ориентации молекул флавоноидов в липидном бислое при метилировании, гидроксилировании или восстановлении двойной связи в гетероцикле флавонов также сказывается на их способности влиять на дипольный потенциал. Данные молекулярного моделирования указывают на различия механизмов модификации дипольного потенциала мембран при адсорбции флавонов и флавонолов, а также на значимость флавоноид-индуцированных изменений плотности упаковки липидов в бислое.

Установлено, что все протестированные халконы (бутеин, 4'-гидроксихалкон, кардамонин, ликохалкон А и изоликуритигенин), а также дигидрохалкон флоретин, флавоны лютеолин, флаваноны (ликуритигенин и нарингенин), флаванол таксифолин вызывают резкое снижение температуры и кооперативности плавления липидов. Разупорядочивающее действие флавоноидов объясняется их встраиванием между «головками» липидов и соответствующим падением плотности упаковки. Эффект зависит от липофильности молекул модификаторов и состава мембраны. Последнее определяет вызванные флавоноидами изменения сценария фазовой сегрегации в бислое. На основании характера изменения термограмм плавления липидов выдвинуты предположения о локализации различных флавоноидов в мембране.

В работе продемонстрировано, что модификация свойств липидного матрикса при введении флавоноидов ответственна за потенциацию порообразующей активности антибиотиков полимиксина Б и амфотерицина Б, а также ингибирование слияния мембран под действием пептидов слияния вирусов Марбург и простого герпеса 1.

*Работа выполнена при поддержке РФФ (№ 25-14-00162).*



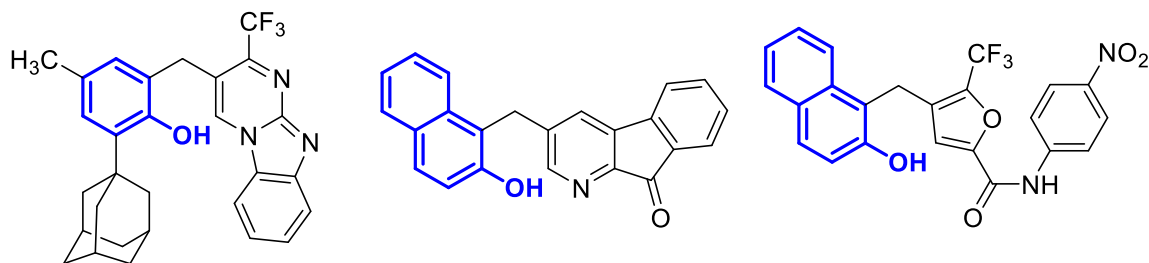
## ПРОТИВОВИРУСНАЯ АКТИВНОСТЬ СИНТЕТИЧЕСКИХ ФЕНОЛОВ С ФРАГМЕНТАМИ ГЕТЕРОЦИКЛОВ В ОТНОШЕНИИ ВИРУСА ГРИППА А (H1N1)

Осипов Д.В., Красников П.Е., Осянин В.А.

ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет, +79991729874,  
vosyanin@mail.ru

Фенолы, а также их конденсированные производные, представляют перспективные классы соединений для разработки новых противовирусных препаратов, в том числе эффективных в отношении вирусов герпеса, гепатита С, ВИЧ, гриппа. В последние годы были разработаны синтетические аналоги природных фенолов, которые демонстрируют повышенную эффективность против вируса H1N1, впервые выявленного в 1918 г. во время пандемии «испанского гриппа» и получившего распространение в 2009 г. во время пандемии «свиного гриппа» (штамм A/H1N1pdm09). Способность полифенольных соединений подавлять жизненный цикл вируса гриппа на различных этапах (ингибирование связывания вируса с клеткой-хозяином, подавление репликации вирусной РНК, ингибирование процессинга вирусных белков, активация иммунного ответа) делает их особенно ценными в условиях растущей устойчивости вирусов к существующим препаратам. Однако для практического применения необходимо решить вопросы, связанные с биодоступностью и токсичностью этих соединений.

В рамках исследований, направленных на изучение синтетического потенциала 4H-хроменов применительно к синтезу производных фенолов, нами был получен ряд гетероциклов, связанных метиленовым мостиком с фенольным или нафтольным фрагментом, и на базе Санкт-Петербургского НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера проведена оценка их способности защищать клетки линии MDCK в культуре от патогенного действия вируса гриппа A/Puerto Rico/8/34 (H1N1). Структуры наиболее активных производных фенолов представлены на рисунке.



*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00253-П с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов» СамГТУ.*

## ЛИОФИЛИЗАТ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИН-ГЛИЦИН

**Панков Д.И., Терехов Р.П., Корочкина М.Д., Свотин А.А., Колесникова Д.Р., Рахимов А.А., Селиванова И.А.**

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, +7 (926) 548-85-22, [pankov\\_d\\_i@staff.sechenov.ru](mailto:pankov_d_i@staff.sechenov.ru)

Флаванол дигидрокверцетин (ДКВ) способен ингибировать образование фибрилл  $\beta$ -амилоида – белка, играющего ключевую роль в патогенезе болезни Альцгеймера (1). Однако ДКВ очень мало растворим в воде при комнатной температуре, что становится технологическим ограничением для дальнейшей разработки лекарственных средств на его основе. Преодолеть данное ограничение часто удается путем получения монофазных композиций флавоноидов с различными коформерами, например, аминокислотами. Простейшая альфа аминокислота глицин может усилить нейропротекторное действие ДКВ, поскольку способна регулировать активность c-Jun N-терминальных киназ и тем самым предотвращать дегенерацию нервной ткани (2).

Целью настоящей работы было получить монофазную композицию ДКВ-глицин, охарактеризовать физико-химическими методами анализа и оценить ее цитотоксичность.

Композиция ДКВ-глицин была получена сублимационной сушкой водного раствора, содержащего 13 мг/мл ДКВ и 67 мг/мл глицина. Морфология лиофилизата охарактеризована методом сканирующей электронной микроскопии. Кристалличность продемонстрирована спектрами рентгеновской порошковой дифракции. Термический анализ проведен путем дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии. Цитотоксичность оценена на клеточных линиях карциномы кишечника человека (Caco-2), эмбриональной почки человека (НЕК 293), эпителия пупочной вены человека (HUVES) и эмбриональных фибробластов мыши (3Т3). Подсчет клеток осуществляли с помощью ССК-8 и микропланшетного спектрофотометра.

Леофилизат ДКВ-глицин обладает особой морфологией: частицы имеют форму тонких чешуек с перфорированной поверхностью, на которой различимы бороздки, в то время как поверхность исходных компонентов и их леофилизатов гладкая. Кристалличность леофилизата выражена в меньшей степени по сравнению с исходными компонентами. Температура плавления продукта (210 °С) меньше, чем леофилизата ДКВ (228 °С). Растворимость в 0,9% водном растворе натрия хлорида композиции выше по сравнению с субстанцией ДКВ. Для механической смеси ДКВ-глицин значения IC<sub>50</sub> составили 0,126, 0,475, 0,325 и 0,380 мг/мл при тестировании на клеточных линиях Caco-2, НЕК293, HUVES и 3Т3 соответственно. Леофилизат ДКВ-глицин характеризуется более высокой биологической активностью по отношению к клеткам Caco-2 (IC<sub>50</sub> 0,064 мг/мл). На других клеточных линиях значения IC<sub>50</sub> составили: 0,303 мг/мл (HUVES), 0,227 мг/мл (НЕК 293) и 0,089 мг/мл (3Т3).

Полученная твердая монофазная система ДКВ-глицин может быть пригодна для разработки новой лекарственной формы «лиофилизат» и дальнейшего ее использования в доклинических испытаниях на безопасность и эффективность при нейродегенеративных заболеваниях.

### Литература

1. Yang R, Yang X, Zhang F. New perspectives of taxifolin in neurodegenerative diseases. *Current Neuropharmacology*. 2023;21(10):2097–109.
2. Ullah R, Jo MH, Riaz M, Alam SI, Saeed K, Ali W et al. Glycine, the smallest amino acid, confers neuroprotection against D-galactose-induced neurodegeneration and memory impairment by regulating c-Jun N-terminal kinase in the mouse brain. *J Neuroinflammation*. 2020;17(1):303.

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МИКРОПОБЕГАХ *ASTRAGALUS CICER* И *ASTRAGALUS GLYCYPHYLLOS* ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТИДИАЗУРОНА

**Панова У.Л.<sup>1,2</sup>, Амброс Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск,

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, u.panova@g.nsu.ru

Растения рода *Astragalus* L. являются ценным источником фенольных соединений с выраженными антиоксидантной, антибактериальной, противовирусной, кардиотонической, гепатопротекторной активностями. В качестве альтернативного решения проблемы получения растительного сырья, содержащего ценные метаболиты, в последние годы используются биотехнологические подходы. Методы биотехнологии позволяют не только размножать растения *in vitro*, но и целенаправленно управлять их метаболизмом для повышения выхода целевых вторичных метаболитов.

Целью работы было индуцировать биосинтез фенольных соединений в культурах *in vitro* *A. cicer* L. и *A. glycyphyllos* L. под действием тидиазурона и выявить взаимосвязь уровня их аккумуляции с антиоксидантной активностью. В качестве исходного материала использовали зрелые семена *A. cicer* и *A. glycyphyllos*. Прямой органогенез *in vitro* индуцировали из пазушных почек вегетативных побегов проростков. Пазушные почки культивировали на питательных средах по прописи Мурасиге-Скуга (МС) и модифицированной среде МС с удвоенным содержанием железа (Fe-хелат×2), дополненных 0,05; 0,1; 0,5 мг/л тидиазуроном (ТДЗ). Количественное определение фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантной активности (АОА) проводили спектрофотометрическими методами. Контролем служили экстракты из интактных растений.

Установлено, что условия культивирования значимо влияют на накопление фенольных соединений. Для *A. cicer* максимальное содержание фенолов достигнуто на среде МС с 0,1 мг/л ТДЗ, превысив показатели интактных растений в 1,5 раза. Для *A. glycyphyllos* наибольшее содержание отмечено на среде МС с Fe-хелат×2 с 0,05 мг/л ТДЗ. Накопление флавоноидов также демонстрировало видовую специфичность: у *A. glycyphyllos* их уровень был наиболее высоким на стандартной контрольной среде без добавления ТДЗ (8,74 мг/г), тогда как у *A. cicer* максимальное содержание индуцировано на среде МС с Fe-хелат×2 с 0,1 мг/л ТДЗ (6,7 мг/г) и в интактных растениях (7,62 мг/г) относительно контролей на стандартной среде МС и с Fe-хелат×2 соответственно (2,95 и 4,63 мг/л). Антиоксидантная активность коррелировала с содержанием фенольных соединений. Максимальные значения АОА у *A. cicer* (2,45 мг/г) зафиксированы на среде МС с Fe-хелат×2, что соответствовало уровню природных растений. У *A. glycyphyllos* наивысшая АОА (1,83 мг/г) отмечена на стандартной среде МС, при этом значения *in vitro* стабильно превышали показатели *in situ* на 5–10%, что свидетельствует о конститутивно высокой антиоксидантной активности данного вида.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН № АААА-А21-121011290025-2.

## СОСТОЯНИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО

Полякова Л.В., Кузнецова Н.Ф.

ВНИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии, Воронеж. polyakova\_lv@mail.ru

Сравнительное изучение старовозрастных и молодых дубрав, произрастающих в одной климатической зоне (Донецкая, Харьковская обл., Украина), позволило оценить влияние внешних факторов на устойчивость насаждений дуба к фито- и филлофагам. С XX века в разных регионах страны происходит массовое усыхание дуба черешчатого [Крюкова Е.А., Скуратов И.В., 2009]. Потепление лесостепного климата усилило интенсивность инвазий насекомых, мучнистой росы (МР) и бурой пятнистости (БП) (*Erysiphe alphytoides*, *Gloeosporium quercinum*). Наиболее четкое подтверждение усиления воздействия этих факторов дает сравнительный биохимический анализ 200-300-летних деревьев и 50-летней культуры дуба, произрастающих на территории Святогорской лавры Донецкой области. Из основных листогрызущих насекомых молодая культура дуба на 250% активнее повреждалась дубовым блошакom (*Altica quercetorum*) и на 240% – пяденицей обдирало (*Erannis defoliaria*). Степень поражения молодых деревьев по сравнению со старовозрастными МР более чем в 2 раза выше. Биохимический анализ (2012-2013 гг.) показал, что уровень содержания белка (Б) в листьях как старовозрастных, так и 50-летних деревьев практически одинаковый (9-11%), при низкой вариабельности показателя (CV=8-12%). Различия между объектами проявились на уровне синтеза вторичных метаболитов, которые часто рассматриваются как важные компоненты антиоксидантной защиты растений от влияния УФ излучения, а также при разнообразных инвазиях патогенов и вредителей в их клетки. При сравнительном анализе данных установлено, что содержание флавонолов (ФЛ) (производные кверцетина) изменилось незначительно в листьях молодых деревьев дуба (на 5% и 4%). Существенно снизился уровень веществ флаваноловой структуры – катехинов (КТ) – на 200-250%.

Анализ энтомо-фитопатологического состояния насаждений показал, что основными возбудителями очагов инфекционного усыхания деревьев являются МР (48.6%) и БП (13.6%). Уровень КТ пораженных растений выше в 1.5 - 2 раза. Это указывает на перестройку метаболизма, а именно, перенаправлена работа предшественника этих структур – дигидрокверцетина [Vogt, 2010] - с группы ФЛ на преимущественный синтез КТ. Снижение уровня ФЛ часто проявляется в некотором увеличении ростовой активности сеянцев [Agati G. et al., 2012]. Возможно, в наблюдаемом отличии активности ФЛ и КТ проявляется их способность использовать для своего синтеза УФ излучение разной длины волны. Это свойство отмечено нами при анализе 6-месячных сеянцев дуба, выращенных в лабораторных условиях. Так как в помещении нет опасного для патогенов УФ-В излучения 280-320 нм, поэтому в листьях сеянцев полностью отсутствовали КТ, но активно синтезировались ФЛ (УФ-А, 320-400 нм). Отсутствие КТ выявлено и у 1-2-летних сеянцев дуба, выращиваемых в теплице. Аналогичные данные получены при изучении листьев березы [Morales et al., 2010]. При переносе сеянцев в открытый грунт синтез КТ восстанавливался, но при этом отмечалась значительная вариабельность признака. Наиболее устойчивый показатель КТ (вариабельность около 20%) обнаружен только в группе устойчивых к инфекциям МР и БП молодых растениях. Инфицирование листьев приводит к 1.5-2-кратному повышению уровня КТ, увеличению вариабельности признака до 50-60%, при этом высота сеянцев, как правило, возрастает. Данная тенденция сохранялась и в 16-летней культуре. В группе плюсовых деревьев уровень ФЛ пораженных МР листьев снизился на 21%, уровень КТ, напротив, на 23% повысился, а диаметр восприимчивых к патогену деревьев стал выше на 11.5%. Подтвердилась гипотеза [Agati et al., 2012] о влиянии ФЛ на ингибирование осевого транспорта ауксинов в растении. Полученные данные показывают значимость поддержания полного спектра солнечной активности при выращивании посадочного материала, так как в теплицах может отсутствовать УФ-В спектр.

## **УЧАСТИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ В РЕГУЛЯЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ *SOLANUM TUBEROSUM* В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКЦИИ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА**

**Пузина Т.И., Макеева И.Ю., Кириллова И.Г.**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», 89192094467,  
tipuzina@gmail.com

Физиолого-биохимическая роль гидроксикоричных кислот и, прежде всего, кофейной кислоты в условиях стресса, вызванного действием фармакологических препаратов остается практически не изученной. Исследовали влияние 0.1 мМ раствора кофейной кислоты (Sigma, США) в условиях деструкции микротрубочек 15 мкМ раствором оризалина - гербицидом алифатического ряда на параметры флуоресценции хлорофилла с использованием флуориметра M1N1-PAM (Walz, Германия), нециклического фотофосфорилирования изолированных хлоропластов, интенсивность фотосинтеза по поглощению  $\text{CO}_2$  на газоанализаторе GFS - 3000 FL (Германия). В качестве объекта исследования использовали растения картофеля сорта Жуковский ранний, выращенные в почвенной культуре.

Варианты опыта включали: опрыскивание растений раствором оризалина и оризалина + кофейная кислота через 15 суток после появления всходов. Контрольные растения обрабатывали водой. Анализировали листья 6 яруса срединной формации. Исследование фотофизического этапа световой фазы фотосинтеза выявило снижение на 15 % энергетических потерь ( $F_0$ ) при передаче энергии возбуждения в антенне и от антенны в реакционный центр фотосистемы II под влиянием кофейной кислоты в условиях деструкции тубулинового цитоскелета ( вариант оризалин + кофейная кислота). Одновременно, на 32 % уменьшилось и нефотохимическое тушение флуоресценции (NPQ), то есть преобразование в тепло части энергии, поглощенной в световой фазе.

Кофейная кислота, стабилизируя потери энергии в процессе флуоресценции в результате деструкции тубулинового цитоскелета оризалином, активизировала в 1.9 раза процесс нециклического фотофосфорилирования. На фоне активизации реакций световой фазы фотосинтеза обработка кофейной кислотой в условиях фармакологического стресса, вызванного деструктором микротрубочек, на 22 % увеличила интенсивность ассимиляции углекислого газа. Ранее нами показано, что кофейная кислота обладает антиоксидантными свойствами.

По-видимому, в условиях стресса она стабилизирует структурно-функциональную организацию хлоропластов за счет сохранения цитоскелет-мембранного континуума, что положительно сказывается на световых реакциях фотосинтеза.

## 2 – ГИДРОКСИФЕНИЛФОСФОНОВЫЕ КИСЛОТЫ: СИНТЕЗ. КОМПЛЕКСЫ МЕДИ(II). БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Рогачёва Ю.И.<sup>1,2\*</sup>, Баулин Д.В.<sup>2</sup>, Цебрикова Г.С.<sup>2</sup>, Лапшина М.А.<sup>1</sup>, Николаева Н.С.<sup>1</sup>, Иванова Е.Н.<sup>3</sup>, Пятова И.С.<sup>3</sup>, Соловьев В.П.<sup>2</sup>, Илюхин А.Б.<sup>3</sup>, Цивадзе А.Ю.<sup>2</sup>

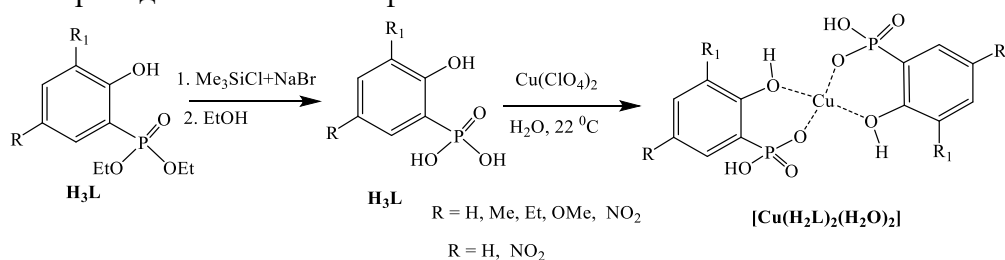
<sup>1</sup>ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, Институт физиологически активных веществ РАН, Черноголовка, Московской обл., \*ximik1988200811@rambler.ru

<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, Москва

<sup>3</sup>Институт общей и неорганической химии им. А. Н. Курнакова РАН, Москва

Одним из эффективных подходов к созданию новых биологически активных веществ является синтез, изучение физико-химических и биологических свойств органических соединений (лигандов) и их координационных соединений с биологически активными металлами. Меняя структуру лиганда, природу и степень окисления иона металла, можно влиять на биологические свойства.

2-Гидроксibenзойная (салициловая) кислота стимулирует защитные реакции растений в условиях стресса, болезней и холода, а также влияет на процессы цветения и роста. 2-Гидроксибензилфосфоновые кислоты (**H<sub>3</sub>L**) являются малоизученными структурными аналогами салициловой кислоты, в которой карбоксильная группа заменена фосфоновым фрагментом, что приводит к изменению физико-химических и биологических свойств.



**Рисунок 1.** Схема получения 2-гидроксибензилфосфоновых кислот **H<sub>3</sub>L** и комплексов **[Cu(H<sub>2</sub>L)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>]**.

В настоящей работе впервые синтезирован ряд кислот **H<sub>3</sub>L** и их медные комплексы **[Cu(H<sub>2</sub>L)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>]** (рис.1), структура которых подтверждена данными DFT-моделирования, элементного анализа, ЯМР, ИК, электронной спектроскопии и РСА. Методом потенциометрического титрования в воде получены значения констант протонирования и константы устойчивости комплексов меди(II). Исследованы цитотоксичность полученных соединений на опухолевых клетках HeLa и защитное действие в условиях развития окислительного стресса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-13-00109).



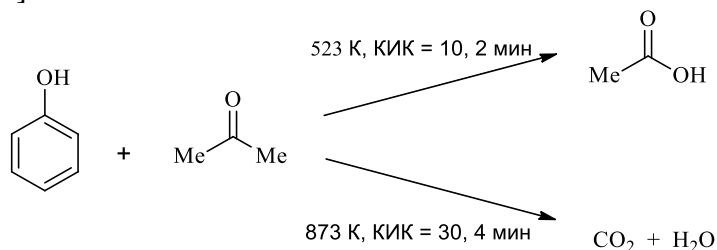
## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПУТИ УТИЛИЗАЦИИ СТОКОВ ФЕНОЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В СУБ- И СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ УСЛОВИЯХ

Вольева В.Б., Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В., Аетов А.У.\*, Усманов Р.А.\*, Гумеров Ф.М.\*, Варфоломеев С.Д.

ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
hvestik85@yandex.ru

\*ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Казань

Система фенол – ацетон – вода, моделирующая стоки фенольных производств, окислена  $O_2$  в непрерывном режиме в суб- и сверхкритических флюидных условиях (СКФ) в диапазоне температур 523-873 К, при  $p = 25$  МПа с варьированием времени процесса и коэффициента избытка кислорода (КИК). При параметрах  $T = 523$  К, КИК = 10, время 2 мин органические соединения целиком превращаются в уксуную кислоту. При  $T = 873$  К, КИК = 30, время 4 мин происходит количественное окисление модельной системы в  $CO_2$  и  $H_2O$  (эффективность 0.983) [1].



Требуемые результаты достигаются при точном соблюдении параметров СКФ-процесса [2].

### Литература:

1. Aetov A.U., Usmanov R.A., Gabitov R.R., Mazanov S.V., Vol'eva V.B., Ovsyannikova M.N., Ryzhakova A.V., Musin R.Z., Gumerov F.M., Varfolomeev S.D. Chemical Transformations of Fatty Acids in the Hydrolysis of Triglycerides. Selective Isolation of Oleic Acid from Rapeseed Oil under Sub- and Supercritical Water Conditions // Russ. J. Org. Chem. 2024, 60 (4), 625–631.
2. Гумеров Ф.М., Усманов Р.А., Мазанов С.В., Габитова А.Р., Мифтахова Л.Х., Габитов Р.Р., Бикташ Ш.А., Газизов Р.А., Рабитов Г.Ф., Зарипов З.И., Курдюков А.И., Абдулагатов И.М., Варфоломеев С.Д., Вольева В.Б., Габитов И.Р., Шамсетдинов Ф.Н., Билалов Т.Р., Никитин В.Г., Каралин Э.А., Мингулов И.Г., Шаповалов Ю.А. Биодизельное топливо. Переэтерификация в сверхкритических флюидных условиях. – Казань: ООО «Инновационно-издательский дом «Бутлеровское наследие»; 2017. – 360 с.

## **ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА МЯТА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ**

**Казакова М.А., Куркин В.А., Савельева А.Е., Зайцева Е.Н., Цибина А.С.**  
ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, a.e.saveleva@samsmu.ru

На территории Российской Федерации произрастает около 20 различных видов рода Мята (*Mentha* L.). Однако Государственная фармакопея Российской Федерации (ГФ РФ) регламентирует качество сырья только одного вида рода Мята – мяты перечной (*Mentha piperita* L.). Листья мяты перечной – ценный источник биологически активных соединений (БАС), в том числе фенольной природы. Сравнительное спектрофотметрическое исследование листьев некоторых видов и сортов рода *Mentha* L. позволило установить наличие общих химических соединений в их компонентном составе, а дальнейшее сравнительное исследование фармакологической активности будет способствовать обоснованию внедрения новых перспективных растительных источников БАС.

Цель исследования – изучение нейротропной и диуретической активности сухих экстрактов листьев различных видов и сортов мяты, а также индивидуальных соединений, входящих в их состав.

Объектами исследования являлись листья мяты перечной (*Mentha piperita* L.), мяты перечной сорт «Шоколадная» (*Mentha piperita* L. cv. Chocolate), мяты круглолистной сорт «Ананасная» (*Mentha rotundifolia* (L.) Huds. cv. Ananasminze), мяты перечной сорт «Карамельная» (*Mentha piperita* L. cv. Карамельная), мяты перечной сорт «Ментоловая» (*Mentha piperita* L. cv. Ментоловая), собранные в ботаническом саду Самарского университета (г. Самара), а также фармакопейная настойка мяты перечной (Ивановская фармацевтическая фабрика). Исследовали индивидуальные соединения, такие как розмариновая кислота и 5,3'-дигидрокси-6,7,8,4'-тетраметоксифлавоны, выделенные при помощи метода адсорбционной колоночной хроматографии из листьев мяты перечной. Идентификация соединений основана на данных УФ-, <sup>1</sup>H-ЯМР-, <sup>13</sup>C-ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии

Подтверждено соответствие всех образцов требованиям ГФ РФ по содержанию суммы флавоноидов в пересчете на лютеолин. Установлено содержание суммы фенилпропаноидов в пересчете на розмариновую кислоту, в соответствии с ранее разработанной нами методикой. Из листьев исследуемых образцов растений и настойки получены сухие экстракты. Исследования фармакологической активности проводили на кафедре фармакологии имени заслуженного деятеля науки РФ профессора А.А. Лебедева ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России.

В результате исследования биологической активности этих сухих экстрактов и выделенных индивидуальных веществ определено, что выраженную диуретическую активность показали сухой экстракт листьев мяты перечной, мяты перечной сорт «Шоколадная» и мяты длиннолистной.

В результате исследования нейротропной активности сухого экстракта мяты длиннолистной было выявлено антидепрессантное действие, несмотря на это сухой экстракт листьев мяты перечной и 5,3'-дигидрокси-6,7,8,4'-тетраметоксифлавоны наоборот снижали двигательную активность животных на 73%, проявляя седативный эффект.

Диагностически значимый компонент листьев мяты перечной и сортовых форм мяты перечной (фенилпропаноид – розмариновая кислота) проявляет как выраженную диуретическую, так и нейротропную активность.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения представителей рода *Mentha* L. для последующего внедрения новых видов лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов на их основе, а также получения новых источников для выделения биологически активных индивидуальных соединений.

## **МОДУЛЯЦИЯ БИОПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ У МУТАНТОВ *ESCHERICHIA COLI* ПО МЕТАБОЛИЗМУ ЦИСТЕИНА В ПРИСУТСТВИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Самойлова З.Ю., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н.**

«Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН», ПФИЦ УрО РАН, Пермь,  
(342)212-20-86, samzu@mail.ru

Молекулярные механизмы, приводящие к положительному влиянию фенольных веществ растительного происхождения на человеческий организм, мало изучены и, предположительно, могут быть связаны со способностью растительных фенолов модулировать активность кишечной микрофлоры за счет про- и антиоксидантного действия. Редокс-активные фенолы могут влиять на состояние SH-групп в ферментах и регуляторных белках, изменять активность антиоксидантных систем и уровень глутатиона. Источником SH-групп при синтезе белков и глутатиона является L-цистеин. Бактерии *Escherichia coli* могут синтезировать цистеин из L-серина при участии цистеинсинтаз CysK и CysM, или импортировать его из среды в форме цистина. Избыток цистеина токсичен для клеток и может снижаться за счет активации экспорта цистеина с участием транспортера EamA или его деградации десульфгидразами MstA, CyuA и IscS с образованием H<sub>2</sub>S. Целью настоящей работы являлось изучение влияния мутаций в метаболизме цистеина (*mstA*, *cyuA*, *eamA*, *cysM*, *cyuR*, *iscS*) и фенольных соединений (кверцетина, галловой, хлорогеновой, кофейной, танниновой и р-кумаровой кислот) на биопленкообразование (БПО) у *E. coli* (Keio collection).

Культивирование проводили в стационарных условиях при 37 °С в течение 22-24 ч в 96-луночных полистироловых планшетах со средой М9 с добавлением 4 г/л глюкозы и 5 мМ испытуемых веществ. Рост клеток и интенсивность биопленкообразования оценивали, окрашивая планшеты генцианвиолетом и измеряя показатель оптической плотности (OD) при 600 и 540 нм с помощью планшетного спектрофотометра xMark™ (Bio-Rad, США).

Наличие указанных мутаций в отсутствии фенольных соединений приводило к изменению показателя удельного биопленкообразования (SBF), который посчитывали как отношение OD<sub>540</sub> к OD<sub>600</sub>. Делеция гена *iscS* приводила к двукратному повышению SBF. Делеции по генам *mstA*, *eamA* и *cysM* подавляли SBF в 1,5 раза по сравнению с диким типом.

Среди испытуемых фенольных соединений в диком типе стимулирующее влияние на SBF оказывали танниновая, кофейная и хлорогеновая кислоты, подавляющее – р-кумаровая и эллаговая кислоты.

Испытуемые мутации не оказывали влияния на эффект танниновой кислоты. В то же время все мутации, за исключением *iscS* и *cyuA*, подавляли стимулирующее влияние кофейной кислоты и приводили к уменьшению SBF в 2-3 раза по сравнению с диким типом. Все испытуемые мутации в присутствии хлорогеновой кислоты подавляли SBF до 5 раз по сравнению с диким типом. При обработке эллаговой кислотой все мутанты, за исключением *iscS*, демонстрировали снижение SBF в 1,5-2,0 раза. В случае р-кумаровой кислоты снижение SBF в 1,5 раза отмечалось у мутантов по генам *mstA*, *eamA*, *cysM*, *cyuR*, а повышение – у мутанта *iscS*.

Наши результаты свидетельствуют о вовлеченности цистеина в процесс бактериального БПО, а также о способности фенольных соединений природного происхождения модулировать метаболизм цистеина и, опосредованно, процесс БПО. Требуется дальнейшие исследования роли тиолов в модуляции БПО фенольными соединениями у бактерий.

*Работа выполнена в соответствии с госзаданием № 124020500028-4.*

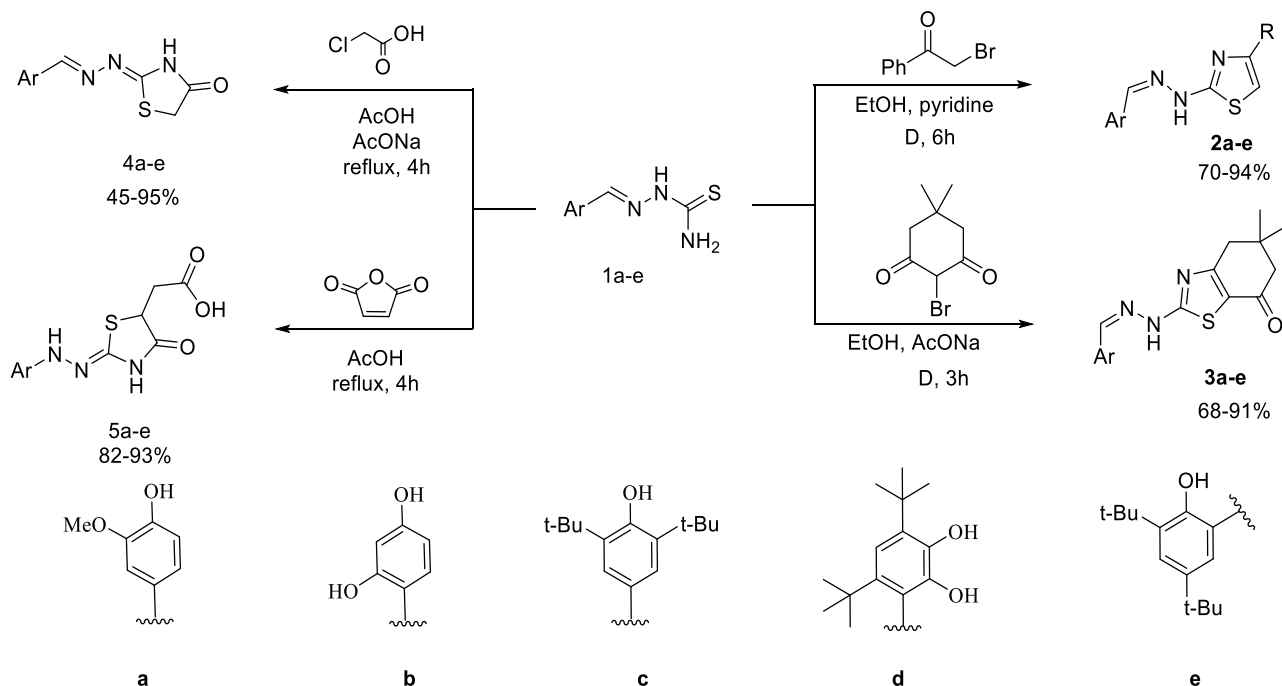
## СИНТЕЗ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛА И ТИАЗОЛИДИНОНА, СОДЕРЖАЩИХ ФРАГМЕНТ ФЕНОЛА

Снастина О.В., Панкратова Е.С., Кошелев В.Н.

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва, +79091320899,  
primerova92@yandex.ru

Окисление – радикальный цепной химический процесс, влияющий как на промышленные материалы, так и на биологические системы [1]. Неконтролируемое окисление в живых организмах вызывает окислительный стресс – дисбаланс между активными формами кислорода (АФК) и антиоксидантной защитой. Таким образом, поиск новых антиоксидантов остается актуальной задачей в различных областях, включая медицинскую химию, фармакологию и нефтяную промышленность. Один из современных подходов к синтезу антиоксидантов состоит в сочетании структурных функциональных фрагментов в молекуле целевого соединения. Такой подход направлен на создание молекул с мультифункциональным действием, способных эффективно ингибировать окислительные процессы, работая по различным механизмам – захват свободных радикалов, стабилизация перекисных форм (активных форм кислорода – АФК) и хелатирование ионов металлов.

В данной работе был синтезирован ряд производных тиазола и тиазолидинона, с фрагментами фенола. В качестве стартовых соединений использовали тиосемикарбазоны ряда формилфенолов: ванилина, формилрезорцина, пространственно затрудненных формилфенолов. При взаимодействии тиосемикарбазонов с  $\alpha$ -галогенкетонами – бромацетофеноном и бромдимедоном тиазолы **2a-e** и **3a-e**. При взаимодействии тиосемикарбазонов с хлоруксусной кислотой и малеиновым ангидридом были получены тиазолидиноны **4a-e** и **5a-e**.



Антиокислительные свойства полученных соединений были проанализированы с помощью методов ABTS и PFRAP. Лучшую активность проявили производные тиазолидинона **4** и **5**.

Литература:

Koshelev V. N. Synthesis and Antioxidant Activity of Novel Thiazole and Thiazolidinone Derivatives with Phenolic Fragments //Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – №. 24. – С. 13112.

## ЯМР $^1\text{H}$ - ПРОФИЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СОЛОДКИ

Васильев В.Г., Соболева Н.Я., Селиванова И.А.

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, +7 (985) 466-90-72, nata17557668@mail.ru

Разработка экспресс-методик на основе высокотехнологичных инструментальных методов имеет важное значение для фармацевтического анализа. В последнее время метод спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$  активно внедряется в область стандартизации лекарственных растений и лекарственного растительного сырья. Метод не требует сложной пробоподготовки, чувствителен и информативен.

Цель работы заключается в сопоставительном анализе профилей спектров ЯМР  $^1\text{H}$  различных видов солодки, как основы их идентификации.

В работе в качестве растворителя для экстракции и регистрации спектров ЯМР использован диметилсульфоксид- $\text{d}_6$  (ДМСО- $\text{d}_6$ ,  $\geq 99,9\%$ , Sigma-Aldrich, номер CAS №2206-27-1). Исследованы корни следующих видов солодки: Солодка гладкая (*Glycyrrhiza glabra* L.), Солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.), Солодка щетинистая (*Glycyrrhiza echinata* L.).

Для приготовления растворов для анализа корни солодки измельчали в лабораторной мельнице (IKA A-11 Basic) до однородного порошкообразного состояния. К навеске 25 мг исследуемого образца добавляли 700 мкл диметилсульфоксида, полученную суспензию встряхивали 10 мин на шейкере (IKA VXR S0000), центрифугировали с использованием центрифуги (Eppendorf Mini Spin) в течении 10 мин при скорости 14000 об/мин. Надосадочную жидкость переносили в 5-миллиметровую пробирку для ЯМР-анализа и регистрировали спектр ЯМР  $^1\text{H}$ .

Эксперимент проводили на спектрометре ЯМР Avance NEO 700 (Bruker, Швейцария) с рабочей частотой для протонов 700 МГц в следующих условиях: релаксационная задержка – 20 сек., количество точек данных – 65536, ширина развертки – 22 м.д., время сбора данных – 1,98 сек., количество накоплений – 16, угол возбуждения –  $30^\circ$ . Пострегистрационную обработку спектров ЯМР  $^1\text{H}$  осуществляли с помощью программного обеспечения MestReNova (Испания). Фазу и базовую линию настраивали в ручном режиме.

Общими в профилях всех трех видов солодки являются сигналы в области 3,55 м. д., 5.2 м.д., характерные для протонов углеводов. В области ароматических протонов интенсивные дублеты проявляются при 6.55 м.д. и 6.90 м.д. в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  всех видов солодки, однако в спектре ЯМР  $^1\text{H}$  Солодки Щетинистой, они являются мажорными. Профили спектров ЯМР  $^1\text{H}$  каждого вида солодки имеют свои особенности и отличаются между собой сигналами в слабом поле. Для Солодки Гладкой характерны сигналы при 13.52 м.д. и 14.03 м. д., для Солодки Уральской 13.27 м.д., а для Солодки Щетинистой сигналы в этой области не обнаружены.

Установлено, что профили спектров ЯМР  $^1\text{H}$ , подобно отпечаткам пальцев, могут служить для идентификации различных видов солодки.



## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛЬНЯНОМ МАСЛЕ

Сосновская А.А., Едимечева И.П., Ксендзова Г.А.

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, anna-sosn@mail.ru

Льняное масло (МЛ) является богатым растительным источником  $\alpha$ -линоленовой кислоты (АЛК), относящейся к семейству омега-3 полиненасыщенных жирных кислот. К сожалению, большое содержание АЛК обуславливает высокую восприимчивость МЛ к окислению, что приводит к значительному ухудшению его органолептических свойств и пищевой ценности за короткое время хранения. Для повышения окислительной стабильности полиненасыщенных масел в настоящее время в качестве альтернативы синтетическим антиоксидантам (АО) все чаще используются природные АО, которые являются более безопасными, не проявляющими отрицательного воздействия на организм даже при длительном применении. Фенольные соединения повсеместно встречаются в растительном мире и хорошо известны своей пользой для здоровья. Они показали АО-активность при окислении липидов ряда растительных масел, а также *in vivo*.

В настоящем исследовании изучена эффективность 26 природных фенольных АО в ингибировании окисления МЛ в условиях ускоренного окисления при 100 °С. С этой целью были определены значения периодов индукции и эффективности ингибирования окисления МЛ (фактора стабилизации, ФС) в присутствии добавок 0,02 масс. % природных фенольных кислот и их производных, кумаринов и ряда других фенольных соединений, а также для сравнения и некоторых известных синтетических АО. Выявлены наиболее эффективные АО среди изученных природных соединений – галловая и кофейная кислоты, фраксетин, госсипол (ФС = 1,97–2,58). АО-активность фраксетина, галловой и кофейной кислот статистически значимо не отличается от синтетических АО пропилгаллата и аскорбилпальмитата (АП), но существенно превышает АО-активность ионола. Меньшую эффективность проявила вторая группа природных АО, включающая синаповую кислоту, эскулетин и кверцетин (F = 1,40–1,52). Другие гидроксилированные производные бензойной и коричной кислот, а также кумарин, дикумарол, куркумин и ресвератрол показали в МЛ низкую АО-активность либо ее отсутствие. Показано, что использование композиций АП и природных АО, таких как галловая и кофейная кислоты, фраксетин, позволяет эффективно ингибировать окисление МЛ, существенно повышая фактор стабилизации (до 3,77–4,18). Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии структурных особенностей фенольных соединений на их АО-активность. Установлено, что гидроксилированные производные коричной кислоты – кофейная, феруловая, синаповая, – более активно ингибируют окисление МЛ, чем соответствующие производные бензойной кислоты протокатеховая, ванилиновая и сиреневая. Среди изученных соединений монофенольные производные, включая классический АО ионол, проявляли достаточно низкую АО-активность или не проявляли её вовсе. Наличие в структуре фенольных соединений фрагментов 1,4-дигидроксибензола, 1,2,3-тригидроксибензола и 1-метокси-2,3-дигидроксибензола приводило к максимально высокой АО-активности в МЛ. Менее активными были вещества с 1,2-дигидроксибензольным фрагментом в совокупности с отсутствием электроакцепторной карбонильной группы в пара-положении к одной из гидроксильных групп. Обсуждены возможные механизмы процессов, протекающих в МЛ в присутствии АО.

Результаты проведенного исследования будут полезны при разработке новых методов стабилизации МЛ, обеспечивающих его надежную и безопасную защиту от окисления, увеличение сроков хранения и повышение нутрицевтической ценности.

*Результаты данной работы получены в рамках выполнения ГПНИ РБ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» (задание № 2.2.01.05).*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО УДЕРЖИВАНИЯ ЗАМЕЩЕННЫХ ФЛАВОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Ставрианиди А.Н., Розанов И.А., Буряк А.К.**

\*ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), Москва, +74959392277, stavrianidi.andrey@gmail.com

Прогнозирование порядка элюирования близких структурных аналогов и изомеров является критически важным этапом дерепликации растительных метаболитов. Применение машинного обучения (МО) является эффективным подходом к автоматизации аннотации пиков путем нахождения соотношений «структура-удерживание». В данном исследовании четыре модели МО были обучены прогнозировать порядок элюирования замещенных производных флавонола. Флавоноиды имеют основной 15-углеродный флавоновый скелет, состоящий из двух бензольных колец (А и В), соединенных трехуглеродным пирановым кольцом (С). Структура кольцевой системы, наряду с количеством и положением гидроксильных групп и других заместителей, влияет на биологическую активность флавоноидов [1]. Молекулярные топологические отпечатки представляют молекулу как набор структурных характеристик и часто используются для поиска сходства, идентификации субструктур и моделирования взаимосвязей «структура-активность» [2]. Хроматографическое удерживание также может быть предсказано с помощью такого подхода. Для схожих соединений, например флавоноидов, эффективным способом выявления их структурных различий является определение отпечатка, содержащего информацию о заместителях в различных положениях. Таким образом, был разработан специфичный молекулярный отпечаток, предназначенный для структур на основе флавононов. Модели на основе нейронных сетей использовали упрощенную версию отпечатка, тогда как модели логистической регрессии были протестированы с использованием как сжатого (20-битного), так и расширенного (92-битного) отпечатка, включающего взаимодействие между заместителями. Парные ошибки прогнозирования порядка элюирования были преимущественно ниже 10%, демонстрируя надежную производительность в варьируемых условиях обращенно-фазовой ЖХ с градиентом ацетонитрила в подвижной фазе. Кроме того, времена удерживания косвенно оценивались на основе счетов модели с использованием линейной регрессии и линейной интерполяции.

Исследование разделено на две части: для обучения моделей использовалась исходная база данных, содержащая времена удерживания более 50 соединений в условиях линейного градиента ацетонитрила, и независимые литературные данные из нескольких источников. В обоих вариантах весовой анализ в логистической регрессии выявил одинаковое влияние заместителей на удерживание, что подтверждает валидность моделей. Хотя общие показатели эффективности были сопоставимы, использование большого экспериментального набора данных или базы данных оказалось предпочтительнее фрагментированных литературных данных. Предложенный подход может быть адаптирован для использования при идентификации других групп вторичных метаболитов растений.

Литература:

1. Dias M.C., Pinto D.C.G.A., Silva A.M.S. // *Molecules*. – 2021. – V. 26. – № 17. Article 5377.
2. Rogers D., Hahn M. // *J. Chem. Inf. Model*. – 2010. – V. 50. – № 5. – P. 742–754.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-13-00266-П), предоставленного Институту физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина Российской академии наук.*

## **ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ЭПИГАЛЛОКАТЕХИН ГАЛЛАТА В ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ФИБРОЗНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

**Тараховский Ю.С., Гайдин С.Г.\*, Ким Ю.А.\***

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, tarahov@rambler.ru

\*Институт биофизики клетки РАН, Пущино

Одним из наиболее важных функциональных компонентов нашего рациона являются полифенольные соединения, содержащиеся в растительной пище. Особое внимание уделяется флавоноидам - классу природных полифенольных соединений, которые в больших количествах содержатся во фруктах, овощах, злаках и чае. Помимо антиоксидантного действия, флавоноиды обладают противовоспалительными, антиканцерогенными, антибактериальными и нейропротекторными свойствами. Одним из ключевых аспектов действия флавоноидов является их способность предотвращать развитие фиброза в различных тканях. Хотя механизмы, лежащие в основе этих заболеваний, разнообразны и часто сложны для понимания, все они имеют общую черту – неконтролируемое и прогрессирующее накопление богатой коллагеном фиброзной ткани в пораженных органах, что приводит к дисфункции, органной недостаточности и, в конечном счете, к смерти.

Известно, что эпигаллокатехин галлат (EGCG), присутствующий в листьях зеленого чая, играет профилактическую и терапевтическую роль при многих заболеваниях, связанных с фиброзом тканей. Широко распространено мнение, что фиброз тканей возникает в результате отложения коллагеновых волокон во внеклеточном матриксе и связан с дисфункцией клеточных сигнальных путей, таких как TGF- $\beta$ /Smad, MAPK, PI3K/Akt, NF- $\kappa$ B и AMPK. При этом, EGCG является одним из наиболее эффективных средств, предотвращающих развитие воспаления и фиброза печени, почек, миокарда и легких.

Однако ранее мы показали *in vitro*, что EGCG может ингибировать образование волокон коллагена из мономеров этого белка в экспериментах, не связанных с клеточными сигнальными системами [1]. В присутствии EGCG под электронным микроскопом был виден неструктурированный материал, состоящий из отдельных молекул коллагена. Турбидиметрия также подтвердила способность EGCG предотвращать развитие фибриллярных структур коллагена, о чем свидетельствует значительное уменьшение оптической плотности раствора коллагена [1]. Мы также показали, что не только EGCG, но и другие флавоноиды могут влиять на скорость образования фибрилл коллагена [2,3].

Мы предполагаем, что способность EGCG предотвращать фиброз и ускорять заживление ран без формирования рубцов обусловлена не только его влиянием на клеточные сигнальные пути, но также непосредственным взаимодействием EGCG с мономерами коллагена, блокирующим формирование фибрилл. Скрининг наиболее эффективных ингибиторов фибриллогенеза коллагена среди продуктов, содержащих EGCG или его химические производные, может быть проведен в простых экспериментах *in vitro* [1]. Этот подход может значительно сократить затраты и время исследования, а также помочь в разработке новых лекарств.

### **Литература**

1. Y.S. Tarahovsky, S.G. Gaidin, Y.A. Kim, Effects of Catechins on the Formation of Collagen Fibrils *in vitro*, Biofizika 69 (2024) 707–714.
2. Y.A. Kim, Y.S. Tarahovsky, S.G. Gaidin, E.A. Yagolnik, E.N. Muzafarov, Flavonoids determine the rate of fibrillogenesis and structure of collagen type I fibrils *in vitro*, International Journal of Biological Macromolecules 104 (2017) 631–637.
3. Y.S. Tarahovsky, I.I. Selezneva, N.A. Vasilieva, M.A. Egorochkin, Y.A. Kim, Acceleration of fibril formation and thermal stabilization of collagen fibrils in the presence of taxifolin (dihydroquercetin), Bull Exp Biol Med 144 (2007) 791–794.

## **ФАЗОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ БИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЛАВОНОИДОВ**

**Терехов Р.П., Свотин А.А., Панков Д.И., Корочкина М.Д., Кривошеева Е.А.,  
Кривозубова Е.В., Бергел К.И., Селиванова И.А.**

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский  
Университет), Москва, +7 (499) 749-79-91, terekhov\_r\_p@staff.sechenov.ru

Лекарственные средства на основе соединений растительного происхождения долгие годы остаются препаратами выбора для стран Глобального юга, а ученые всего мира осуществляют фармацевтическую разработку инновационных фитопрепаратов.

Различные представители семейства флавоноидов находятся в фокусе многих научных групп, изучающих возможность их применения в качестве противодиабетических, ранозаживляющих, противоопухолевых терапевтических агентов. Несмотря на доказанные физиологические эффекты, трансляции результатов фундаментальных исследований в рутинную фармацевтическую практику препятствует скромная биологическая доступность, характерная для данной группы природных полифенолов. Ограниченное поступление активных молекул к клеткам-мишеням снижает выраженность наблюдаемого воздействия на ткани. Возможные пути преодоления данного фактора изучает биофармация, в рамках которой разрабатываются методологические подходы для повышения растворимости и проницаемости компонентов фармацевтических субстанций сквозь физиологические барьеры организма.

Одним из возможных решений задачи по повышению биологической доступности флавоноидов является фазовая модификация. В ходе недавнего систематического обзора предметного поля было установлено, что за последние 10 лет частота применения методов фазовой модификации в биофармацевтических исследованиях флавоноидов увеличилась в 3,8 раза [1]. Достигнуты впечатляющие результаты повышения растворимости соединений более чем на четыре порядка, что объясняют эффектами «потока» и «парашюта». Изменение физико-химических свойств флавоноидов сопровождалось оптимизацией фармакологических параметров: максимальная концентрация в крови ( $C_{max}$ ) увеличивалась, в среднем, в 3,0 раза, а площадь под фармакокинетической кривой ( $AUC$ ) – в 4,2 раза.

Результаты исследований ученых Сеченовского университета согласуются с мировыми практиками. Применение ко-аморфной композиции на основе флавоноида дигидрокверцетина (ДКВ) и аминокислоты L-лизина способствовало более эффективному и физиологичному заживлению ожогов III степени [2]. На фоне приема аморфной формы ДКВ наблюдали значимое снижение веса и уровня сахара в крови у диабетических крыс [3]. Для монофазной системы, содержащей ДКВ и глицин, обнаружен синергизм в подавлении опухолевых клеток.

### **Литература**

1. Taldaev A., Svotin A.A., Obukhov S.I., Terekhov R.P., Selivanova I.A. Modification of biopharmaceutical parameters of flavonoids: a review. *Front Chem.* 2025; 13: 1602967. DOI: 10.3389/fchem.2025.1602967
2. Svotin A.A., Taldaev A., Nikitin I.D., Korochkina M.D., Terekhov R.P., Selivanova I.A. Insights in wound healing properties of water-soluble composition of dihydroquercetin and L-lysine. *J Pharm Pharm Sci.* 2025; 28: 13831. DOI: 10.3389/jpps.2025.13831
3. Taldaev A., Savina A.D., Olicheva V.V., Ivanov S.V., Terekhov R.P., Ilyasov I.R., Zhevlakova A.K., Selivanova I.A. Protective Properties of Spheroidal Taxifolin Form in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Int J Mol Sci.* 2023; 15: 11962. DOI: 10.3390/ijms241511962

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-75-00071, <https://rscf.ru/project/25-75-00071/>.*

## ПРОФИЛЬ СТИЛЬБЕНОВ И ДРУГИХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ *REYNOUTRIA JAPONICA*

**Торохова И.Н.<sup>1</sup>, Супрун А.Р.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт Мирового Океана, Дальневосточный федеральный университет, 690090  
Владивосток,

<sup>2</sup>ФИЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022 Владивосток

Дальний Восток России – регион с уникальным биоразнообразием, где обитают многочисленные виды растений, включая рейнутрию японскую (*Reynoutria japonica*). Это растение считается серьёзной угрозой биоразнообразию и классифицируется как опасный инвазивный вид. Однако растения рейнутрии синтезируют и накапливают разнообразные метаболиты, которые ценятся за их положительное влияние на здоровье человека.

В данной работе представлен подробный анализ сезонных колебаний уровня экспрессии генов стильбенсинтазы (*STS*) и халконсинтазы (*CHS*) *R. japonica*. Было показано, что экспрессия исследуемых генов изменяется в течении года в листьях и стебле, а также напрямую влияет на накопление вторичных метаболитов.

Для идентификации соединений использовался метод высокоэффективной хроматографии и масс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС/МС). В результате идентификации метаболитов в листьях, стеблях и корнях *R. japonica* было выявлено наличие в общей сложности 31 соединения, включая стильбены, фенольные кислоты, флаван-3-олы, флавоны и флавонолы, производные нафталина, антрахиноны и их производные, а также сложные эфиры фенилпропаноидных дисахаридов.

Было показано, что корень *R. japonica* является богатым источником стильбенов (до 229,17 мг/г сухой массы). Корень также содержал большое количество производных эмодина и ваникозида В. В листьях *R. japonica* кверцетин-3-О-пентозид был основным соединением, достигая в общей сложности 7 мг/г DW, что составляет 34% всех проанализированных соединений. Листья *R. japonica* также содержали большое количество фенольных кислот (до 10 мг/г DW).

Таким образом, полученные результаты показали существенные различия в качественном и количественном составе метаболитов в течении периода вегетации в разных частях растения. Более того была продемонстрирована зависимость между экспрессией генов *STS*, *CHS* и накоплением фенольных соединений.



## ГИПОЛИПИДЕМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РОЗМАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ ПОТЕНЦИАЛ В ТЕРАПИИ НАРУШЕНИЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА

**Тумоян Дж.Г., Казарян Ш.А., Абелян Н.Н., Оганян С.А., Бабаян А.В., Оганесян А.А.**  
ГОУ ВПО Российско-Армянский Университет, Армения, Ереван +37498465563,  
julia.tumoyan@rau.am

На сегодняшний день нарушения липидного обмена представляют собой один из основных факторов риска развития таких заболеваний как атеросклероз, ишемическая болезнь сердца и другие патологии, связанные с нарушением метаболизма липидов, и в целях профилактики и лечения всё больше внимания уделяется исследованиям растительных экстрактов и вторичных метаболитов, таких как розмариновая кислота (РК) (3,4-дигидроксифенилмолочная кислота) [1]. РК содержится во многих лекарственных растениях, включая *Ocimum araratum* [1,2]. Интерес к РК стремительно возрастает благодаря широкому спектру биологического действия (противовирусное, антибактериальное, противовоспалительное, гиполипидемическое, гепато- и нейропротекторное) [1]. Комплексность этих свойств делает РК перспективным соединением с терапевтическим потенциалом.

В связи с чем, целью данной работы являлось комплексное изучение гиполипидемических свойств розмариновой кислоты как в условиях *in vivo*, так и *in vitro*.

Результаты *in vitro* исследований воздействия РК на липидный профиль экспериментальных животных продемонстрировало снижение уровня общего холестерина (ОХ) и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) –  $1,44 \pm 0,073$  ммоль/л и  $0,62 \pm 0,027$  ммоль/л соответственно, по сравнению с интактным контролем (ОХ -  $2,87 \pm 0,61$  ммоль/л, ЛПНП –  $2,07 \pm 0,22$  ммоль/л). Наблюдаемое почти двукратное снижение липидных фракций под действием РК указывает на её значимую способность к коррекции нарушенного липидного обмена и свидетельствует о ее гиполипидемическом свойстве. Полученные *in vivo* результаты исследования коррелируют с данными молекулярного докинга, которое продемонстрировало образование стабильного комплекса с активным центром альдозредуктазы (ингибирование рассматривается как потенциальная терапевтическая стратегия для предотвращения гиперлипидемии) с энергией связывания -10,5 ккал/моль. Это значения сопоставимо с таковыми для известных ингибиторов фермента ( $\sim -10$  ккал/моль), что свидетельствует о высоком ингибирующем потенциале РК.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют высокий ингибирующий потенциал розмариновой кислоты и её способность влиять на липидный профиль, что подтверждает перспективность данного соединения в качестве природного модулятора липидного обмена и гиполипидемического агента.

### Литература

1. Harindranath H.; et al., *Phytomedicine Plus*. **2025**, 5,1, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2024.100726>
2. Kazaryan, Sh.; et al., *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. **2022**, 50, 331–342. <https://doi.org/10.1080/21691401.2022.2149931>

*Исследование проведено в рамках грантовых финансирования МОНКЦ РА (10-2/25-I/RAU-BIOL, 24FP-3B0, 25RG-1F151 и 10-2/25YR-2J030).*

## ВЛИЯНИЕ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОДВИЖНОСТЬ У БАКТЕРИЙ *PRIESTIA MEGATERIUM*

Зырянов А.А.<sup>1</sup>, Ушаков В.Ю.<sup>1,2</sup>, Смирнова Г.В.<sup>2</sup>, Октябрьский О.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пермский национальный государственный исследовательский университет, Пермь,

<sup>2</sup>Институт экологии и генетики микроорганизмов – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь,  
ushakovvad@yandex.ru

*P. megaterium*, - это ризобактерии, способствующие росту растений (PGPR), которые активно взаимодействуют с корнями и оказывают влияние на их рост. Считается, что подвижность и скорость роста бактерий в почве определяется несколькими жизненными стратегиями, в том числе способностью улавливать определённые соединения, выделяемые растениями, и мигрировать к ним с помощью хемотаксиса [1]. Цель данной работы – оценить влияние фенолсодержащих растительных метаболитов на рост и подвижность роением у бактерий *P. megaterium*.

В работе использовались бактерии *P. megaterium* VKM 512 (VKM). Роение оценивали как указано в методе [2] на чашках с БТН-бульоном и 0,15% агарозой. Удельная скорость роста ( $\mu$ ) рассчитывалась по формуле  $\mu = \Delta \ln OD_{600} / \Delta t$ , где  $t$  — время в часах. Исследуемые растительные метаболиты (Sigma) растворяли в ДМСО.

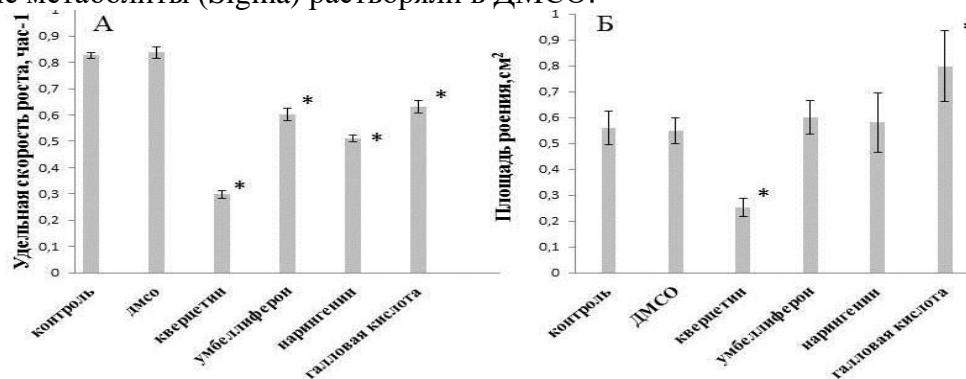


Рисунок 1. Удельная скорость роста (А) и площадь роения (Б) при обработке бактерий *P. megaterium* растительными метаболитами (0.1 мМ). \* - t-критерий Стьюдента  $p \leq 0,05$ .

Все исследуемые метаболиты, в той или иной мере, достоверно снижали скорость роста по отношению к контролю. Наибольший ингибирующий эффект на рост *P. megaterium* оказывал кверцетин (Рис. 1А). Характер изменений скорости роста бактерий зависел от исследуемого растительного метаболита. Обработка кверцетином, умбеллифероном и галловой кислотой сопровождалась скачкообразными изменениями скорости роста: резким падением  $\mu$  в первые 15 минут культивирования, возвращением к контрольному уровню и повторным падением на 45 минуте культивирования. Добавление к растущим клеткам нарингенина равномерно снижало скорость роста на протяжении всего времени культивирования (не показано).

Кверцетин ограничивал подвижность бактерий роением в 2 раза, в то время как добавление галловой кислоты стимулировало подвижность клеток *P. megaterium* в 1,5 раза по отношению к контрольному образцу (Рис.1 Б).

### Литература

1. Alirezaeizanjani Z, Grobmann R, Pfeifer V, Hintsche M, Beta C. // Sci Adv. – 2020. - V.27;6(22):eaaz6153. - doi: 10.1126/sciadv.aaz6153.
2. Danial B. Kearns. // Nat Rev Microbiol. – 2010. – V. 8(9) – P. 634–644. - doi:10.1038/nrmicro2405.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания 124020500028-4

## **МЕТАБОЛОМНЫЙ ПОДХОД КАК МЕТОД АНАЛИЗА ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНОЛЬНОГО РЯДА**

**Фролов А.А.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, frolov@ifr.moscow

Фенольные соединения являются одной из наиболее широко представленных групп вторичных метаболитов растений, вносящих решающий вклад в выживание растительных организмов в динамически меняющейся окружающей среде. Поэтому, глубокое понимание динамики метаболизма различных классов фенольных соединений и биосинтеза их полимеров в процессах роста и развития растений, а также в ходе развития стресс-ответов является принципиально важным для успешного решения широчайшего ряда фундаментальных и прикладных задач. Одним из наиболее эффективных методов исследования фенольного метаболизма во всем его разнообразии и динамике является метаболомный подход, основанный на комбинации различных методов хроматографического разделения индивидуальных природных соединений и масс-спектрометрических методов их структурной аннотации. В рамках работы Лаборатории аналитической биохимии и биотехнологии ИФР РАН этот подход используется для изучения роли фенольных соединений как маркеров ответа на действие стрессоров и как потенциальных нутрицевтических и фармацевтических агентов.

## РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АДАПТОГЕНОВ

Фролова А.С., Федорова А.М., Милентьева И.С.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», frolova.anna.s@mail.ru

Адаптогены – природные вещества, повышающие устойчивость организма к стрессу. Их активность связана с комплексом биологически активных метаболитов, среди которых особенно важны фенольные соединения. Полифенолы обладают антиоксидантными, противовоспалительными, нейропротекторными и иммуномодулирующими эффектами [1], что делает их ключевыми в адаптогенном действии. Цель: проанализировать современные данные о роли фенольных соединений в биологической активности адаптогенов.

Фенольные метаболиты обладают способностью нейтрализовать активные формы кислорода и азота, предотвращая повреждение липидов, белков и нуклеиновых кислот. Они активируют эндогенные ферменты антиоксидантной защиты (SOD, CAT, GPx) и регулируют экспрессию генов через сигнальные пути Nrf2/HO-1. Это позволяет снижать уровень окислительного стресса, который является одним из ключевых факторов повреждения тканей при хронических заболеваниях и стрессовых состояниях [2].

Фенольные соединения адаптогенов снижают выработку воспалительных цитокинов (IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$ ), блокируют ключевые сигнальные пути воспаления (NF- $\kappa$ B, MAPK, JAK/STAT) и уменьшают активность ферментов COX-2 и iNOS. Это приводит к уменьшению хронического воспаления и защите клеток от повреждения. Эти эффекты подтверждены экспериментами на клеточных культурах и животных, что подчёркивает их терапевтический потенциал [2].

Фенольный профиль эхинацеи пурпурной представлен гидроксикоричными кислотами (хикорная, кафтаровая, кофеиновая). Анализ экстрактов показал, что листья содержат наибольшую концентрацию фенолов и обладают выраженным противовоспалительным действием, снижая уровни IL-6, IL-8 и PGE2. После моделирования желудочно-кишечного пищеварения противовоспалительный эффект сохранялся у листовых и цветочных экстрактов, но исчезал у корневых, что подчёркивает важность устойчивости фенолов к метаболическим преобразованиям [3].

Фенольные соединения женьшеня усиливают антиоксидантный потенциал экстрактов, снижая уровень активных форм кислорода, активируя ферменты антиоксидантной системы и модулируя иммунный ответ. Доклинические и клинические исследования показывают уменьшение биомаркеров окислительного стресса и усиление иммунной активности, что указывает на синергию фенолов с сапонинами [4].

С учётом всех свойств фенольные соединения представляют значительный интерес для пищевой промышленности, особенно в разработке адаптогенных продуктов. Они могут использоваться в качестве натуральных антиоксидантов, противовоспалительных компонентов и функциональных ингредиентов, способствующих повышению стресс-резистентности организма.

### Литература

1. Фролова А.С., Милентьева И.С., Федорова А.М. и др. *Техника и технология пищевых производств*. 2024. 54(3). 571–584.
2. Avila-Galvez M.A., Gimenez-Bastida J.A., Karadeniz B., et. al. *Int J Mol Sci*. 2024, 25(3), 1744.
3. Wrobel-Biedrawa D., Podolak I. *Molecules*. 2024, 29, 866.
4. Ratan Z.A., Haidere M.F., Hong Y.H., et. al. *Journal of Ginseng Research*. 2021, 45(2), 199–210.

*Работа выполнена в рамках государственного задания «Разработка биологически активных добавок, состоящих из метаболитов растительных объектов in vitro, для защиты населения от преждевременного старения» (FZSR-2024-0008)*

## **БИОАНТИОКСИДАНТЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ФЕНОЛОВ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРА – АКТИВНОСТЬ НА МОДЕЛИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ГЕМОЛИЗА ЭРИТРОЦИТОВ**

**Шевченко О.Г.**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар,  
+7(8212)312523, shevchenko@ib.komisc.ru

Фенольные соединения природного и синтетического происхождения активно используются в качестве регуляторов свободно-радикальных процессов. Сохраняет актуальность поиск и выделение новых биологически активных гидроксикарматических соединений из растительного сырья, их модификация, а также синтез новых фенольных антиоксидантов, сочетающих низкую токсичность и высокую активность. Вместе с тем на сегодняшний день не существует простых, доступных и универсальных методов оценки антиоксидантной активности различных субстанций в системах *in vitro*. Исследование антиоксидантов требует комплексного подхода, основанного на использовании тест-систем различной степени сложности, включая репрезентативные клеточные модели [1].

Одной из удобных, доступных и биологически релевантных моделей *in vitro* для выявления высокоактивных антиоксидантов и изучения механизмов их действия является эритроцит. Метод окислительного гемолиза эритроцитов перспективен для первичной оценки новых соединений с целью отбора наиболее интересных кандидатов для дальнейшего углубленного изучения и выявления зависимостей структура–активность, необходимых для направленного синтеза новых биологически активных соединений, сочетающих высокую гемосовместимость и антиоксидантную активность [1].

В докладе будут представлены закономерности структура–антиоксидантная активность обширного круга производных природных и синтетических фенолов, установленные в ходе многолетних скрининговых исследований, проводимых на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН в содружестве с Институтом химии Коми НЦ УрО РАН. Применение метода окислительного гемолиза в сочетании с иными подходами позволило выявить новые высокоактивные биоантиоксиданты. Экспериментально доказано, что усиление антиоксидантной активности отдельных природных и синтетических гидроксикарматических соединений может быть достигнуто путем введения бициклических терпеновых, пренильных либо *n*-алкиламинометильных заместителей, а также гетероциклических фрагментов. В сериях пренилированных фенолов, производных изоборнилфенолов, 2-замещенных-1*H*-бензимидазолов выявлены статистически значимые зависимости между параметрами, отражающими их активность на модели окислительного гемолиза эритроцитов и способностью ингибировать Fe<sup>2+</sup>/аскорбат-инициированное ПОЛ в эмульсии на основе гомогенатов животных тканей. Исключительно высокая активность в сочетании с хорошей гемосовместимостью выявлена у производных 2,6-диизоборнилфенола, содержащих в *para*-положении метокси-, этокси-, гидроксиметильную и сульфгидрильную группы.

### Литература

Шевченко О.Г. Эритроциты крови – биологическая модель для оценки антиоксидантной активности химических соединений // Биоорганическая химия, 2024. Т. 50 (6). С. 719–733.



## **ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ МИКРОЗЕЛЕНИ БОРАГО, ПАЖИТНИКА И ПОДСОЛНЕЧНИКА**

**Шерудило Е.Г., Шибаета Т.Г., Рубаева А.А., Лёвкин И.А.**

ФИЦ Карельский научный центр РАН, Институт биологии, Петрозаводск,  
sherudil@krc.karelia.ru

Микрозелень, как функциональный продукт питания, отличается своими неповторимыми вкусовыми качествами и богатым составом питательных веществ, включая фенольные соединения с антиоксидантной активностью. Выращивание микрозелени в условиях теплиц и вертикальных ферм сопряжено с большими затратами на энергопотребление, что существенно влияет на рентабельность производства. Поэтому в настоящее время ведутся поиски путей снижения энергозатрат при производстве данного вида продукции.

Цель настоящей работы состояла в оценке влияния аномальных (отличных от 24 ч) укороченных свето-темновых циклов (СТЦ) на урожайность и пищевую ценность (включая содержание фенольных метаболитов) микрозелени трех видов – бораго (*Borago officinalis* L.), пажитника (*Trigonella foenum-graecum* L.) и подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Растения выращивали в инкубаторе Biobase BJPX-RG-P160C (Китай) на ковриках из агроваты при температуре 22°C, влажности воздуха 70%, освещенности 150 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) (светодиодные светильники). Контрольные растения выращивали при фотопериоде 16/8 ч, опытные – с использованием СТЦ 7/4/9/4 ч – 7 ч свет (10<sup>00</sup>-17<sup>00</sup>) /4 ч темнота (17<sup>00</sup>-21<sup>00</sup>) /9 ч свет (21<sup>00</sup>-6<sup>00</sup>) /4 ч темнота (6<sup>00</sup>-10<sup>00</sup>). Время для световых и темновых фаз выбрано с учетом периодов пиковых, полупиковых и ночных зон с целью сократить затраты на электроэнергию. Интеграл дневного освещения был одинаковым – 8.6 мкмоль/(м<sup>2</sup>сут). Растения выращивали до готовности к сбору урожая – 10 дней подсолнечник и 12 дней бораго и пажитник.

Результаты опытов показали, что применение укороченных СТЦ 7/4/9/4 ч при выращивании микрозелени приводит к увеличению урожайности и повышению пищевой ценности микрозелени, оцениваемой по содержанию флавоноидов, каротиноидов, пролина, растворимых углеводов, белка и аскорбиновой кислоты. При этом не выявлено внешних признаков фотоповреждения растений, а также признаков окислительного стресса. Реакция трех видов микрозелени на действия укороченных СТЦ была видоспецифичной. Так, урожайность возросла на 10 и 14% у пажитника и подсолнечника и не отличалась от контроля у бораго. Однако, у бораго содержание фенольных метаболитов увеличивалось на 40%. У пажитника отмечено также увеличение содержания каротиноидов на 24% и аскорбиновой кислоты на 35% по сравнению с контролем.

Поскольку растения обычно быстрее реагируют на изменения факторов окружающей среды, включая световой режим, на клеточном уровне, чем на уровне целого организма, то аномальные СТЦ могут быть более эффективны в повышении содержания отдельных метаболитов по сравнению с общим выходом биомассы. В нашей работе можно отметить повышение эффективности использования электроэнергии, характеризующей количество метаболитов (каротиноидов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, пролина), полученных на кВт ч потребленной электроэнергии.

В целом, применение аномальных укороченных СТЦ при выращивании микрозелени оказалось эффективным не только в отношении снижения энергозатрат (на 14-32% в зависимости от региональных тарифов на электроэнергию и категории потребителя), но и повышения урожайности и качества микрозелени, обусловленного повышенным содержанием веществ с антиоксидантной активностью, в частности, фенольных метаболитов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

## **О ВОЗМОЖНОМ ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ РАСТЕНИЙ**

**Шибаета Т.Г., Шерудило Е.Г., Рубаева А.А., Лёвкин И.А.**

ФИЦ Карельский научный центр РАН, Институт биологии, Петрозаводск,  
shibaeva@krc.karelia.ru

В промышленности основными компонентами, извлекаемыми из бурых водорослей, являются манит, альгиновая кислота и ее соли. В настоящее время остальные компоненты водорослей классифицируют как отходы. Однако вторичные ресурсы переработки бурых водорослей пригодны для биотехнологической переработки. Роль экстрактов морских водорослей стремительно возрастает в сегменте биостимуляторов. Они широко известны как вещества с функцией смягчения абиотического стресса и повышения продуктивности растений. В России имеются большие запасы различных видов морских водорослей, добыча которых традиционно осуществляется на Дальнем Востоке (Японское море), на Курильских островах, на Сахалине, в Приморье, в Охотском и Белом морях. Исследования ламинариевых и фукусовых водорослей Белого и Японского морей подтвердили общее сходство их химического состава с характерным для этих таксономических групп: полисахариды, витамины, жирные полиеновые кислоты, ауксины и гиббереллины, практически одни и те же первичные и вторичные метаболиты, богатый состав микро- и макроэлементов. Это дает основание считать, что беломорские водоросли являются хорошим ресурсом для производства экстрактов со свойствами биостимуляторов растений.

Изучали влияние отхода альгинатного производства – экстракта ламинарии (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019, ООО «Архангельский водорослевый комбинат») на рост, устойчивость и продуктивность растений. Сбор ламинарии производился в акватории Соловецкого архипелага в Белом море. В качестве тест-объектов использовали 14 видов важных с/х культур. Результаты исследования показали, что экстракт ламинарии из Белого моря обладает биостимулирующими свойствами, повышает стрессоустойчивость растений к абиотическим факторам внешней среды и урожайность. Рекомендуемые к применению концентрации экстракта в зависимости от культуры – 5-10 мл/л. Однако, применение экстракта в концентрациях, превышающих рекомендованную для культуры, приводит к выраженному ингибированию роста и развития растений. Предположительно, ингибирующее действие в более высоких дозах может быть связано с высоким содержанием в экстрактах полифенолов.

При общем сходстве химического состава бурых водорослей из северных и южных морей есть различие, имеющее принципиальный характер при изучении вопроса о применении экстрактов бурых водорослей в сельском хозяйстве. Установлено, что содержание полифенольных соединений значительно варьирует не только в зависимости от вида бурых водорослей, но и от места их произрастания. Так, виды, произрастающие в акваториях арктических морей, отличаются высоким содержанием флоротанниновой фракции. Содержание полифенолов в арктических водорослях может в десятки раз превышать таковое в водорослях тех же видов в южных водах. Это обстоятельство делает арктические водоросли ценным сырьем и обуславливает перспективность практического применения полифенольных соединений в пищевой, косметической и фармакологической отраслях. В то же время высокое содержание полифенолов ввиду их выраженной биологической активности, характер которой весьма разнообразен, требует более тщательной разработки технологии применения экстрактов водорослей в сельском хозяйстве с учетом возможного ингибирования ростовых процессов у растений под влиянием экзогенных фенолов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004) и договора с НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».*

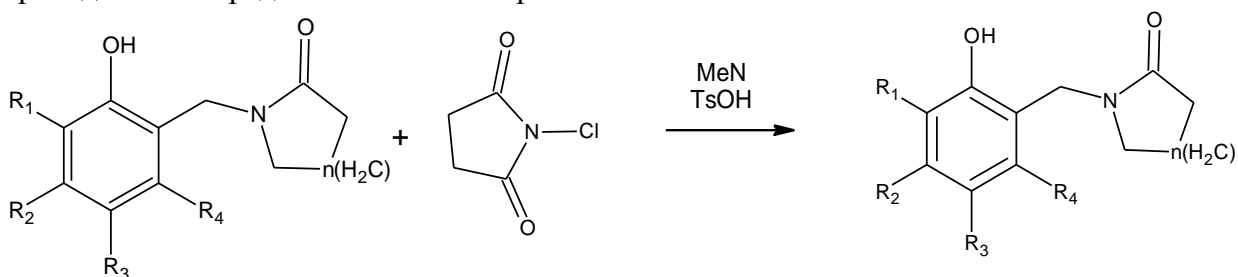
## ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРИРОВАННЫХ ФЕНОЛОВ С ЛАКТАМОМЕТИЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ- СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ ПРИРОДНЫХ МЕТАБОЛИТОВ

**Шириков Д.Н., Воробьев С.В., Кошелев В.Н.**

ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва,  
shirickovdmitry@yandex.ru

Известно, что хлорфенолы, участвующие в процессах метаболизма грибов, а также образующиеся в качестве ответной реакции на стресс у некоторых водорослей и растений, проявляют широкий спектр биологической активности: антибактериальной [1], антиокислительной [2], противогрибковой [3] и т. д. Однако несмотря на полезные свойства данных веществ их довольно затруднительно использовать ввиду сложности получения и ограниченного содержания в природе. Таким образом, цель работы — синтез и исследование хлорирования фенолов с лактамометильными фрагментами. Сочетание фенольного и лактамного колец способно привести к синергизму биологических свойств соединений.

Методика для получения исходных соединений в качестве реагентов в заключительной стадии была взята из статьи [4]. После изучения возможных протеканий реакций полученных соединений нами был предложен метод получения хлорированных лактамометильных производных фенолов, заключающийся во взаимодействии соответствующего производного фенола с N-хлорсукцинимидом (NCS). Схема синтеза целевых продуктов представлена на рисунке 1. Были синтезированы соединения **1a** (65%), **2a** (45%), **3a** (34,6%), **4a** (80%), **5a** (70%). Идентификация синтезированных веществ проводилась посредством ЯМР-спектроскопии.



**1** R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>=H, n=1

**2** R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>=H, n=3

**3** R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=CH<sub>2</sub>Cpl, R<sub>4</sub>=OH, n=3

**4** R<sub>1</sub>=H, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=CH<sub>2</sub>Pyr, R<sub>4</sub>=OH, n=1

**5** R<sub>1</sub>=I, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>=H, n=3

**1a** R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=Cl, R<sub>4</sub>=H, n=1

**2a** R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=Cl, R<sub>4</sub>=H, n=3

**3a** R<sub>1</sub>=Cl, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=CH<sub>2</sub>Cpl, R<sub>4</sub>=OH, n=3

**4a** R<sub>1</sub>=Cl, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=CH<sub>2</sub>Pyr, R<sub>4</sub>=OH, n=1

**5a** R<sub>1</sub>=I, R<sub>2</sub>=OH, R<sub>3</sub>=Cl, R<sub>4</sub>=H, n=3

Рисунок 1 – Схема синтеза

### Литература

1. Field J. *Environ. Sci. Technol.* 2008, 7(3), 211-241
2. Guan C., Wang C., Wu H., Li Q., Zhang Y., Wang G., Ji J., Jin C. *Sci. Pollut. Res. Int.* 2020, 27(2), 1359-1372
3. Baker M.D., Mayfield C.I. *Water Air Soil Poll.* 1980, 13, 411–424
4. Vorobyev S.V., Primerova O.V., Ivanova L.V., Ryabov V.D., Koshelev V.N. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Tekhnol.* 2019, 62(10), 40-48

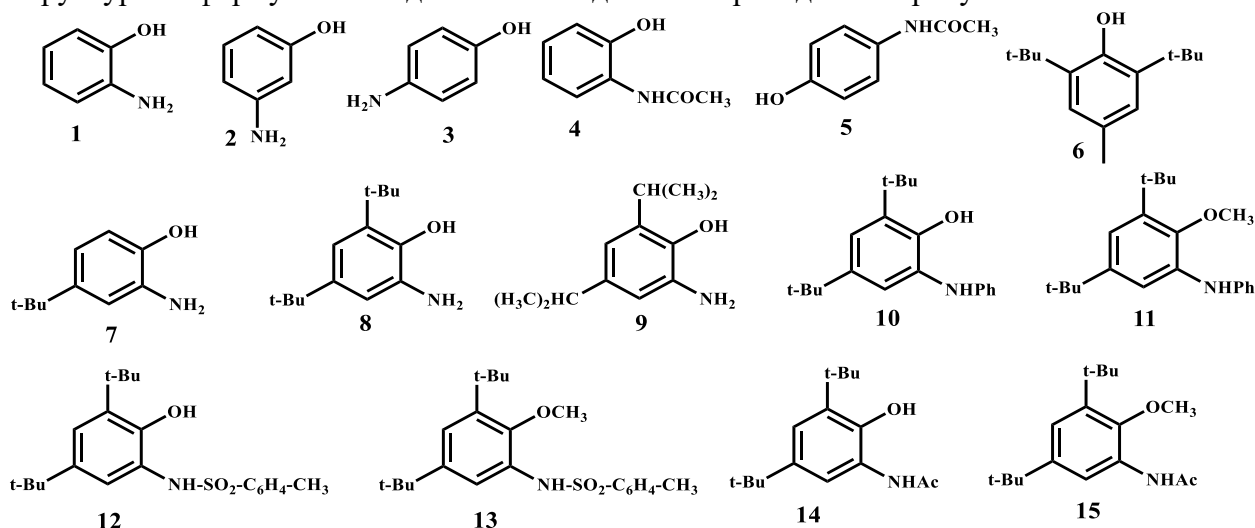
## АМИНОФЕНОЛ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫЕ В РЕГУЛИРОВАНИИ УРОВНЯ $\alpha$ -ГИДРОКСИАЛКИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ, ОКСИДА АЗОТА (II) И ЕГО АКТИВНЫХ ФОРМ

Овсянникова Е.М.<sup>1</sup>, Ксендзова Г.А.<sup>2</sup>, Ермак А.Д.<sup>1</sup>, Юркова И.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск,

<sup>2</sup>НИИ физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь, yurkovail@tut.by

Аминофенол и его производные (АФ) могут вовлекаться в регулирование окислительного стресса в растениях, влияя на уровень активных форм кислорода/азота (АФК/АФА) или взаимодействуя с радикалами биомолекул, образующимися в реакциях с АФК/АФА. Изучение таких процессов *in vitro* необходимо для понимания механизмов действия АФ в клетках на молекулярном уровне. Целью данной работы было изучение способности аминофенола и его производных регулировать уровень активных форм азота  $\text{NO}_x$  ( $\cdot\text{NO}$ ,  $\cdot\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ) и  $\alpha$ -гидроксиэтильных радикалов ( $\alpha$ -ГЭР). Оксид азота (II)  $\cdot\text{NO}$  и его активные формы ( $\cdot\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ONOO}^-$ ) могут опосредовать развитие нитрозативного стресса,  $\alpha$ -гидроксиалкильные радикалы ( $\text{R}\cdot\text{C}(\text{OH})\text{-R}_1$ ) играют важную роль в развитии свободнорадикальной деструкции глицеро- и сфингофосфолипидов в их полярной части. Структурные формулы исследованных соединений приведены на рисунке.



Влияние АФ на уровень  $\cdot\text{NO}$  и его активных форм ( $\cdot\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ) исследовали в водной аэробной среде (рН 7.4), используя нитропруссид в качестве донора  $\cdot\text{NO}$ .  $\alpha$ -ГЭР образуются при  $\gamma$ -радиолизе деаэрированного этанола и в реакциях рекомбинации превращаются в 2,3-бутандиол (БД), основной молекулярный продукт. Реакционную способность АФ в отношении  $\alpha$ -ГЭР оценивали по их влиянию на радиационно-химические выходы БД.

Установлено, что соединения **3**, **7-10**, **12** значительно подавляют образование БД, при этом ионол (**6**) не оказывает антирадикального действия. Метилирование ОН-группы в **11**, **13**, **15** в сравнении соответственно с **10**, **12**, **14**, приводит к потере способности АФ подавлять образование БД. Ацилирование аминогруппы в АФ (**1** и **3** в сравнении с **4** и **5**, **8** в сравнении с **14**) сопровождается потерей активности в отношении к  $\alpha$ -ГЭР.

Выявлено, что наибольшую  $\text{NO}_x$ -активность проявляют **3** (0.11), **2** (0.195) и **8** (0.12), тролокс (0.19) (в скобках  $IC_{50}$ , мМ).  $\text{NO}_x$ -акцепторная способность производных 2-аминофенола убывает в следующем ряду:  $8 > 9 > 10 > 12 > 11 \geq 13 \geq 6$ . Замена атома Н на  $\text{CH}_3$  в ОН-группе аминофенолов (в **11** и **13** в сравнении с **10** и **12**) снижает их эффективность в регулировании  $\text{NO}_x$ , аминофенолы с немодифицированной  $\text{NH}_2$ -группой обнаруживают большую активность, чем N-замещенные.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ РБ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганхимия» (задание 2.2.03.04)

## **РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ РЖИ**

**Яковлева О.С., Осипова Л.В., Быковская И.А.**

ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, +7 499 976 37 50, 127434,  
olga.i4kovl@yandex.ru

Рожь является одной из основных и традиционных зерновых культур в нашей стране. Большинство посевов данной культуры представлено озимыми формами. Именно поэтому изучение холодо- и морозостойкости этого растения особенно важно. Рожь среди зерновых культур особенно богата фенольными соединениями. Проростки ржи отличаются от других проростков хлебов первой группы по наличию антоциановой окраски coleoptilia и первого листа. Это видовой признак.

В качестве объекта исследований были выбраны три сорта ржи: Таловская 41, Памяти Бамбышева и Онохойская. Первые два сорта относятся к озимым, а третий сорт – яровой. При этом первый и третий сорт начальные этапы развития проходили при более низких температурах в связи с их районированностью. Озимые сорта резко отличались по окраске зерна. Если Таловский 41 имел характерную для ржи зеленоватую (наличие хлорофилла) окраску зерен, то зерна сорта Памяти Бамбышева были светлыми. Проростки всех сортов имели одинаковую характерную для ржи антоциановую окраску.

Этилированные проростки выращивались до возраста 7 дней в контролируемых условиях при температуре 22 °С, затем опытные образцы переносили в холодильник на 2 часа при температуре 5 °С. В течение суток, после охлаждения опытные образцы проходили репарацию в нормальных условиях. Контрольные же образцы все это время содержались в стабильных условиях. Суммарное содержание фенолов и антоцианов определяли спектрофотометрическим методом [1]. Для характеристики устойчивости растений использовали кондуктометрический метод определения стабильности мембран по выходу электролитов [2].

Из трех изучаемых сортов наибольшей стабильностью мембран проростков, а значит и холодоустойчивостью, обладал сорт Таловский 41, а наименьшей – сорт Памяти Бамбышева. Коэффициент повреждения мембран под действием холода составлял соответственно 1,5 и 8,7 %. Несмотря на то, что исходное содержание фенолов и антоцианов в зерновках было разное и колебалось от 0,223 до 0,246 для фенолов и от 0,041 до 0,077 для антоцианов, в конце опыта содержание данных веществ уравнивалось. Содержание антоцианов во всех контрольных вариантах составляло 0,008, а в опытных – 0,007. Количество фенольных соединений колебалось незначительно от 0,032 до 0,038. У озимых сортов содержание антоцианов было выше, чем у ярового сорта. Но под действием холода количество антоцианов возрастало особенно сильно у яровой ржи почти на 60%.

Общее содержание фенольных соединений также было несколько выше у озимых сортов ржи. Низкотемпературный стресс вызывал повышение количества фенольных соединений у сорта Таловский 41 и Онохойская. У сорта Памяти Бамбышева содержание их снижалось с 1,043 до 0,910. Именно этот сорт отличался пониженной холодоустойчивостью на ранних этапах онтогенеза.

### **Литература**

1. Ястреб Т.О., Колупаев Ю.Е., Луговая А.А. и др. // Прикл. биохимия и микробиология -2016 – Т.52- №2 – С.223-229
2. Гришенкова И.Н., Лукаткин А.С. // Поволжский экологический журнал – 2005-№1- С.3-10.



## **СЕКЦИЯ 2**

**Распространение, функциональная  
роль и метаболомика фенольных  
соединений: от цианобактерий до  
высших растений**

## ROLES OF LICHEN PHENOLICS IN ABIOTIC STRESS TOLERANCE

**Beckett R.P., Khuzwayo T.N.\*, Ndhlovu N.T.\*, Minibayeva F.V.**

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russia

\*School of Life Sciences, University of Kwa-Zulu Natal, South Africa, rpbeckett@gmail.com

Lichens are a symbiosis between an ascomycete fungus and one or two photosynthetic partners, which can be cyanobacteria or green algae. Lichens produce a diverse range of secondary metabolites or “lichen substances” that usually accumulate on the outer surfaces of the hyphae. Lichen substances are typically poly-phenolic compounds, and include large rather heterogeneous polymers such as melanins, and more defined depsidic compounds such as depsides and depsidones. The first reports of lichen substances date back to the 19th century, and since then about 1100 different secondary metabolites have been identified. Lichen substances probably play many different biological roles. These include acting as sun-screens, anti-grazing agents, anti-fungal or antibacterial chemicals and allelochemicals. However, lichen secondary metabolites have strong antioxidant activity, and theoretically they may additionally assist lichens more generally to tolerate abiotic stresses. However, these roles remain largely unclear. In the work described here, we used two approaches to study the roles of lichen substances in stress tolerance. In the first, the tolerance to heavy metal stress of pale (non-melanised) lichen thalli was compared with melanised forms. Here we present data showing that melanised thalli have greater tolerance to metal toxicity than pale. In the photobiont melanins significantly improved the activity of photosystem two during and after stress. In the mycobiont, the presence of melanins reduced membrane damage, assessed by measuring ion leakage. It seems likely that melanins reduce stress by binding heavy metals. In the second approach, the “acetone rinsing” method was used to harmlessly remove secondary metabolites, mostly depside derivatives, from a range of species. Our comparison of thalli with and without lichen substances demonstrates that these compounds confer protection against desiccation and temperature stress. Taken together, our findings indicate that, in addition to their previously established functions, lichen substances play a critical role in mitigating abiotic stress.

*This work was partially performed within the framework of the state assignment of the FRC KazSC RAS and supported by the Russian Science Foundation, grant number 25-14-00152.*

## **ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭНДОФИТОВ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И НАКОПЛЕНИЕ АНТОЦИАНОВ РАСТЕНИЯМИ БАЗИЛИКА**

**Авакумов А.Д., Махинова Е.Ю., Анисимов А.А.**

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.  
Тимирязева, Москва, [andrei.avakumov2002@yandex.ru](mailto:andrei.avakumov2002@yandex.ru)

Фенольные соединения представляют собой распространённую группу вторичных метаболитов, характерных для многих микроорганизмов, в том числе, эндофитных грибов и бактерий. Оказываемое ими действие на растение во многом сопряжено именно с фенольными веществами.

Известно, что многие эндофиты осуществляют азотфиксацию и влияют на развитие клубеньков у бобовых. Это влияние связано, в том числе, с фенолами, влияющих на экспрессию *nod*-генов, ответственных за формирование клубеньков. Дополнительно установлено, что азотфиксирующие эндофиты увеличивают синтез алкалоидов.

Фенолы регулируют рост и развитие растений, входя в комплексы с фитогормонами ( $\beta$ -ингибиторный комплекс с АБК) и поддерживая их действие, например, за счёт ингибирования ИУК-оксидазы. Эндофиты активно осуществляют синтез гормональных веществ, и оказывают влияние на ростовые процессы в растениях, что также может быть связано с накоплением ими фенолов.

У выделенных нами в ходе работы штаммов эндофитных бактерий *B.subtilis* известен синтез такого представителя фенольных кислот, как 2,3- дигидроксibenзойная (2,5-ДГБК), или гентизиновая, кислота. Данная кислота является производной другой фенольной кислоты – салициловой, которая участвует в активации термогенеза в растениях и реакции сверхчувствительности в ответ на заражение патогенами. Обе этих кислоты принимают участие в синтезе сидерофоров – низкомолекулярных белков, хелатирующих ионы железа. На растения бактериальные сидерофоры оказывают следующее: повышают доступность почвенного железа за счёт перевода его в растворимые формы, оказывают биоремедиационный эффект, защищая растение от токсического воздействия тяжёлых металлов, подавляют деятельность фитопатогенов. В первую очередь, сидерофоры способствуют повышению устойчивости и урожайности растений в условиях засоленных почв.

Выделение эндофитов осуществлялось из листовых эксплантов растений мяты перечной сорта Кубанская 6. Выделенные из эксплантов колонии культивировались на жидкой питательной среде для получения культуральной жидкости, которая применялась для предпосевного замачивания базилика сорта Фиолетовый. Растения содержались в условиях вегетационного опыта в орнажерее с искусственным освещением лаборатории искусственного климата кафедры физиологии растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. По прошествии 60 дней от всходов было определено содержание антоцианов и флавоноидов при помощи прибора Dualex Scientific+.

У всех опытных вариантов наблюдались достоверно более высокие значения концентрации флавоноидов (0,56 и 0,65 мкг/см<sup>2</sup> в контроле и опыте соответственно) и антоцианов (0,62 и 0,69 мкг/см<sup>2</sup> в контроле и опыте соответственно). При наличии результатов измерения сырой массы опытных растений, показавших также значительное превышение над контролем (19,33 и 22,73 г/сосуд в контроле и опыте соответственно), можно высказать предположение о наличии стимулирующего влияния выделенных эндофитов на ростовые процессы и накопление антоцианов и флавоноидов растениями базилика.

## **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ *THYMUS VULGARIS* L.**

**Аникина Д.С.<sup>1,2</sup>, Широкова А.В.<sup>1,3</sup>, Шевкунов А.Б.<sup>1</sup>, Джатдоева С.А.<sup>1</sup>, Ружицкий А.О.<sup>1</sup>,  
Лунева В.Е.<sup>1</sup>, Радица В.Е.<sup>1</sup>, Кочкаров А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, black-cat99@inbox.ru

<sup>3</sup>ФГБНУ ФНЦО, Московская область

Флавоноиды и летучие соединения фенольной природы, относящиеся к классу вторичных метаболитов, в высокой концентрации содержатся в лекарственных и пряно-ароматических растениях, включая тимьян (*Thymus vulgaris* L.). В эфирном масле этого нутрицевтика преобладает тимол (2-изопропил-5-метил-фенол), обуславливающий его вкусовые и ароматические свойства. Одна из целей производственного выращивания растений – получение листьев, корней или плодов, насыщенных фенольными соединениями. Последние защищают растения от различных абиотических стрессовых факторов, таких как избыточное освещение, жара, засуха. В контролируемых условиях можно регулировать освещенность, температуру и влажность. Однако, данные о влиянии различных спектров света на рост и развитие определенных растений и накопление ими фенольных соединений ограничены. Цель нашего исследования состояла в изучении влияния режимов освещения на накопление флавоноидов и тимола в листьях тимьяна, выращиваемого в условиях вертикальной фермы с управляемым LED-освещением (ФИЦ Биотехнологии РАН).

В рамках исследований было изучено влияние комбинаций различных цветов спектра в соответствии со светодиодами – белый (Б) (White, 4000 K), красный (К) (Red, 660 нм), синий (С) (Blue, 450 нм) и дальний красный (ДК) (DeepPink, 700-800 нм). Плотность фотосинтетического фотонного потока (PPFD) порядка 270-280 мкмоль/м<sup>2</sup>/сек на уровне листового покрова. В помещении поддерживались дневной температурный режим (+22±2°C) и 14-ти часовой фотопериод освещения. Режимы освещения различались по интенсивности свечения светодиодов каждого цвета в процентах от максимальной. Использовались следующие 4 экспериментальных режима освещения, С/Б/К/ДК: 1) 25/70/25/25, 2) 50/80/25/50, 3) 50/60/50/25, 4) 50/70/25/25.

Концентрацию антоцианов (в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид) и флавонолов с использованием алюминия хлористого (в пересчете на кверцетин) определяли с помощью двухлучевого спектрофотометра UV-1900i (Shimadzu, Япония) в сырой массе. Компонентный состав эфирного масла, полученного из воздушно-сухой массы методом гидродистилляции по Гинзбергу, исследовали на хроматографе GC 2010 Plus с квадрупольным масс детектором GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Япония), для идентификации пиков использовали библиотеку NIST 11.

В результате было выявлено, что больше всего флавонолов (0,67 мг-экв. КВ/г) и антоцианов (0,42 мг-экв. ЦЗГ/г) содержалось в листьях растений варианта № 1 (с наименьшим показателем синей доли спектра). Низкая концентрация флавоноидов (0,32 мг-экв. КВ/г и 0,34 мг-экв. ЦЗГ/г) наблюдалась в варианте № 2 (с преобладанием излучения «С» и «ДК» светодиодов). Напротив, содержание тимола (40,7%) было самым высоким в варианте №4 (с преобладанием излучения «С» светодиодов) и на 1/4 ниже (30,7 %) – в варианте №2 (с преобладанием излучения «С» и «ДК» светодиодов).

При режиме освещения, где интенсивность свечения «С» и «ДК» светодиодов в 2 раза меньше, наблюдалось увеличение содержания флавоноидов. А для увеличения накопления тимола в листьях тимьяна потребовалось уменьшить интенсивность свечения «ДК» светодиода в 2 раза, относительно режима, при котором тимол накопился мало. Таким образом, уменьшение накопления флавоноидов и тимола наблюдалось при режиме освещения с наибольшим содержанием доли «С» и «ДК» светодиодов, причем интенсивность свечения этих светодиодов была одинаковой.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ЗЕЛЕННОЙ ЛОЗЫ СТОЛОВЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА**

**Берлева М.В., Миронова Е.А.**

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь,  
+79054694344, b.marina.v@mail.ru

Вегетативные части растений содержат ряд биологически активных веществ, могут служить сырьем для фармацевтики и пищевой промышленности. Продукция виноградарства не ограничена сбором ягод – привлекает интерес и биомасса самого растения: семена, кожица, лоза, листья. Молодая и вызревшая лоза различных сортов рассматривается как потенциал для извлечения витисинола, ресвератрола и других веществ фенольной природы. Основные площади виноградников находятся в пределах европейского юга РФ. Уходные работы предполагают удаление части как молодых зеленых, так и прошлогодних одревесневевших побегов. Лоза содержит компоненты лигнинового комплекса, мономерные и полимерные формы фенольных веществ, различные кислоты, углеводы. В связи с чем предпринята попытка изучить содержание фенольных веществ в молодой лозе сортов Изабелла и Молдова по срокам вегетации, широко распространенных в промышленных и приусадебных участках юга РФ. Методы исследования – экстракционные с использованием экстракции измельченной лозы водой и 10% водно-спиртовым раствором, спектрофотометрия для измерения суммы фенольных веществ и капиллярный электрофорез для количественного анализа.

В результате выполнения анализа экстрактов найдены и идентифицированы – вещество класса стильбенов – ресвератрол, хлорогеновая, никотиновая, оротовая, кофейная и галловая кислоты. При экстракции водой (гидромодуль 1:10) зеленой лозы сортов Изабелла и Молдова в мае 2025 г. соответственно найдены, мг/кг свежего биоматериала: 1,1 и 0,7 ресвератрола, 8,2 и 3,9 хлорогеновой, 3,0 и 4,2 никотиновой, 4,2 и 6,8 оротовой, 18,2 и 11,4 кофейной и 1,2 и 1,4 галловой кислот. Следующий отбор был выполнен в июне 2025 г. и соответственно найдены, мг/кг свежего биоматериала: 1,4 и 1,5 ресвератрола, 7,7 и 2,5 хлорогеновой, 6,0 и 2,2 никотиновой, 5,2 и 6,0 оротовой, 30,2 и 10,4 кофейной и 1,0 и 1,8 галловой кислот. При проведении экстракции 10%-ной водно-спиртовым раствором (гидромодуль 1:10) зеленой лозы сортов Изабелла и Молдова в мае 2025 г. соответственно найдены, мг/кг свежего биоматериала: 1,3 и 0,8 ресвератрола, 9,3 и 4,4 хлорогеновой, 3,7 и 4,8 никотиновой, 4,7 и 7,6 оротовой, 19,1 и 12,7 кофейной и 1,4 и 1,9 галловой кислот. При отборе в июне 2025 г. соответственно найдены, мг/кг свежего биоматериала: 1,9 и 1,7 ресвератрола, 9,6 и 3,8 хлорогеновой, 6,7 и 3,4 никотиновой, 5,8 и 6,4 оротовой, 32,0 и 13,6 кофейной и 1,6 и 1,9 галловой кислот. Следует отметить, что спиртовые экстракты содержали существенно больше хлорофилловой фракции зеленого цвета, что может затруднить последующую переработку и очистку фенольных соединений. Полученные данные свидетельствуют о более высоком содержании идентифицированных фенольных веществ в мае, чем в июне, а применение спиртового раствора не обеспечило существенный рост извлечения фенольных веществ в сравнении с водой.

Таким образом, молодая лоза винограда столовых сортов, оставшаяся после проведения агротехнических работ может служить источником целого ряда фенольных веществ, обладающих физиологической активностью и полученные водные экстракты после проведения подготовительных операций могут служить сырьем при модификации состава определенных категорий безалкогольных напитков.



## КВЕРЦЕТИН КАК ФИТОПРОТЕКТОР БОБОВ *Vicia faba* L. ПРОТИВ ДЕЙСТВИЯ КАДМИЯ

**Богданова Д.С., Крылова В.В., Шугаев А.Г.**

ФГБНУ «Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева» РАН, Москва,  
Di300910@gmail.com

В современном сельском хозяйстве много внимания уделяется методам, направленным на повышение продуктивности растений и их устойчивости к стрессам и воздействию тяжелых металлов, за счёт использования экологически чистых препаратов и биологически активных веществ. К ним относятся и флавоноиды. Они концентрируются в активных органах растений, регулируют их развитие, участвуют в защите от УФ-излучения и патогенов, а также в симбиотических взаимодействиях. Кверцетин – биофлавоноид, обладающий антиоксидантными свойствами, способствует росту растений и ингибирует ряд ферментов, защищая клетки от окислительного стресса. У бобовых в корневых клубеньках симбиотическая азотфиксация является ключевым процессом обогащения почвы азотом. Этот процесс включает в себя взаимодействие между растением и ризобиями, при котором симбиотическая мембрана (СМ) играет важную роль в транспорте метаболитов и ионов. Изучение возможного применения биофлавоноидов и азотфиксирующих бобовых культур для фиторемедиации почв в условиях загрязнения тяжелыми металлами, в частности кадмием, весьма актуальны. Целью данного исследования являлось изучение действия кверцетина на биометрические параметры бобов, транспорт кадмия через СМ и дыхание бактериоидов в условиях загрязнения почвы этим тяжелым металлом.

Объектом исследования были кормовые бобы (*Vicia faba* L., сорт Русские чёрные), инокулированные *Rhizobium leguminosarum* HWM VF 3a. Семена перед посевом обрабатывали в течение 1 часа кверцетином. Раствор хлорида кадмия 20 мг на 1 кг песка добавляли в сосуды. Биометрические показатели измерялись на разных этапах развития растений. Фракцию симбиосом и бактериоидов получали методом дифференцированного центрифугирования. Транспорт кадмия через СМ регистрировали спектрофотометрически. Дыхание симбиосом и бактериоидов определяли с помощью кислородного электрода.

Комбинированное действие кверцетина и кадмия продемонстрировало сложный и динамичный характер. На ранних стадиях наблюдалось выраженное угнетение ростовых параметров бобов, но увеличивалась биомасса растений, что может указывать на начальный стресс. Однако к 49-му дню от посадки у образцов с кадмием был выраженный синергический эффект, приводящий к самому высокому показателю надземной части, а также других ростовых и массовых параметров у всех групп растений. К 70-му дню у растений отмечался ингибирующий эффект кадмия на рост и массу надземной части. Показано также, что у растений, выращенных на кадмии и обработанных кверцетином, в препаратах симбиосом из корневых клубеньков скорость образования мембранного потенциала ( $\Delta\psi$ ), создаваемого на СМ в результате работы  $H^+$ -АТФазы, увеличивалась на 18%. Кроме того, транспорт кадмия, определяемый по скорости диссипации  $\Delta\psi$  в результате его добавления в среду, увеличивался примерно в 2 раза по сравнению с контрольными растениями, что свидетельствовало о накоплении кадмия в корневых клубеньках бобов. Показано также, что обработка растений кверцетином активировала альтернативный  $CN^-$ -резистентный путь окисления и препятствовала ингибированию дыхания симбиосом и бактериоидов под влиянием кадмия. Все это может быть результатом защитной или адаптивной роли кверцетина, помогающего растению преодолеть окислительный стресс в результате действия кадмия. На основании полученных результатов можно сделать вывод о возможности применения кверцетина и бобово-ризобияльного симбиоза для защиты почвы от загрязнения тяжелыми металлами.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№122042700044-6).

## ИЗУЧЕНИЕ L-ФЕНИЛАЛАНИН-АММОНИЙ-ЛИАЗНОЙ АКТИВНОСТИ У МИКРООРГАНИЗМОВ

**Брагинец И.А., Василенко С.Л.**

Белорусский государственный университет, Минск, +375 (33) 341-28-86, braginet-i@mail.ru

На сегодняшний день изучение фермента L-фенилаланин-аммоний-лиазы, обеспечивающего реакцию дезаминирования фенилаланина до транс-коричной кислоты (с высвобождением аммиака как побочного продукта реакции) играет важную роль. Данный фермент широко распространен среди растений, встречается и в некоторых микроорганизмах: в бактериях (рода *Streptomyces*), в дрожжах (обнаружен у *Pseudozyma antarctica*, *Rhodospiridium toruloides*, *Rhodotorula glutinis* и др.). Фенилаланин-аммоний-лиаза представляет широкий интерес в различных областях биотехнологии, особо важным направлением использования ее является терапия фенилкетонурии – наследственного аутосомно-рецессивного заболевания, связанного с нарушением обмена фенилаланина и приводящего к задержкам в развитии и даже летальному исходу. Современный рынок препаратов, на основе данного фермента, включает в себя пегвалиазу (Palynziq®), представляющий собой рекомбинантную форму фенилаланин-аммоний-лиазы цианобактерии *Anabaena variabilis*, который был дополнительно пегилирован для повышения стабильности, улучшения фармакокинетических характеристик и снижения иммуногенности. Однако недостатком данного лекарства являются многочисленные побочные реакции, среди которых реакция гиперчувствительности, анафилаксия, тошнота, головная боль. Поэтому ведется поиск новых подходов лечения и повышения комфорта жизни больных фенилкетонурией. Одним из данных путей является создание безопасных продуктов питания, лишенных фенилаланина. Для этого проводят гидролиз определенного белка (чаще – казеина), с последующим выращиванием микроорганизмов, обладающих фенилаланин-аммоний-лиазной активностью, на гидролизованном сырье. Ключевым моментом в данном подходе является поиск и создание штаммов-продуцентов фермента с необходимой активностью.

Целью работы являлся поиск микроорганизмов, обладающих фенилаланин-аммоний-лиазной активностью, среди штаммов дрожжей (1-32 *Pseudozyma parantarctica*, 3-39 *Leucosporidium fragarium*, 2-2 *Naganishia bhutanensis*, 7-71 *Sporobolomyces phaffii*, 3-38 *Rhodotorula glutinis*, 3-26 *Rhodotorula glutinis*, Ехo *Dothiora cannabinae*, 4-9 *Rhodotorula glutinis*), выделенных из почв Антарктиды и любезно предоставленных Мяминым В.Е., Грибановой Е.А. (кафедра микробиологии, БГУ, Минск, Беларусь)

Исследования проводили с помощью оценки изменения оптической плотности при 290 нм бесклеточного лизата (получали путем ультразвукового воздействия на микроорганизмы в натрий-фосфатном буфере) после добавления в него раствора фенилаланина и инкубации в течение 24 при 28 °. Увеличение оптической плотности после инкубации свидетельствовало о наличии исследуемого фермента у микроорганизмов.

В ходе исследования показано, что штамм *Pseudozyma parantarctica* 1-32 показывал увеличение оптической плотности в 1,4 – 3,2 раза при использовании гомогената клеточного содержимого, исходная ОП<sub>290</sub> которого не превышала 2,0 ед.ОП. При увеличении исходной ОП<sub>290</sub> более, чем 2,1 ед.ОП., получить достоверные данные не удавалось. Для штамма *Naganishia bhutanensis* 2-2 также показано увеличение оптической плотности в 1,2 – 1,7 раза, что свидетельствовало о наличии фенилаланин-аммоний-лиазной активности у изучаемой культуры. Для штамма *Rhodotorula glutinis* 3-26 показано увеличение исходной ОП<sub>290</sub> в 1,4 раза. Для штаммов 3-39, 7-71, 3-38, Ехo, 4-9 наличия фенилаланин-аммоний-лиазной активности не установлено.

Таким образом, среди коллекции дрожжей, выделенных из почв Антарктиды, у трех штаммов выявлено наличие фермента L-фенилаланин-аммоний-лиазы.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОСАЛИПУРПОЗИДА В ЦВЕТКАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БЕССМЕРТНИКА МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР <sup>1</sup>H

**Васильев В.Г.<sup>1</sup>, Шеремета А.В.<sup>1</sup>, Бакова Н.Н.<sup>2</sup>, Холмуродова Д.К.<sup>3</sup>, Бобкова Н.В.<sup>4</sup>,  
Ткаченко Д.Д.<sup>4</sup>, Цицилин А.Н.<sup>5</sup>, Ордабаева С.К.<sup>6</sup>, Селиванова И.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва,  
vasilyev\_vg@pfur.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Никитский ботанический сад - Национальный научный центр РАН, Ялта,

<sup>3</sup>Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан

<sup>4</sup>ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский  
Университет), Москва,

<sup>5</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и  
ароматических растений», Москва,

АО «Южно-Казахстанская медицинская академия», Шымкент, Казахстан

Идентификация и количественное определение биологически активных веществ в образцах растительного происхождения важные этапы как при оценке филогенетического родства растений, так и при их стандартизации. Изосалипурпозид – биологически активный халкон бессмертника песчаного (*Helichrysum arenarium* L.) [1]. Спектроскопии ЯМР <sup>1</sup>H является перспективным методом идентификации и количественного определения биологически активных веществ в сложных растительных смесях без предварительного их хроматографического разделения, поскольку не требует сложной пробоподготовки и характеризуется высокой чувствительностью и информативностью.

Цель работы заключалась в разработке унифицированной методики количественного определения изосалипурпозидов в различных видах рода *Helichrysum*.

Идентификацию изосалипурпозидов проводили путем сравнения спектров ЯМР <sup>1</sup>H его стандартного образца и экстрактов исследуемых образцов в ДМСО-d<sub>6</sub>. Для регистрации спектров ЯМР <sup>1</sup>H был использован спектрометр ЯМР Bruker Avance NEO 700 (Bruker, Швейцария). Во всех образцах, кроме 3 и 6, идентифицирован изосалипурпозид. Результаты количественного определения представлены в таблице.

Таблица. Массовая доля изосалипурпозидов в исследованных образцах (n=3).

№	Наименование образца цветков	ω, % в пересчете на сухое сырье
1	Бессмертник песчаный (Россия, «Красногорсклексредства»)	1,10±0,02
2	Бессмертник армянский (Россия «ВИЛАР»)	1,44±0,03
3	Бессмертник итальянский (Россия «НБС-ННЦ»)	-
4	Бессмертник итальянский (Италия)	1,07±0,01
5	Бессмертник самаркандский (Южный Казахстан)	4,05±0,08
6	Бессмертник самаркандский (Узбекистан)	-
7	Бессмертник складчатый (Азербайджан)	1,15±0,02

Установлено, что метод спектроскопии ЯМР <sup>1</sup>H может быть использован для качественного и количественного определения изосалипурпозидов в цветках различных видов бессмертника. Отсутствие изосалипурпозидов в образцах 3 и 6 возможно связано с местом их произрастания или сортовыми особенностями, что требует дальнейшего изучения.

Литература

Самылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия, 2025.– М.: ГЭОТАР-медиа. – 926 с.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОРНЕ *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L. МЕТОДАМИ ГХ-МС И ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Елшібаева А.А., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К.\*

Евразийский национальный университет им Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,  
individ.931@gmail.com

\*Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

Фенольные соединения - это одна из наиболее важных групп вторичных метаболитов растений, обладающих антиоксидантной, противовоспалительной, антибактериальной и цитопротекторной активностью. Их биологическая роль заключается в защите клеток от окислительного стресса, участии в формировании клеточных стенок, а также в регуляции межклеточных взаимодействий. Род *Achillea* (тысячелистник) широко используется в народной медицине и фармакологии, изучен характер поглощения его экстракта с помощью УФ-спектроскопии, инфракрасной Фурье-спектроскопии (ИК-Фурье), а также различные соединения, присутствующие в экстракте растения, с помощью газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Несмотря на то, что ученые провели ряд исследований по изучению надземной части *Achillea millefolium* L., фенольный состав корневых экстрактов в литературе исследован недостаточно [1-3]. Целью данной работы являлось определение качественного и количественного состава фенольных соединений корня *A. millefolium* методами ГХ-МС и ИК-Фурье.

По данным ГХ-МС, в составе корня *A. millefolium* выявлено семь фенольных соединений, среди которых доминировали метоксилированные флавоноиды (суммарно около 33%) и эфир п-гидроксibenзонитрила (9,34%). Наибольшую долю составил флавоноид бензопиранового ряда (27,77%), что указывает на ведущую роль данного класса соединений в химическом составе. Остальные фенольные соединения, включая производные ацетофенона и конфеирилового спирта, присутствовали в меньших количествах (0,59–1,68%). Суммарное содержание фенольных соединений составило около 46,6% от общей площади пиков экстракта, что указывает на их доминирующую роль в биохимическом свойстве корня.

ИК-спектры подтвердили наличие фенольных гидроксильных групп, алифатических радикалов, карбонильных соединений, ароматических ядер и С–О групп.

Комплексное исследование фенольных соединений корня *A. millefolium* методами ГХ-МС и ИК-спектроскопии показало, что основными компонентами экстракта являются полиметоксилированные флавоноиды и эфиры п-гидроксibenзонитрила. Их суммарное содержание составило 46,6%. Выявленные соединения обладают антиоксидантными, противовоспалительными, антибактериальными и цитопротекторными свойствами, что делает корни *A. millefolium* перспективным источником биологически активных соединений для фитотерапии и фармакологии.

Литература:

1. Ivanova D. et al. Polyphenols and antioxidant capacity of Bulgarian medicinal plants // *J. Ethnopharmacol.* – 2005. – Т. 96. – С. 145–150.
2. Benedek B., Kopp B. *Achillea millefolium* L. s.l. revisited. Recent findings confirm the traditional use // *Wien Med Wochenschr.* – 2007. – Т. 157. – С. 312–314.
3. Kain D. et al Metabolic characterization of *Achillea millefolium* L. through ultraviolet absorption, fourier transform infrared spectroscopy, and gas chromatography–mass spectrometry analysis // *Journal of Drug Research in Ayurvedic Science.* – 2021. – V. 6. - No 2. – P. 72-78.

## **ФЕНОЛЬНЫЙ ОБМЕН ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ И РИСА В УСЛОВИЯХ АНОКСИИ И ПОСТАНОКСИЧЕСКОЙ АЭРАЦИИ**

**Емельянов В.В., Уварова А.А., Бертова А.Д.**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
bootika@mail.ru

В работе проводилось изучение влияния аноксии и последующей реаэрации на фенольный обмен у проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L., сорт Ленинградка, неустойчивое к гипоксии растение) и риса (*Oryza sativa* L., сорт Лиман, устойчивое растение). При действии аноксии и постаноксической аэрации в побегах и корнях опытных растений были исследованы изменения в содержании общей фракции фенольных соединений с помощью реактива Фолина-Дениса, в количестве флаванов (катехинов и лейкоантоцианидинов) по реакции с ванилиновым реактивом, а также активность ключевого фермента биосинтеза фенольных соединений – фенилаланинаммиаклиазы (ФАЛ) и экспрессия генов, её кодирующих. Измеряли и активность гваяколпероксидазы.

Под действием аноксии существенных изменений в содержании фенольных соединений в побегах обоих растений не происходило, однако при реаэрации после различных сроков кислородной недостаточности общее содержание фенольных соединений существенно возрастало. В корнях обоих растений после аноксического воздействия количество фенольных соединений снижалось по сравнению с контролем, при реаэрации оно продолжало оставаться низким или возрастало незначительно. Количество флаванов в побегах и корнях пшеницы было в несколько раз выше, чем у риса. Изменения в содержании данных веществ в побегах опытных растений при аноксии и реоксигенации коррелировали с изменениями общей фракции фенольных соединений. В корнях значительных изменений в содержании флаванов у пшеницы выявлено не было, тогда как у риса после аноксии наблюдалось снижение их количества, которое оставалось на низком уровне и в период реаэрации. Активность ФАЛ, ключевого фермента биосинтеза фенольных соединений, в побегах и корнях у риса была выше, чем у пшеницы. У пшеницы отсутствие кислорода практически не влияло на ФАЛ, которая инактивировалась уже при реаэрации. У риса аноксия вызывала некоторое снижение активности ФАЛ, как в побегах, так и в корнях, однако при возвращении растения в нормальные условия аэрации активность фермента существенно возрастала, особенно в побегах. Этот процесс сопровождался усилением экспрессии генов *OsPALs*. Под влиянием реаэрации также наблюдали быстрое повышение активности внутри- и внеклеточной гваяколпероксидазы у устойчивого растения. У пшеницы пероксидаза активировалась только в побегах после краткосрочной аноксии и продолжительной реаэрации. Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают предположение, что фенольные соединения, накапливаясь в период постаноксической аэрации, могут выполнять у опытных растений антиоксидантные функции.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ №25-14-00074.*



## **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ И ПОДХОДЫ К РЕГУЛЯЦИИ ИХ БИОСИНТЕЗА**

**Загоскина Н.В.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, [nzagoskina@mail.ru](mailto:nzagoskina@mail.ru)

Одними из наиболее распространенных в растениях представителей вторичного (специализированного) обмена являются фенольные соединения (ФС). Их структура и свойства чрезвычайно разнообразны, а число известных представителей превышает 10000. Многие ФС характеризуются антиоксидантной активностью, а их состав и содержание в ряде случаев являются «маркерами» для систематики растений. Уникальность их состава у различных представителей растительного царства позволяет использовать как сами растения, так и получаемые из них экстракты или отдельные вещества, для укрепления здоровья человека, повышения его иммунитета, защиты от стрессовых воздействий, нормализации сердечно-сосудистой системы, лечении онкологических и других заболеваний.

В настоящее время достаточно полно охарактеризованы этапы биосинтеза ФС, хотя молекулярные механизмы этого процесса исследованы не в полной мере. Транскриптомные исследования выявили некоторые ключевые гены и метаболические пути, ответственные не только за биосинтез, но также транспорт и распад ряда ФС (в частности катехинов и других метаболитов флаванового ряда). Анализ профилей экспрессии генов, относящихся к путям накопления вторичных метаболитов у *C. sinensis*, позволил раскрыть особенности регуляции этого процесса на разных стадиях его онтогенеза.

Поиск факторов/воздействий/приемов, способствующих повышению содержания фенольных биоантиоксидантов является одним из активно развиваемых направлений физиологии и биохимии растений. К ним относится использование физических (свет, температура и др.) и химических (гормоноподобные соединения, элиситоры и др.) факторов, биотехнологических (клеточные культуры и микропобеги *in vitro*) и генетических методов. Снижение биоразнообразия растений, ограниченность и труднодоступность их ареала, а также негативные последствия различных техногенных воздействий ставят перед учеными и практиками задачи не только сохранения растительного сырья, но и повышения накопления в них ценных метаболитов, к числу которых относятся ФС все более широко и успешно используемые в различных отраслях народного хозяйства.

*Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).*

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОФИЛЯ ФЕНОЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ МОРСКОЙ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ *FURCELLARIA LUMBRICALIS*

**Замяткина Е.Б., Яньшин Н.А., Тараховская Е.Р.**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
lizatekna@mail.ru

В настоящее время морские макроводоросли всё чаще привлекают интерес исследователей в связи с большим разнообразием синтезируемых ими веществ фенольной природы. Биологическая активность данных метаболитов открывает новые перспективы для медицины, косметологии и фармацевтики. Интересно, что некоторые промысловые водоросли характеризуются высоким содержанием фенольных соединений, однако их профиль остаётся малоизученным. Примером может служить морская арктическая красная водоросль *Furcellaria lumbricalis* (Gigartinales), активно используемая для получения каррагинана. Талломы фурцеллярии накапливают до 3.25% сух. массы фенольных соединений, а экстракты обладают высокой антиоксидантной активностью. Целью нашей работы стало детальное исследование фенолома *F. lumbricalis*, а также сравнение этого вида с другими арктическими гигартиновыми водорослями по общему содержанию фенольных соединений.

Водоросли были собраны в Кандалакшском заливе Белого моря. Помимо *F. lumbricalis*, исследовались также *Cystoclonium purpureum*, *Polyides rotunda* и *Coccotylus brodiei*. В талломах водорослей было определено общее содержание фенольных соединений, а также содержание флавоноидов и фенольных кислот. Для проведения более детальных анализов талломы фурцеллярии были разделены на три зоны: апикальную, центральную и базальную. Структурная идентификация фенольных соединений фурцеллярии, характерных для разных зон таллома, была проведена методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии.

*F. lumbricalis* сильно выделялась среди других исследованных гигартиновых водорослей: общее содержание фенольных соединений в талломах фурцеллярии было в 2.5–8 раз выше, при этом максимальные различия были обнаружены при сравнении с *P. rotunda*. Фурцеллярия также лидировала по содержанию флавоноидов и фенольных кислот, накапливая в 20 раз больше данных соединений, чем *C. purpureum*, и в ~30 раз больше, чем *P. rotunda* и *C. brodiei*.

В целом, на долю флавоноидов и фенольных кислот приходилось ~40% от общего содержания фенольных соединений в талломах фурцеллярии, однако в апикальной зоне таллома содержание этих веществ было почти в два раза ниже, чем в других зонах. В центральной зоне таллома наблюдалась небольшая тенденция к повышению содержания данных метаболитов (примерно на 20% по сравнению с базальной зоной).

Метаболомный анализ выявил большое разнообразие фенольных соединений в клетках фурцеллярии. Всего было найдено 39 веществ фенольной природы (почти 20% метаболома). Среди них преобладали гидроксикоричные кислоты (кофейная, *n*-кумаровая) и их производные, фенилуксусные кислоты, гидроксibenзойные кислоты (протокатеховая). Для апикальной зоны таллома *F. lumbricalis* было характерно повышенное содержание кофейной кислоты и её производных, а также протокатеховой кислоты. Спектр фенольных соединений центральной зоны был представлен 4-гидроксифенилуксусной кислотой, 4-гидроксиминдальной кислотой и их производными. В основаниях таллома фурцеллярии преобладали *n*-кумаровая кислота, 3-фенилмолочная кислота, а также гастродигенин (4-гидроксibenзиловый спирт). Различия профилей фенольных соединений могут указывать на функциональную дифференциацию зон таллома фурцеллярии.

*Проект выполняется при поддержке РНФ (грант № 25-24-00114).*

## **РОЛЬ ФЛАВАНОВ В ОТВЕТЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК НА ЭКЗОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ**

**Зубова М.Ю., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, [maria.zubova@yandex.ru](mailto:maria.zubova@yandex.ru)

Флаваны – группа природных фенольных соединений из класса флавоноидов, характеризующихся чрезвычайным структурным разнообразием, высокой биологической активностью, и представленных в растениях как мономерными, так и полимерными формами. Мономерные флаваны, катехины, обладают выраженными антиоксидантными свойствами и участвуют в защите от АФК, количество которых возрастает в растительных клетках при воздействии различных экзогенных факторов (УФ-излучение, засуха, перепады температур, интенсивность и длительность освещения и др.) Олиго- и полимерные формы флаванов - проантоцианидины, являясь крупными молекулами (от двух до пяти и более единиц катехинов) помимо присущего им высокого антиоксидантного потенциала, способны связываться с белками патогенов, снижая их активность и затрудняя размножение, влияют на поедание растительных тканей насекомыми и другими травоядными, а также участвуют в формировании клеточных стенок. Все это наделяет эту группу соединений флавановой природы особой ролью в растительной клетке. При поступлении в организм человека флаваны, в том числе проантоцианидины, которые присутствуют в растительной пище, сохраняют свои антиоксидантные свойства и могут оказывать разнообразное фармакологическое действие, что делает их особенно ценными для исследователей.

Несмотря на значительное число работ в области изучения функциональной роли флаванов, вопросы образования, регуляции и баланса этих соединений в растительных клетках при действии различных экзогенных факторов исследованы недостаточно. Это касается и растений чая (*Camellia sinensis* L.), для которых характерен специализированный обмен, направленный на образование именно этой группы фенольных соединений. Флаваны составляют основную часть их фенольного комплекса и представлены простыми и галлированными формами катехинов, а также проантоцианидинами. В связи с ограниченностью ареала его произрастания (тропические и субтропические области земного шара) и требовательностью к почвенно-климатическим условиям выращивания, одним из подходов к изучению регуляции его метаболизма являются *in vitro* культуры клеток и тканей - перспективные источники этих метаболитов для человека. Каллусные культуры чая сохраняют способность к биосинтезу флаванов, хотя их содержание и состав отличаются от такового интактного растения. Используя различные экзогенные факторы, в том числе длительность и интенсивность светового воздействия, можно вызвать изменения в балансе мономерных и полимерных флаванов. В определенной степени этот эффект обусловлен светорегуляцией активности генов, ответственных за их формирование в процессе биосинтеза. Понимание механизмов регуляции накопления флаванов в растениях актуально не только для решения фундаментальных задач физиологии растений, но и для развития отечественных агро- и фармтехнологий.

*Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).*

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЖЕЛУДЯХ ДУБА КРАСНОГО (*QUERCUS RUBRA* L.) ПРИ ПРОРАСТАНИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ**

**Зятева Е.С., Лебедев В.Г.**

Филиал ФГБУН ГНЦ Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пушкино, (4967) 33-09-66 liza\_zyateva@mail.ru

Фенольные соединения играют важную роль в адаптации растений к различным стрессам окружающей среды. В последние годы изменение климата усилило тяжесть такого абиотического стресса, как водный дефицит. Растения в условиях засухи, как правило, повышают концентрации фенольных соединений, которые защищают их от повреждений, вызванных действием свободных радикалов и активных форм кислорода. Подобные исследования обычно проводят на сеянцах и более поздних стадиях развития растений, но мало что известно о динамике содержания фенольных соединений в процессе прорастания семян в условиях засухи.

В качестве объекта исследований мы использовали желуди дуба красного (*Quercus rubra* L.), которые проращивали в перлите при увлажнении водой или 10%, 20% и 30% растворами полиэтиленгликоля для имитации водного стресса. Для повышения дружности прорастания у желудей удаляли 1/3 перикарпа. Для анализа отбирали желуди до увлажнения (Т-0), через 48 ч увлажнения (Т-1), при достижении длины проростков 5 (Т-2) и 20 мм (Т-3). В образцах определяли содержание воды, общих фенолов, флавоноидов и танинов, а также оценивали антиоксидантную активность методами ABTS и FRAP.

Обработка ПЭГ значительно снизила всхожесть желудей, которая составила 91% при увлажнении водой, и 71, 19 и 2% при увлажнении 10, 20 и 30% ПЭГ, соответственно. Исходные желуди содержали 54,0 мкг-экв галловой кислоты/мг сухого веса общих фенолов и 17,5 мкг-экв рутина/мг сухого веса общих флавоноидов. Через 48 ч увлажнения водой их содержание не изменилось, но возросло до 60,2-68,2 и 20,2-25,7 мкг-экв/мг сухого веса при увлажнении ПЭГ, соответственно. При увлажнении 30% ПЭГ доля танинов в общих фенолах снизилась с 85,2-88,1% до 79,2%. По мере прорастания в условиях увлажнения водой и 10% ПЭГ содержание общих фенолов выросло на 40% и общих флавоноидов на 58% по сравнению с исходными образцами. Антиоксидантная активность сухих желудей составила 806,7 и 597,3 мкМ тролокс/г сухого веса по ABTS и FRAP, соответственно. Увлажнение 20 и 30% ПЭГ несколько увеличило антиоксидантную активность по ABTS, но снизила – по FRAP.

В настоящее время проводятся работы по идентификации индивидуальных фенольных соединений в желудях дуба красного.

## ТРАНСКРИПТОМНО-МЕТАБОЛОМНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЛИ ФЛАВОНОИДОВ В ИНИЦИИИ БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА И В ПРОЯВЛЕНИИ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Иванов П.А., Сулима А.С., Зорин Е.А., Тихонович И.А., Жуков В.А.**

ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, p.ivanov@arriam.ru

Бобовые растения выделяют в ризосферу молекулы флавоноидной природы, которые способствуют образованию симбиоза с клубеньковыми бактериями (ризобиями). Целью данной работы было изучение флавоноидов, выделяемых в составе корневых экссудатов гороха посевного (*Pisum sativum* L.), а также механизмов генетического контроля, сопровождающих процессы инициации симбиоза.

На первом этапе работы было установлено, что генотипы гороха к-7094 и Frisson характеризуются высоким общим содержанием флавоноидов в корневых экссудатах. Для данных генотипов был изучен транскриптом корней методом РНК-секвенирования в модификации MACE, в результате чего были идентифицированы гены, уровень экспрессии которых повышен в корнях растений в условиях голодания по азоту в сравнении с условиями нормального содержания азота в субстрате. Азотное голодание вызвало повышение уровня экспрессии гена *PsIOMT1*, кодирующего изоликвиригенин-2'-О-метилтрансферазу. Этот фермент катализирует превращение изоликвиригенина (ИЛК) в 2'-О-метилизолквиригенин (МИЛК). Известно, что у родственного гороху бобового растения люцерны слабоусечённой (*Medicago truncatula* Gaertn.) МИЛК выделяется при инициации симбиоза с ризобиями и является мощным индуктором экспрессии симбиотических генов у ризобий.

На втором этапе исследования были изучены два генотипа гороха – к-8274 и к-3358 – контрастные по симбиотической эффективности. Генотип к-8274 («высокоэффективный») отзывается на инокуляцию ризобиями и грибами арбускулярной микоризы увеличением массы растений и семенной продуктивности, в отличие от генотипа к-3358, не демонстрирующего такой реакции. Был поставлен эксперимент в трех условиях – оптимальные (контроль), азотное голодание без инокуляции (N-R-) и с инокуляцией *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* RCAM1026 sm500 (N-R+). Методом ПЦР в реальном времени было показано, что у к-8274 при инокуляции ризобиями повышается уровень экспрессии генов *PsIOMT1* и *PsCHS* (кодирует халконсинтазу, катализирующую биосинтез ИЛК), в то же время у «низкоэффективного» генотипа к-3358 экспрессия этого гена вовсе не детектируется. Таким образом, можно предположить, что одним из аспектов молекулярных основ симбиотической эффективности является биосинтез и выделение МИЛК в составе корневых экссудатов.

Метаболомный анализ корневых экссудатов к-8274 и к-3358 (с использованием УВЭЖХ-MS/MS) подтвердил присутствие ИЛК и МИЛК, а также других флавоноидов – апигенина, нарингенина, ликвиригенина и др. Было показано, что нормализованное количество МИЛК в корневых экссудатах у к-8274 в условиях азотного голодания больше, чем в оптимальных условиях и при инокуляции для обоих генотипов. Предполагается, что МИЛК может утилизироваться ризобиями, что приводит к снижению его количества в варианте инокуляции ризобиями при азотном голодании.

Полученные данные позволяют предположить наличие связи между флавоноидным профилем и соответствующим механизмом генетического контроля, а также симбиотической эффективностью генотипов гороха. В этом случае высокий уровень экспрессии гена *PsIOMT1* и повышенное содержание продукта соответствующей реакции метилирования (МИЛК), свойственные симбиотически эффективному генотипу к-8274, могут рассматриваться в качестве маркеров симбиотической эффективности у гороха, перспективных для селекции и прикладных агробiotехнологических решений.



## ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА КОРЫ ЛИСТВЕННОЙ ДАУРСКОЙ НА АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДИСМУТАЗЫ ПРОРОСТКОВ СОИ ПРИ ГИПЕРТЕРМИИ

Иваченко Л.Е.<sup>1</sup>, Блинова А.А.<sup>1</sup>, Огурцов И.Б.<sup>2</sup>, Фокина Е.М.<sup>3</sup>, Кузнецова В.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Благовещенский государственный педагогический университет, [ivachenko-rog@yandex.ru](mailto:ivachenko-rog@yandex.ru)

<sup>2</sup>Московское высшее общевойсковое командное училище, Москва

<sup>3</sup>ФГБНУ ФНИЦ Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск,

<sup>4</sup>ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова, Дальневосточная опытная станция, Владивосток.

Амурская область характеризуется резкими колебаниями температур в течение суток, особенно в начальный период вегетации растений. В адаптации к неблагоприятным условиям среды растений важную антиоксидантную функцию выполняет фермент супероксиддисмутаза (СОД, КФ 1.15.1.1) [1]. В коре лиственницы даурской (*Larix dahurica*), содержится комплекс биофлавоноидов, среди которых выявлены проантоцианидины (ПА) и другие полифенолы, также защищающие растения от окислительного стресса и отвечающие за резистентность растения к гниению и микробному повреждению. Поэтому изучение влияния экстракта коры лиственницы даурской, содержащей проантоцианидины, на метаболические процессы проростков сои различного филогенетического происхождения в условиях гипертермии является актуальным.

Семена сои (*Glycine max* (L.) Merrill) сорта Лидия и дикой сои (*Glycine soja* Siebold & Zucc) формы КТ-153, проращивали по ГОСТ 12038-84 в течение 5 суток в количестве 25 штук в 2-х биологических повторностях. Контролем являлись семена сои, пророщенные на воде (К1) при температуре +23 °С, а также с использованием раствора дигидрокверцетина (ДГК1) и экстракта коры (ЭК1) в концентрации  $3 \cdot 10^{-5}$  М. В опытных вариантах по такой же схеме (К2, ДГК2 и ЭК2) семена сои проращивали при температуре +42 °С в течение 5 часов, а затем в течение 5 суток при температуре +23 °С. Маркером окислительного стресса при прорастании семян сои использовали реакцию продукта ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) с тиобарбитуровой кислотой. Активность СОД определяли спектрофотометрическим методом, белок – методом Лоури. Электрофоретические спектры СОД выявляли методом электрофореза в 7,5 % ПААГ.

В результате проведенных исследований нами изучена активность СОД в семенах сои различного филогенетического происхождения на ранней стадии их прорастания после обработки ДГК и ЭК в нормальных условиях и при гипертермии. Исследования показали, что при проращивании семян сои в растворах ДГК и ЭК, содержащего в основном ПА, происходит уменьшение содержания МДА во всех вариантах опыта по отношению к контролю, что свидетельствует о важной роли как ДГК, так и ПА в снижении окислительного стресса. Значительный интерес представляет, что при проращивании семян в течение 5 часов при температуре +42 °С, а затем в течение 5 суток при нормальных условиях во всех вариантах опытов удельная активность СОД снижалась относительно контроля почти в 2 раза, а множественные молекулярные формы этого фермента изменялись незначительно. Таким образом, установлено, что внесение в среду для проращивания культурной и дикой сои экстракта коры лиственницы даурской, содержащего проантоцианидины снижает окислительный стресс в проростках, как в контроле, так и в условиях гипертермии, что приводит к уменьшению активности антиоксидантного фермента СОД.

Литература: Кузнецова В. А., Блинова А. А., Иваченко Л. Е. Влияние гипо- и гипертермии на удельную активность ферментов класса оксидоредуктаз семян сои и множественность их форм // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 8. С. 39–44.

Работа выполнена за счет средств гранта ФГБОУ ВО Благовещенский государственный педагогический университет.

## **ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АПИКАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ КОРНЯ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ЦИНКА ИЛИ МЕДИ В СУБСТРАТЕ**

**Игнатенко А.А., Игнатенко Р.В.\*, Казнина Н.М.**

Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск,

\*ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,  
+7(8142)769810; angelina911@ya.ru

Известно, что при дефиците микроэлементов, в том числе цинка и меди, тормозится рост корневой системы растений, что отрицательно сказывается на поглощении элементов минерального питания. В последнее время для регуляции роста корней и поступления микроэлементов в растения применяют синтетические аналоги фитогормонов. Возможное использование с этой целью салициловой кислоты (СК) – важного растительного гормона – обсуждается в немногочисленных работах, хотя ее положительное влияние на процессы роста показано в целом ряде исследований. Задачей настоящей работы явилось изучение влияния двух способов обработки СК на митотический аппарат клеток апикальной меристемы корня ячменя при оптимальном содержании цинка и меди и их недостатке.

Объектом исследования служили растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур. Использовали предпосевную обработку семян, замачивая их в растворе СК (10 мкМ) на 1 сут, и разовое опрыскивание растений раствором СК (100 мкМ) в фазе кущения. Растения выращивали в условиях контролируемой среды в сосудах с песчаным субстратом в течение 28 сут. Контрольные варианты поливали питательным раствором Хогланда-Арнона с оптимальной концентрацией цинка и меди, а опытные – раствором без добавления солей металлов. Цитогенетический анализ проводили, фиксируя кончики корней в смеси ледяной уксусной кислоты с 96%-этанолом, затем их выдерживали в 4%-м растворе железоаммонийных квасцов, окрашивали 1%-м раствором ацетогематоксилина и готовили давленные препараты. В препаратах определяли митотический индекс, долю клеток на стадиях митоза, частоту и типы нарушений митоза.

Обнаружено, что в апикальной меристеме корня растений, не обработанных СК, при недостатке цинка снижается (по сравнению с его оптимальной концентрацией) митотический индекс и увеличивается доля клеток с К-митозом (в метафазе). При недостатке меди у них наблюдалось повышение частоты нарушений митоза и доли клеток с обособлением хромосом (в метафазе), мостами, отставанием и забеганием хромосом (в анафазе).

Обработка семян СК при оптимальном содержании цинка и меди не оказывала выраженного эффекта на апикальную меристему, а опрыскивание ею растений приводило к уменьшению (по сравнению с необработанными растениями) митотического индекса и увеличению доли клеток с обособлением хромосом в метафазе.

В условиях недостатка цинка оба способа обработки СК практически не влияли на прохождение митоза, за исключением уменьшения доли клеток с кольцевой хромосомой в метафазе и увеличения доли клеток с забеганием хромосомы в анафазе (только при опрыскивании СК). При недостатке меди в обоих случаях наблюдалось повышение (по сравнению с необработанными растениями) доли клеток в ана-телофазе. Помимо этого, после обработки семян СК уменьшалось количество клеток с мостами в анафазе. После опрыскивания СК повышалась доля клеток с К-митозом и хаотическим расхождением хромосом в метафазе и анафазе, соответственно, а в анафазе также снижалась доля клеток с отставанием хромосомы.

В целом, оба вида обработки СК могут использоваться при регуляции митотической активности клеток апикальной меристемы растений в условиях недостатка цинка и меди.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГЗ ИБ КарНЦ РАН FMEN-2022-0004 и гранта РФФИ (проект № 22-26-00168).

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

**Игнатенко Р.В., Ершова М.А., Чирва О.В., Игнатенко А.А.**

Институт леса – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, ocean-9@mail.ru

Технология соматического эмбриогенеза является перспективным способом микроразмножения хвойных растений. К одной из проблем при получении растений-регенерантов представителей семейства Pinaceae относят низкую частоту образования корней у клонов. При этом обнаружено, что применение салициловой кислоты (СК) может способствовать формированию корня у растений-регенерантов хвойных. В связи с этим целью нашего исследования являлась оценка влияния различных концентраций СК на рост и развитие проростков из зрелых семян *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* (L.) Н. Karst., а также подбор оптимальной концентрации СК для применения в биотехнологии данных видов хвойных растений.

Использовали семена *P. sylvestris* и *P. abies*, у которых предварительно определяли энергию прорастания (на 7 сутки) и всхожесть (на 15 сутки). Семена замачивали в растворах СК разной концентрации (0,5, 1, 5, 10, 50, 100, 500 и 1000  $\mu\text{M}$ ) и выдерживали в них на протяжении 1, 3, 6, 12 и 24 часов. Контроль аналогично опыту выдерживали в дистиллированной воде согласно экспозиции. Затем семена отмывали от растворов СК и раскладывали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, смоченную дистиллированной водой. Определяли энергию прорастания, всхожесть и морфологические параметры (общая длина проростка и длина корня). Статистическую обработку данных производили в программе PAST 4.03 с использованием U-теста. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0.05$ .

В результате исследования было установлено, что семена *P. sylvestris*, обработанные раствором СК разной концентрации и продолжительностью по времени, в среднем имеют всхожесть  $92 \pm 6,6\%$ , а в контроле –  $85 \pm 6,1\%$ . Оценка ростовых параметров показала, что общая длина проростков и корней у растений, обработанных раствором СК в концентрациях 50 и 500  $\mu\text{M}$ , были выше или не отличались от контроля на разных временных экспозициях.

При изучении всхожести семян *P. abies*, которые предварительно выдерживали на растворах СК, было выявлено, что ее среднее значение составляет  $91 \pm 3,8\%$ , а у проростков, выращенных на дистиллированной воде, данный показатель составил  $81 \pm 11,7\%$ . Морфологические параметры у растений *P. abies*, обработанных СК, в редких случаях превышали контрольные значения. Однако было установлено, что при выдерживании семян в течение 6 часов в растворе СК с концентрацией 50  $\mu\text{M}$  длина растений и корней превышала эти показатели у проростков контрольного варианта (без обработки СК).

На основе полученных результатов определена оптимальная концентрация раствора СК и длительность предварительной обработки семенного материала. Для *P. sylvestris* данные параметры составляют 50  $\mu\text{M}$  и 3 часа, а для *P. abies* – 50  $\mu\text{M}$  и 6 часов. При дальнейшей работе с культурами *in vitro* хвойных растений время обработки масс клеток может уменьшиться, поскольку клетки соматических зародышей непосредственно будут контактировать с раствором СК. Исследование показало контрастность реакции двух видов хвойных растений на обработку СК. *P. abies* является более устойчивым видом, о чем свидетельствует интенсивное формирование растений-регенерантов в культурах *in vitro* в отличие от *P. sylvestris*.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по государственному заданию КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОСТАВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВ ROSACEAE И LAMIACEAE

Карпова Е.А., Коцупий О.В., Асташенков А.Ю., Амброс Е.В.

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск

Фенольные соединения признаны универсальными физиологическими адаптогенами, способствующими адаптации растений в широком диапазоне условий среды. Защитные функции реализуются путем их участия в окислительно-восстановительных процессах, антимикробной активности, способности связываться с протеинами и служить материалом для построения клеточной стенки. Множество параллельно протекающих процессов адаптации создает проблемы для понимания отдельных физиологических механизмов. Определенный вклад в раскрытие роли некоторых фенольных соединений вносит изучение их динамики и пространственного варьирования в различных условиях.

При исследовании фенольных комплексов растений *Fragaria x ananassa* (Rosaceae) в листьях были обнаружены гидроксибензойные и гидроксикоричные кислоты, катехины, производные эллаговой кислоты, флаванолы и флавонолы. Большинство соединений были представлены в листьях в условиях *in vitro*. При этом содержание гликозидов флавонолов было минимальным, а гликозиды кверцетина отсутствовали. В условиях *ex vitro* или *in vivo* (в зависимости от генотипа) суммарное содержание флавонолов увеличивалось более чем в 20 раз в основном за счет гликозидов кверцетина. Содержание эллаговых соединений несколько возрастало при развитии корневой системы растений в условиях *in vitro* и падало при адаптации *ex vitro*. Суммарное содержание фенольных кислот несколько возрастало при том, что концентрация некоторых фенилпропаноидов падала ниже предела обнаружения, возможно из-за перехода их в производные, связанные с клеточной стенкой [1]. Перспективным направлением дальнейших исследований мы рассматриваем изучение связанных форм фенилпропаноидов в составе полимеров клеточной стенки.

Отличительным признаком листьев представителей семейства Lamiaceae является высокое разнообразие и значительные концентрации гидроксикоричных кислот и флавонов. При сравнительном исследовании фенольных соединений 14 видов рода *Nepeta* из природных условий гор Памиро-Алая и Тянь-Шаня у большинства видов мы обнаружили значительное количество гликозидов лютеолина различной структуры. В листьях вида *N. densiflora*, ареал которого значительно удален от ареала остальных видов к северо-востоку (49°03'47.6"N, 84°56'12.7"E), в значительных количествах обнаружен гликозид кверцетина изокверцитрин. Условия произрастания этого вида отличаются пониженной температурой воздуха и относительно высокой влажностью воздуха и почвы. Для мест обитания остальных видов была характерна более высокая степень аридизации климата. Аналогичное повышение доли кверцетина у видов, сформировавшихся в гумидных условиях, по сравнению с аридными было выявлено нами при анализе видов рода *Spiraea* (Rosaceae) [2]. Полученные результаты подтверждают гипотезы о гидроксикоричных кислотах как источниках лигнина и факторах адаптации, а также о гликозидах кверцетина как соединениях с выраженными антиоксидантными и антирадикальными свойствами, осуществляющих адаптацию растений в условиях низкой температуры и повышенной стрессовой нагрузки.

Литература:

1. Ambros E., Kotsupiy O., Karpova, E. et al. Biostimulant Based on Silicon Chelates Enhances Growth and Modulates Physiological Responses of In-Vitro-Derived Strawberry Plants to In Vivo Conditions. *Plants*. 2023, 12, 4193.
2. Карпова Е. А., Лаптева Н. П. Фенольные соединения в систематике рода *Spiraea* L. *Turczaninowia*. 2014. 17 (1): 42–56.

Исследование выполнено в рамках проектов государственного задания № АААА-А21-121011290025-2 и АААА-А21-121011290026-9.



## РОДОДЕНДРОНЫ *IN VIVO* И *IN VITRO*: МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ

Катанская В.М.<sup>1</sup>, Васильева О.Г.<sup>2</sup>, Костикова В.А.<sup>3</sup>, Храмова Е.П.<sup>3</sup>, Загоскина Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, vera@katanski.com

<sup>2</sup>Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва,

<sup>3</sup>Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

Исследование метаболического профиля и антиоксидантной активности экстрактов растений – продуцентов биологически активных веществ фенольной природы и инициированных из них *in vitro* культур является актуальной задачей современной биотехнологии и фармакогнозии. Растения рода *Rhododendron* L. характеризуются уникальным биохимическим составом фенольных соединений (ФС), устойчивостью к техногенным воздействиям, а также использованием в фармакологических целях. Однако крайне мало данных об особенностях накопления этих вторичных метаболитов в условиях *in vitro*. Целью исследования являлось сравнение содержания и состава ФС в листьях однолетних побегов вечнозеленого *R. smirnowii* и листопадного *R. japonicum* и инициированных *in vitro* культурах микропобегов, полученных путем прямого морфогенеза из листовых почек. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии показал, что в экстрактах интактных растений суммарное содержание ФС было на 50-60% выше по сравнению с микропобегами. При этом во всех вариантах доминирующими компонентами фенольного комплекса являлись флавоноиды, преимущественно С3-гликозиды флавонолов. Наиболее высокое содержание характерно для производных кверцетина, доля которых в листьях интактных растений превышала 50% от суммы ФС, а в микропобегах – составляла 28-30%. Количество гликозидов кемпферола было значительно ниже (в листьях и микропобегах – 9% и 10-15%, соответственно). Гликозиды мирицетина были обнаружены в листьях *R. smirnowii* и *R. japonicum* (3% и 30%, соответственно), тогда как в микропобегах они присутствовали в следовых количествах. Существенные различия характерны и для индивидуальных компонентов фенольного комплекса. Так, *R. japonicum* характеризовался наибольшим содержанием кверцетина как в *in vitro* микропобегах, так и в листьях интактных растений (3.2 и 7.8 мг/г сух. веса соответственно). В листьях *R. smirnowii* преобладали гиперозид и рутин, в то время как в микропобегах их содержание было одинаково низким.

Определение антирадикальной активности экстрактов микропобегов *R. japonicum* в отношении хромоген-радикала ДФПГ была значительно выше по сравнению с *R. smirnowii*, тогда как в экстрактах листьев интактных растений отмечалась противоположная тенденция. В системе инициированного окисления липосом соевого фосфатидилхолина наибольшую антиоксидантную активность (АОА) проявляли экстракты листьев *R. smirnowii*, превышая таковую экстрактов микропобегов более чем в 2 раза. У *R. japonicum* АОА экстрактов листьев и микропобегов была практически одинаковой, несмотря на значительные различия в составе их фенольного комплекса. Все это свидетельствует о фармакологической ценности не только листьев, но и микропобегов рододендронов как потенциальных продуцентов растительных биоантиоксидантов.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).



## АНТОЦИАНЫ – СОЕДИНЕНИЯ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В СОРТАХ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.)

Ким И.В., Клыков А.Г.

ФГБНУ «ФНЦ агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», Уссурийск,  
kimira-80-@mail.ru

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является источником антиоксидантов. Важными антиоксидантами являются вещества фенольной природы (антоцианы) из многочисленной группы растительных пигментов. Антоцианидины редко встречаются в природе в свободном виде. Они синтезируются в кожуре и мякоти клубней картофеля [1]. Антоцианы в растении относятся к вторичным метаболитам. Они выполняют ряд важных функций, которые можно разделить на две основные группы: отношения растение/насекомое и реакция на воздействие стрессовых факторов окружающей среды [2]. В вегетативных тканях (листьях, стеблях) антоцианины поглощают видимое (сине-зеленое) и ультрафиолетовое излучение (UV-B) и являются мощными антиоксидантами и гасителями свободных радикалов [3]. В работе проанализировали 40 сортообразцов картофеля из биоресурсной коллекции и селекционных питомников. Идентификация антоцианов проведена методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии второго порядка. В результате исследований в клубнях растений выявлено семь основных антоцианов. После проведения масс-спектрометрии второго порядка, выделенные антоцианы идентифицированы как дельфинидин-3-глюкозид, дельфинидин 3-рамнозил-5-глюкозид, петунидин-3-глюкозид, мальвидин-3-глюкозид, цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид, пеларгонидин-3-глюкозид. В соцветиях обнаружено два антоциана: пеонидин-3-кумароил-глюкозид и цианидин-3-кумароил-глюкозид. Группа сортов с красно-фиолетовым соцветием имела в среднем 187,6 мг/кг антоцианов. Генотипы с белой окраской венчика соцветия характеризовались содержанием антоцианов менее 0,5 мг/кг или незначительным количеством, в пределах 1,3-3,6 мг/кг. Максимально высокое содержание суммарного количества антоцианов имели два сорта с сине-фиолетовой окраской венчика соцветий: Василек – 605,2 мг/кг и Фиолетовый 501,1 мг/кг. В результате исследований антоцианового профиля листьев идентифицировано 11 антоцианов. Наибольшее количество антоцианов в листьях отмечено у сортов с фиолетовыми и сине-фиолетовыми клубнями – 331,3 мг/кг, а минимальное содержание (15,1 мг/кг в среднем) имели сортообразцы из группы с желтой и кремовой окраской кожуры. По количеству антоцианов в клубнях в среднем выделилась группа генотипов с фиолетовой и сине-фиолетовой кожурой – 190,7 мг/кг. Группа сортов с желтым и кремовым клубнем имела незначительное количество антоцианов – 1,2 мг/кг. Сорта из группы с розовым пигментом на клубнях характеризовались количеством антоциановых компонентов в среднем – 43,2 мг/кг. Таким образом, выявлены диагностические признаки, которые могут быть использованы при оценке генотипов по морфологическим особенностям.

Литература:

1. Sunil L., Shetty N.P. Biosynthesis and regulation of anthocyanin pathway genes. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2022, 106, 1783–1798. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11835-z>.
2. Wu J., Ma Y., Xie R., Zhang Zh., Zhang Sh., Wu X., Wang P., Wang D., Lu Ch.. Integrated metabolomics and transcriptomics reveals difference involved in flavonoid and indole alkaloids biosynthesis in potato tuber flesh. Scientia Horticulturae 2024, 324, 112630 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112630>.
3. Khalid M., Saeed-ur-Rahman, Bilal M., Huang D. Role of flavonoids in plant interactions with the environment and against human pathogens – A review. Journal of Integrative Agriculture 2019, 18, 1, 211-230, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62555-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62555-4).

## ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM FRUITING BODIES OF TINDER FUNGI

**Kiseleva I.S., Ermoshin A.A., Byzova M.A.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia, +79222931553, [irina.kiseleva@urfu.ru](mailto:irina.kiseleva@urfu.ru)

Phenolic compounds play a vital role in living organisms, participating in primary and secondary metabolic reactions, performing antioxidant and antiradical functions, and protecting cells from pathogens and abiotic stressors. Plants possess unique pathways for the biosynthesis of phenolic compounds and accumulate them in tissues. They are traditionally considered promising sources of phenolic compounds as biologically active substances. However, fungi are no less interesting as sources of phenolic compounds. Particularly large quantities of phenolics are known for the fruiting bodies of xylotrophic basidiomycetes, which decompose wood. It is believed that they can be sources of antioxidants used to enhance the resistance of organisms to stressors, for example, and can be used to develop biopreparations for plants.

Extracts from the fruiting bodies of polypore fungi have been studied as potential sources of phenolic compounds with antioxidant activity. Phenolics were identified in a wide range of species: *T. versicolor*, *C. unicolor*, *P. betulinus*, *D. tricolor*, *F. trogii*, *T. pubescens*, *T. gibbosa*, *P. cinereus*, *S. subtomentosum*, and *G. applanatum*; *I. obliquus*, *F. fomentarius*, *F. pinicola*, *T. pergamenum*, *D. tricolor*, *T. versicolor*, *C. unicolor*, *Ph. cinereus*, and *S. subtomentosus*. They were harvested from different substrate species: *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Prunus padus*, and *Populus balsamifera*.

The total phenolics content ranged from  $6.97 \pm 0.13$  mg/g dry biomass in *F. trogii* to  $164.68 \pm 3.01$  mg/g dry biomass in *F. fomentarius*. Phenolic compounds included phenolic acids, phenylpropanoids, flavonoids, and polyphenols: gallic, caffeic, chlorogenic, p-coumaric, cinnamic, protocatechuic acids, catechin, epicatechin, rutin, luteolin, kaempferol, and melanins. Flavonoids were found only in *T. gibbosa*, *C. unicolor*, *I. obliquus*, and *P. cinereus*. The fruiting bodies of wood-decaying fungi are an affordable renewable source for producing melanin pigments. Melanin content ranged from 0.6% in tinder fungus to 17% in chaga.

Melanins are known to be good antioxidants. Extracted from the fruiting bodies of fungi, they showed antioxidant activity ranging from 0.07 mM trolox/g melanin in *F. pinicola* to 1.64 mM trolox/g melanin in *Ph. cinereus*. Extracts exhibited high antioxidant activity *in vitro* also in other tests: reduction potential ranged from 400 to 700%, ABTS-radical quenching was approximately 70-90%, and inhibition of lipid peroxidation was 30-40%.

Preliminary experiments showed that treating barley, tomato, and cucumber seeds with extracts rich in phenolic compounds stimulated seed germination in some cases. The best results were shown for cucumber and tomato plants treated with *T. pergamenum* extract; in barley, the most visible effect was shown for *F. pinicola* extract. The remaining extracts did not change or slightly reduced seed germination. The concentration of photosynthetic pigments in seedlings, treated by extracts were also higher—the increase was about 1.3-1.6 times for chlorophylls and 1.2-3.0 times for carotenoids, except for chaga extract.

In this regard, further study of the biological activity of extracts from fungi fruiting bodies as potential biopreparations for plants is promising.

*This work was supported by the Russian Science Foundation, grant number 25-26-00254, <https://rscf.ru/project/25-26-00254/>*

## РЕГУЛЯЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ КОРНЕЙ НА ФОНЕ УСИЛЕННОЙ ЛИГНИФИКАЦИИ

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

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, 3472356247, guzel@anrb.ru

Отложение лигнина играет важную роль в формировании поясков Каспари, представляющих собой барьер для неконтролируемого движения ионов и воды по апопласту. На фоне засоления, засухи и присутствия в почве ионов тяжелых металлов, наблюдается усиление лигнификации. Эта защитная реакция повышает устойчивость растений, снижая как приток в растения токсичных ионов, так и потерю воды при ее транспорте в побег через подсыхающие при засухе верхние слои почвы. Тем не менее, она может иметь отрицательные последствия для роста и развития растений из-за снижения гидравлической проводимости в результате блокирования апопластного пути воды. Данная работа была направлена на проверку того, как растения могут решить проблему поддержания гидравлической проводимости на фоне усиленного отложения лигнина и вызванного им ограничения движения воды по апопласту.

Работа проводилась на растениях пшеницы и ячменя, которые подвергали воздействию засоления и инокуляции их ризосферы бактериями *Pseudomonas mandelii* IB-Kil4 и *Bacillus subtilis* IB-22. У растений обоих изученных видов засоление вызывало усиление окрашивания поясков Каспари с помощью берберина, что свидетельствовало об ускорении отложения лигнина. Эта реакция на засоление сопровождалась снижением гидравлической проводимости, которую, по аналогии с законом Ома, оценивали по соотношению скорости транспирации и разницы между водным потенциалом листьев и почвенного раствора, являющейся движущей силой для движения воды из корней в побеги.

Нами впервые была выявлена способность ризосферных бактерий стимулировать отложение лигнина в области поясков Каспари. Поскольку эти бактерии активируют рост растений как в нормальных условиях, так и на фоне засоления, важно было выяснить, как они влияют на гидравлическую проводимость тканей растений, т.е. показателя, от которого зависит приток воды, необходимый для роста клеток растяжением. Оказалось, что на фоне вызванного бактериями усиленного отложения лигнина гидравлическая проводимость была выше, чем у необработанных бактериями растений. Известно, что суммарная гидравлическая проводимость складывается из проводимости апопластного пути и пути воды через мембраны клеток. Поэтому представляло интерес оценить состояние водных каналов аквапоринов, от которых зависит движение воды через мембраны, при воздействии бактерий. Эту часть работы проводили на растениях ячменя, поскольку в распоряжении коллектива были антитела к РІР аквапоринам плазмолеммы растений этого вида. С помощью иммуногистохимического подхода было выявлено повышение уровня аквапоринов в коре корней растений ячменя под влиянием бактерий. Очевидно, эта реакция растений обеспечивала поддержание гидравлической проводимости, несмотря на усиление отложения лигнина.

Представляло интерес выяснить, каким образом могла регулироваться эта двойственная реакция: усиленное отложение лигнина и активация аквапоринов, компенсирующая снижение проводимости апопластного пути. С помощью антител к абсцизовой кислоте (АБК) было зарегистрировано накопление этого гормона в корнях под влиянием бактерий. Поскольку известна способность АБК как стимулировать отложение лигнина, так и повышать активность аквапоринов, ее накопление могло быть механизмом запуска этой двойственной реакции.

## **ПОТЕНЦИАЛЫ МЕТАБОЛИЗМА ЭКЗОГЕННОГО НАФТАЛИНА В РАСТЕНИЯХ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.)**

**Макарова Л.Е., Еникеев А.Г., Бизиков П.А., Ищенко А.А., Петрова И.Г.**  
ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск,  
+79149175793, makarova@sifibr.irk.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют экологическую проблему, поскольку вызывают многие заболевания у людей, включая рак и воспаление тканей. Нафталин - представитель ПАУ, производимый предприятиями нефтехимической и коксохимической промышленности в больших объемах. Он широко используется в химическом производстве при получении фталатов, важных компонентов пластмассовых изделий, противокислителей, как N-фенил-2-нафтиламин, красителей и др. веществ. С 2000 г. нафталин в США признан возможным канцерогеном.

Растения играют важную роль в удалении ПАУ из биосферы. По данным литературы, присутствие нафталина в биосфере в повышенных количествах приводит к аккумуляции его в растениях, вызывая негативные изменения в физиолого-биохимических, мембранных процессах, включая фотосинтетические системы. При этом пока недостаточно изучены пути метаболизма нафталина в тканях растений.

Растительные организмы способны не только аккумулировать экзогенно проникающий в их ткани нафталин, но и самостоятельно синтезировать нафталиновые структуры. Среди производных нафталина, синтезируемых растениями, хорошо известны соединения нафтохинонового типа. Они повсеместно распространены и разнообразны по строению, характеризуются высокими фотофизическими и антиоксидантными свойствами, могут участвовать в защите от фитопатогенов. Аналогичными свойствами обладает и такое производное нафталина, как N-фенил-2-нафтиламин, в больших количествах синтезируемый на основе нафталина химическими предприятиями и широко используемый в разных сферах промышленности. Однако N-фенил-2-нафтиламин обнаруживается и в тканях растений. Он был выявлен у 11-ти видов растений, представителей 7 семейств высших растений (*Ranunculaceae*, *Resedaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Potamogetonaceae*, *Cladophoraceae*, *Fabaceae*).

Доказательством самостоятельного биосинтеза N-фенил-2-нафтиламина клетками растений являются полученные нами данные, показывающие на наличие этого соединения в клетках каллусов из эпикотилей проростков гороха. Установлено, что при действии экзогенного нафталина в тканях проростков гороха, а также в каллусах из их эпикотилей существенно возрастало содержание N-фенил-2-нафтиламина. Кроме того, одновременно в клетках обоих растительных объектов происходило повышение содержания некоторых видов фталатов. Это показывает, что проникающий из внешней среды нафталин может метаболизироваться в клетках растений гороха до образования N-фенил-2-нафтиламина и фталатов.

Ранее нами сообщалось, что ряд эндофитных бактерий гороха, а также ризобии, нодулирующие корни этих растений, проявляли способность деградировать N-фенил-2-нафтиламин до фталатов. Недавно нами установлено, что те же эндофитные бактерии способны деградировать по аналогичному пути и нафталин. Итак, приведенные выше данные позволяют полагать, что нафталин в клетках растений гороха необходим для биосинтеза N-фенил-2-нафтиламина и фталатов, а экзогенный нафталин в растениях гороха может метаболизироваться до образования перечисленных соединений за счет метаболических систем как самого растения, так и эндофитных бактерий, поселяющихся в его органах.

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЯКУТСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ РЕДКОГО ВИДА *Adonis sibirica* PATRIN EX LEDEB.

Охлопкова Ж.М.<sup>1</sup>, Максимов Е.Е.<sup>1</sup>, Разгонова М.П.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет», Якутск,

<sup>2</sup>Филиал Дальневосточная опытная станция ВИР, Владивосток,

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, +7(964)4263488, lab281egor@gmail.com

*Adonis sibirica* Patrin ex Ledeb. (семейство Лютиковые – Ranunculaceae) – редкое многолетнее травянистое растение, внесенное в Красную книгу Республики Саха (Якутия). Вид представляет значительный фармакологический интерес благодаря наличию сердечных гликозидов, обуславливающих его применение в медицине как кардиотонического, диуретического и седативного средства. Однако фитохимический профиль популяций *A. sibirica*, произрастающих в экстремальных условиях криолитозоны Якутии, остаётся недостаточно изученным. Исследование вторичных метаболитов, синтез которых может быть связан с адаптацией к резко континентальному климату, является актуальной задачей в контексте сохранения генофонда и поиска новых источников биологически активных соединений.

Целью данного исследования являлось комплексное изучение фитохимического состава надземной фитомассы *Adonis sibirica* с применением методов сверхкритической флюидной экстракции и ВЭЖХ в сочетании с таргетной масс-спектрометрией высокого разрешения. Надземная часть растения была собрана на территории Намского района Республики Саха (Якутия) в июне 2023 г. Приготовлены этанольные, метанольные и сверхкритические CO<sub>2</sub>-экстракты. Анализ выполняли на ВЭЖХ-системе Shimadzu LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) с масс-спектрометрическим детектированием на amaZon SL (Bruker Daltonics, Германия) с ионизацией в режимах ESI+ и ESI-. Идентификация соединений проводилась путем сопоставления точных масс, времени удержания и спектров фрагментации MS/MS с литературными данными и базами MassBank, HMDB.

В экстрактах надземной фитомассы *Adonis sibirica* идентифицировано 75 соединений, 55 из которых относятся к классу полифенолов. Впервые для данного вида описано 32 соединения, 25 из которых являются полифенолами. Впервые для рода *Adonis* идентифицированы: флавоны (витексин, изовитексин, генистеин-8-С-глюкозид, генистеин-6-С-глюкозид, акацетин-8-С-глюкозид, лютеолин 7-О-глюкозид), флавонолы (кверцетин-3-О-пентозид, мирицетин), антоцианы (цианидин-3-О-глюкозид, цианидин-3-О-гексозид, цианидин-3-О-β-галактозид, дельфинидин-3-О-гексозид, дельфинидин-3-О-β-галактозид, дельфинидин-3-О-(6"-О-малонил)-β-D-глюкозид, дельфинидин-3-О-рутинозид), гидроксикоричные кислоты (феруловая, гидроксиферуловая, хлорогеновая, криптохлорогеновая, неохлорогеновая кислоты), флоретин, кумарины (умбеллиферон, фраксетин) и их гликозиды (умбеллиферон гексозид, фраксетин гликозид).

Проведенное исследование демонстрирует богатый и сложный фитохимический профиль *Adonis sibirica*, произрастающего в Якутии. Впервые установлено наличие в растении широкого спектра фенольных соединений, включая флавоны, флавонолы, антоцианы, гидроксикоричные кислоты, что значительно расширяет существующие представления о его метаболическом потенциале. Полученные данные свидетельствуют о том, что экстремальные условия среды могут индуцировать синтез уникального комплекса вторичных метаболитов с потенциальной биологической активностью. Результаты работы составляют научную основу для дальнейшего фармакогностического изучения *A. sibirica*, оценки его медицинского потенциала и разработки подходов культивирования *in vitro* для сохранения данного редкого вида и рационального использования.



## **БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭКСТРАКТОВ ОМЕЛЫ БЕЛОЙ (*VISCUM ALBUM L.*) И ИХ АНТИФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ**

**Паршина М.Н., Кондратюк Д.Р., Масленников П.В.**

ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград,  
pashamaslennikov@mail.ru

Омела белая (*Viscum album L.*) — полупаразитическое растение, широко распространенное в Европе и Азии. В традиционной медицине различные части омелы белой используются для лечения широкого спектра заболеваний, включая гипертонию, эпилепсию, бесплодие и злокачественные новообразования. Фармакологическая активность омелы белой обусловлена наличием в ее составе широкого спектра биологически активных веществ (БАВ), таких как фенольные соединения, флавоноиды, тритерпеноиды, алкалоиды, полисахариды и лектины. В последние годы наблюдается повышенный интерес к изучению химического состава и фармакологической активности омелы белой, что связано с ее потенциальным применением в качестве источника новых лекарственных средств. Однако химический состав омелы белой может существенно варьировать в зависимости от различных факторов, таких как вид дерева-хозяина, время сбора, географическое происхождение и метод экстракции.

Экстракция является ключевым этапом в процессе получения биологически активных веществ из растительного сырья. Выбор оптимального метода экстракции и растворителя является важным фактором, определяющим выход и состав экстрагируемых веществ. Результаты наших исследований показали, что вид дерева-хозяина оказывает существенное влияние на химический состав омелы белой. Это может быть связано с тем, что омела белая, являясь полупаразитом, получает питательные вещества из дерева-хозяина, и, следовательно, ее химический состав отражает химический состав дерева-хозяина. Различия в содержании фенольных соединений и антиоксидантной активности в экстрактах омелы, собранной с яблони и груши, могут быть обусловлены различиями в метаболизме этих деревьев. Изменения в содержании БАВ в зависимости от времени сбора могут быть связаны с фенологическими изменениями в растении. В период цветения в омеле белой увеличивается содержание флавоноидов, которые играют важную роль в защите растения от УФ-излучения и привлечении насекомых-опылителей.

Влияние растворителя на состав и выход экстрагируемых веществ (сумма фенольных соединений, суммарное содержание антиоксидантов) обусловлено различиями в их полярности и растворяющей способности. 50% этанол является более эффективным для извлечения флавоноидов, чем 70% этанол, что может быть связано с тем, что вода в составе растворителя способствует набуханию растительного материала и облегчает проникновение этанола и извлечение полярных компонентов. Результаты исследований подтверждают, что выбор растворителя является ключевым фактором для оптимизации процесса экстракции и получения экстрактов с заданным химическим составом. Сравнение различных методов экстракции показало, что ультразвуковая экстракция (УЗЭ) является наиболее перспективным методом для извлечения БАВ из омелы белой. Это может быть связано с тем, что УЗЭ обеспечивает эффективное разрушение клеточных стенок и облегчает извлечение БАВ, сокращая время экстракции и повышая выход БА компонентов. Для экстрактов омелы белой выявлена антифунгицидная активность, которая может быть обусловлена наличием в их составе различных соединений, таких как: лектины, вискотоксины, фенольные соединения и др., которые могут повреждать клеточные мембраны грибов, нарушать их метаболические процессы и ингибировать рост.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО (*HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.)

**Михель И.М., Барашкова А.С., Рогожин Е.А.\***

ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии, Москва;

Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург, г. Пушкин,

joseph.mikhel@yandex.ru

\*ФГБУН ГНЦ РФ Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А.

Овчинникова РАН, Москва

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden., 1944) является одним из наиболее агрессивных инвазивных видов на территории Российской Федерации и ряда прилегающих стран. Данное растение содержит фуранокумарины, вызывающие ожоги у людей, оказывающие аллелопатическое действие на окружающую флору, а также затрудняющие организацию мероприятий, направленных на его уничтожение. Изучение фитохимического состава борщевика является важной составляющей мер по планированию борьбы с ним. Перспективной областью исследования также заявлена разработка микогербицидов на основе фитопатогенных грибов, поражающих преимущественно дикорастущие растения семейства Зонтичные (*Umbelliferae*). В этой связи для оценки антифунгального потенциала борщевика Сосновского был предпринят поиск биологически активных макромолекул и вторичных метаболитов в генеративных органах (цветки и плоды различной степени зрелости), которые являются подходящей мишенью для заражения с целью сдерживания размножения данного растения.

Для выделения искоемых молекул экстракты из цветков, незрелых и зрелых плодов борщевика Сосновского были получены водно-солевым раствором 0,1 М трис рН 8.0 со смесью ингибиторов протеиназ (Sigma-Aldrich, США), высажены охлажденным ацетоном и обессолены методом твердофазной экстракции среднего давления. Дальнейший анализ полученных экстрактов методом аналитической обращённо-фазовой ВЭЖХ, совмещенной с УФ-детектированием при длинах волн 214/280 нм, продемонстрировал наличие в каждом из экстрактов ряда преобладающих компонентов, которые в дальнейшем были собраны вручную и проанализированы спектрофотометрически в диапазоне длин волн 200-400 нм и методом ступенчатой деградации по Эдману.

В результате в исследуемых экстрактах не было выявлено компонентов полипептидной природы на основании отсутствия минимумов/максимумов поглощения на характерных длинах волн. Кроме того, анализ целевых фракций по Эдману показал наличие в их структурах компонентов углеводной природы (гликозидов), а также производных триптофана и фенилаланина, что свидетельствует о содержании карбо- и гетероциклических оснований, являющихся основой многих биологически активных метаболитов фенольной природы, в частности, флавоноидов. Для дальнейшей структурной идентификации полученных метаболитов планируется проведение масс-спектрометрического анализа высокого разрешения.

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда (№19-76-30005-П).*

## СРАВНЕНИЕ СОСТАВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ *CHAENOMELES JAPONICA*

**Мотылева С.М.<sup>1,4</sup>, Утьянов Д.А.<sup>1,2</sup>, Комар-Темная Л.Д.<sup>1,3</sup>, Митрофанова И.В.<sup>1</sup>,  
Молканова О.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, +7499-977-91-45,  
motyleva\_svetlana@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва,

<sup>3</sup> ФГБУН «Никитский ботанический сад - Национальный научный центр РАН», Крым, Ялта

<sup>4</sup> Онлайн школа садоводов Strogoorganic, Москва

Растения *C. japonica* широко распространены и известны содержанием фенольных соединений, витаминов и других биологически активных веществ. Это делает их перспективным сырьем для создания пищевых добавок, спрос на которые постоянно растет. Однако к настоящему времени имеются только отдельные публикации, посвященные изучению фенольного профиля листьев *C. japonica* в условиях интродукции [1].

Наша цель состояла в том, чтобы выяснить, может ли различаться состав или накопление фенольных соединений в листьях вида *C. japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach., интродуцированного в разных эколого-географических зонах России, и сортов, полученных на его основе.

Из ФГБУН НБС-ННЦ получены образцы *C. japonica* и с. Мимка; образцы *C. japonica* и с. Шарм - из ФГБУН ГБС. Исследовали экстракты карбинолом и хлороформом, приготовленные из сухих листьев. Состав вторичных метаболитов исследовали методом ГХ-МС на газовом хроматографе Хроматэк Кристалл 5000.2 с квадрупольным детектором. Для идентификации веществ использовали программное обеспечение автоматического поиска по библиотеке масс-спектров базы данных NIST. Об относительном содержании индивидуальных веществ судили по площади идентифицированного пика.

В фенольном профиле обоих экстрактов было надежно идентифицировано 10 фенольных соединений различных групп - оксibenзойные кислоты, флавоноиды (флаваны и флавонолы), гидроксикоричные кислоты и их производные, фенилпропаноид и гликозид фенольного типа: Caffeic acid, Quercetin, Shikimic acid, Arbutin, Catechine, Coumaric acid, 5-O-p-Coumaroylquinic acid, Chlorogenic acid, 5-O-Caffeoylquininic acid, 5-O-Feruloylquininic acid. Все эти соединения обладают терапевтическим потенциалом. Анализ площадей пиков позволил выявить, что в листьях всех образцов примерно в одинаковых количествах синтезируются Caffeic acid, 5-O-p-Coumaroylquinic acid, Arbutin и Catechine. Наибольшие различия в листьях *C. japonica* отмечены по содержанию Chlorogenic acid (в условиях Ялты ее накапливается в 1,5 раза больше), что можно рассматривать как защитный механизмы, чтобы противостоять абиотическому стрессу высоких температур, инсоляции и засухи. В листьях обоих сортов в среднем идентифицировано на 15 % больше Coumaric acid и Shikimic acid, чем в родительской форме *C. japonica*, причем в листьях сорта Мимка на 10-15 % выше, чем в листьях с. Шарм. Фенилпропаноид 5-O-Feruloylquininic acid обнаружена только в образцах ГБС (*C. Japonica* и с. Шарм).

Таким образом, мы подтвердили изменение синтеза фенольных метаболитов в листьях *C. japonica*, связанное с адаптацией к климатическим условиям произрастания и с созданием новых сортов в результате селекции. Исследования будут продолжены.

### Литература

Chojnacka K. et al. Comparison of phenolic compounds, antioxidant and cytotoxic activity of extracts prepared from Japanese quince (*Chaenomeles japonica* L.) leaves //Journal of Physiology and Pharmacology. – 2020. – V. 71, N 2. DOI: 10.26402/jpp.2020.2.05

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 25-16-00145.

## УЧАСТИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФЛАВОНОИДОВ В РИЗОСФЕРНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

**Муратова А.Ю.<sup>1</sup>, Панченко Л.В.<sup>1</sup>, Кузянов Д.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов  
ФГБУН ФИЦ Саратовский научный центр РАН,

<sup>2</sup>Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН  
ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения,  
Саратов, muratova\_a@ibppm.ru

Растения и бактерии обладают гибким метаболизмом и уникальными механизмами детоксикации загрязняющих веществ в окружающей среде. Изучение этих механизмов важно для понимания процессов, происходящих в экосистемах, и перспектив борьбы с постоянно растущим загрязнением природы. Выделяемые с корневыми экссудатами растений фенольные соединения благодаря подобию их химической структуры различным ароматическим поллютантам могут обуславливать способность ризосферных микроорганизмов подвергать деградации широкий спектр органических загрязнителей, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Для выяснения возможной роли растительных флавоноидов в ризосферной деградации ПАУ было исследовано влияние трехкольцевого ПАУ фенантрена на содержание фенольных соединений в корневых экссудатах люцерны посевной (*Medicago sativa* L.), а также влияние флавоноидов (нарингенина, рутина, морина, кверцетина, апигенина и лютеолина) на микробную деградацию указанного ПАУ двумя ризобактериями – *Ensifer meliloti* и *Mycolicibacterium gilvum* – ассоциативными указанному растению.

Растения люцерны выращивали в кварцевом песке, незагрязненном и загрязненном фенантrenom в различных концентрациях, в аксенических условиях в течение 3 недель. По окончании культивирования проводили сбор и анализ корневых экссудатов, в составе которых определяли содержание флавоноидов и фенантрена с использованием УФ-спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Установлено, что с увеличением концентрации фенантрена общее количество фенольных соединений в корневых выделениях люцерны возрастало и менялся их спектр.

Влияние флавоноидов на микробную деградацию ПАУ исследовали в условиях периодического культивирования микроорганизмов в минеральной среде с добавлением фенантрена и флавоноидов в различных концентрациях. Установлено, что эффект флавоноидов на биодеградацию ПАУ варьировал от ингибирующего до стимулирующего. Один и тот же флавоноид мог оказывать противоположное действие на рост и деградацию фенантрена разными бактериями. Характер влияния исследуемых флавоноидов на рост бактерий не зависел от присутствия ПАУ. На примере нарингенина показано, что стимулирование роста бактерий тем или иным флавоноидом могло не сопровождаться усилением деградации ПАУ. За исключением рутина все исследованные флавоноиды подвергались микробной деградации. Полученные данные свидетельствуют об использовании растительных флавоноидов в качестве источника не только углерода, но и энергии.

Инокуляция люцерны компетентной ризобактерией *E. meliloti* приводила к увеличению содержания и качественным изменениям профиля фенольных соединений в корневых экссудатах растения, а также к усилению ризодеградации фенантрена, что, очевидно, было связано с повышенной метаболической активностью в ризосфере. Проведенное исследование позволяет предположить вовлеченность растительных флавоноидов в ризосферную деградацию ПАУ.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания №124020100146-9.*

## ИЗМЕНЕНИЯ В АКТИВНОСТИ МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ В ПРОРОСТКАХ СОИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИГИДРОКВЕРЦИТИНА

**Огурцов И.Б., Иваченко Л.Е.\***

Московское высшее общевойсковое командное училище, Москва, ilya\_borisovich.93@mail.ru

\*ФГБОУ ВО Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск

Важная роль в системе защиты клеток растений от окислительного стресса, ярко выраженного на начальных этапах их формирования, отводится малатдегидрогеназе (НАД<sup>+</sup>МДГ, КФ 1.1.1.37) – важнейшему ферменту в цикле трикарбоновых кислот, который вовлечен в механизмы адаптации к неблагоприятным условиям [1]. В качестве регуляторов, обуславливающих формирование защитной системы растений при окислительном стрессе, выделяют эталонный антиоксидант флавоноидной природы – дигидрокверцетин (таксифолин, ДГК). Несмотря на значительный интерес исследователей к его использованию до сих пор данных по действию ДГК на ранние этапы роста проростков сои и активность МДГ крайне мало, что свидетельствует об актуальности поставленной нами цели.

Семена сои (*Glycine max* (L.) Merrill) сорта Лидия и дикой сои (*Glycine soja* Siebold & Zucc) формы КТ-153, выращенные на полях ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, проращивали по ГОСТ 12038-84 в течение 5 и 120 часов (5 суток) при температуре +23 °С на воде (контроль) или растворах дигидрокверцитина (ДГК) в концентрациях  $3 \cdot 10^{-4}$ М,  $3 \cdot 10^{-5}$ М и  $3 \cdot 10^{-6}$ М (ДГК<sup>1</sup>, ДГК<sup>2</sup> и ДГК<sup>3</sup>, соответственно). В качестве маркера окислительного стресса при прорастании семян сои изучали содержание малонового диальдегида (МДА) с использованием тиобарбитуровой кислоты. Активность НАД<sup>+</sup>МДГ определяли спектрофотометрическим методом при длине волны 340 нм, по приросту оптической плотности, пропорциональной концентрации НАДН. Электрофоретические спектры фермента выявляли методом электрофореза в 7,5 % ПААГ с последующим окрашиванием соответствующим гистохимическим методом.

Установили, что воздействие ДГК на культурную и дикую сою вызывало уменьшение уровня МДА во всех вариантах опыта, что свидетельствует о важной роли этого флавоноида в снижении окислительного стресса. В период проращивания семян сои в течение 5 и 120 часов при исследуемых концентрациях ДГК удельная активность НАД<sup>+</sup>МДГ возрастала. Анализ множественных молекулярных форм фермента выявил, что при проращивании семян культурной сои в течение 5 часов в растворах ДГК исследуемой концентрации выявлено две дополнительные формы МДГ относительно контроля, которые свидетельствуют о влиянии ДГК на метаболизм сои на ранней стадии онтогенеза. После проращивания семян в течение 120 часов во всех исследуемых образцах проростков сои обнаружена дополнительная молекулярная форма со средней электрофоретической подвижностью ( $R_f = 0,40$ ).

Таким образом, показано, что внесение ДГК различной концентрации при прорастании семян сои различного филогенетического происхождения повышает удельную активность малатдегидрогеназы и вызывает образование дополнительных молекулярных форм фермента в семенах культурной сои.

Литература:

Огурцов И.Б. и др. Активность оксидоредуктаз проростков сои на ранней стадии онтогенеза. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 12. 35-44. DOI 10.26898/0370-8799-2023-12-4.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет».



## НОВЫЕ АЦИЛИРОВАННЫЕ ФЛАВОН- И ФЛАВОНОЛ-О-ГЛИКОЗИДЫ В СЕМЕЙСТВЕ *APIACEAE* ИЗ ФЛОРЫ БУРЯТИИ

**Оленников Д.Н.<sup>1</sup>, Кашенко Н.И.<sup>1</sup>, Шишмарева Т.М.<sup>1</sup>, Шишмарев В.М.<sup>1</sup>, Корнопольцева Т.В.<sup>1</sup>, Петров Е.В.<sup>1</sup>, Казанчян А.Н.<sup>2</sup>, Шамилов А.А.<sup>2</sup>, Чирикова Н.К.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, +79021600627, olennikovdn@mail.ru

<sup>2</sup> Пятигорский медико-фармацевтический институт, филиал ГБОУ ВПО Волгоградский государственный медицинский университет МЗ РФ, Пятигорск,

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск

Семейство *Apiaceae* во флоре Республики Бурятия представлено 30 родами и 48 видами, большинство из которых образует на территории региона популяции с малой плотностью, что приводит к истощению их природных запасов. Для осуществления научных исследований нами проводится отбор семенного материала видов *Apiaceae* с целью определения возможности культивирования в условиях открытых плантаций и изучения состава и строения метаболитов и биологической активности экстрактов и отдельных соединений. В результате осуществленных исследований успешный опыт культивирования показан для более чем 20 видов данного семейства. Хроматографическое разделение и спектральный анализ фенольных соединений надземных органов отдельных представителей родов *Anthriscus*, *Ostericum*, *Pleurospermum*, *Phlojodicarpus* и *Saposhnikovia* позволили выделить около 100 флавоноидов, 14 из которых оказались новыми природными соединениями:

- *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. – апигенин 7-(2''-О-кофеил-6''-О-*n*-кумароил)-О-глюкозид, апигенин 7-(4''-О-кофеил-6''-О-*n*-кумароил)-О-глюкозид, лютеолин 7-(2'',6''-ди-О-малонил)-О-глюкозид;

- *Ostericum tenuifolium* (Pall. ex Schult.) Y.C.Chu – кверцетин 3-О-{2''-О-(3'''-О-кофеил)-глюкозил}-глюкозид, кверцетин 3-О-{2''-О-(4'''-О-кофеил)-глюкозил}-глюкозид, кверцетин 3-О-(2'',6''-ди-О-кофеил)-глюкозид;

- *Pleurospermum uralense* Hoffm. – кемпферол 3-О-(2''-О-малонил)-глюкозид-7-О-рамнозид, кемпферол 3-О-(6''-О-малонил)-глюкозид-7-О-рамнозид;

- *Phlojodicarpus sibiricus* (Fisch.) Koso-Pol. – диосметин 7-О-(2''-О-малонил-6''-О-апиозил)-глюкозид, хризозериол 7-О-(2''-О-ацетил-6''-О-апиозил)-глюкозид;

- *Saposhnikovia divaricata* (Turcz. ex Ledeb.) Schischk. – кверцетин 3-О-(3'',4''-ди-О-*транс-n*-кумароил)-рамнозид, изорамнетин 3-О-(2'',3''-ди-О-*транс-n*-кумароил)-рамнозид, рамнетин 3-О-(2'',3''-ди-О-*транс-n*-кумароил)-рамнозид, кемпферол 3-О-(2'',3'',4''-три-О-*транс-n*-кумароил)-рамнозид.

Изучение биологического действия ацилированных флавоноидных гликозидов семейства *Apiaceae* выявило у них наличие антиоксидантной, противовоспалительной, иммуномодулирующей и цитотоксической активности.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научных проектов № FWSM-2021-0005 (№121030100227-7) и FSRG-2023-0027.

## ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГЛАЗАМИ БОТАНИКА-СИСТЕМАТИКА

Остроумова Т.А.

ФГБОУ «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Ботанический сад МГУ, Москва, Ленинские горы 1/12, +7(916)6579273, [ostro\\_t\\_a@mail.ru](mailto:ostro_t_a@mail.ru)

Моя работа в ботанике связана в основном со сбором признаков у большого числа таксонов в семействе зонтичных (Umbelliferae = Apiaceae) и анализом распределения признаков (мерономия по С.В.Мейену).

Общее впечатление от анализа морфологических признаков – с одной стороны, есть обычные признаки (можно назвать их фоновыми), присутствующие у большинства таксонов, и с другой стороны, признаки редкие и от этого бросающиеся в глаза. Были случаи, когда сходство по редким признакам посчитали свидетельством родства. Например, объединили в один род совершенно разные растения, которые сейчас называют *Ammi majus* и *Visnaga daucoides* и которые, в частности, значительно различаются по составу кумаринов. Понадобилось много сил, чтобы доказать, что растения относятся к разным родам. По данным секвенирования ДНК род *Ammi* относится к кладе *Apiaceae*, а *Visnaga* – *Oporhiza*.

Что касается химии, что-то я узнала от руководителя нашего отдела М.Г.Пименова, которые серьёзно интересовался хемосистематикой и несколько лет читал курс хемосистематики для ботаников биологического факультета МГУ. Пименов с соавторами написал обзор по хемосистематике в 1987 году с 656 ссылками [1]. Неизгладимые впечатления оставила у меня работа Пименова с соавторами над сводкой «Растительные ресурсы СССР», раздел по зонтичным [2]. Я была лаборантом и удостоилась чести два раза перепечатывать на машинке текст этой работы. Теперь, когда я читаю работы о химическом составе растений, я вижу знакомые слова, но не понимаю, что они значат.

Широкое применение «молекулярных методов», а именно секвенирование ДНК и построение «молекулярных деревьев», вызвало замешательство у систематиков, всю жизнь применявших только данные морфологии. Молекулярные клады содержали разнородные по морфологии виды, а многие привычные роды оказались полифилетичными, их фрагменты разошлись по разным кладам. Корреляция морфологических и молекулярных данных – редкие счастливые случаи.

Например, два североамериканских рода *Oxypolis* и *Ptilimnium*, каждый распался на две клады, которые к тому же хорошо различались между собой по форме листьев и строению плодов. Уклоняющиеся виды отнесены к родам, соответственно, *Tiedemannia* и *Harperella*, что вполне устроило сторонников морфологических методов.

На молекулярном дереве [4] виды рода *Bunium* разделились на две группы – западную и восточную. Западные виды имеют зародыши с одной семядолей, плоды с узкой комиссурой, хромосомные числа  $x = 11, 10$  и  $9$ , тогда как восточные – две семядоли, широкую комиссуру и хромосомные числа  $x = 11, 10, 9, 8, 7, 6$ . Восточные виды перенесены в род *Elwendia*.

Было бы интересно познакомиться с работами, где производили наложение химических признаков на молекулярное дерево.

### Литература

1. Пименов М.Г., Борисова Д.Ф. Хемосистематика. Итоги науки и техники, сер. Ботаника, т. 6. Изд-во ВИНТИ. Москва, 1987. с. 7-95
2. Пименов М.Г., Скляр Ю.Е. Сем. 16. APIACEAE Lindl. (Umbelliferae Juss.) – ЗОНТИЧНЫЕ. В кн.: Растительные ресурсы СССР. Л., Наука 1988: 68-177.
3. M. A. E. Feist, S. R. Downie, A. R. Magee, & M. Liu. TAXON 61 (2): 402–418
4. G. V. Degtjareva, E. V. Kljuykov, T. H. Samigullin, C. M. Valiejo-Roman, M. G. Pimenov. Plant Syst Evol (2013) 299:985–1010. DOI 10.1007/s00606-013-0779-9.

**КОМПЛЕКС ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОГО ВИДА *Lilium pilosiusculum* (FREYN) MISCZ.**

**Охлопкова Ж.М.<sup>1</sup>, Кучарова Е.В.<sup>1</sup>, Разгонова М.П.<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет», Якутск, +7(914)2352190, zhm.okhlopkova@s-vfu.ru

<sup>2</sup>Филиал Дальневосточная опытная станция ВИР, Владивосток,

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток

*Lilium pilosiusculum*, лилия кудреватая – многолетнее травянистое растение семейства Лилейные (Liliaceae), относящееся к редким и малоизученным видам. Несмотря на его использование в народной медицине, а также в качестве пищевого, декоративного, технического растения и медоноса, фитохимический состав вида, особенно в экстремальных условиях произрастания, изучен недостаточно. Популяции *L. pilosiusculum* на территории Якутии существуют в уникальных условиях резко континентального климата, характеризующегося длительным морозным периодом и коротким вегетационным сезоном. Данные стресс-факторы могут индуцировать синтез специфических вторичных метаболитов, выступающих в качестве защитных механизмов. Традиционные методы анализа не позволяют получить полную картину метаболомного профиля, что обуславливает актуальность применения современных аналитических технологий для его всестороннего изучения.

Целью данного исследования явилось изучение фитохимического профиля редкого вида *Lilium pilosiusculum*, произрастающей на территории Нюрбинского района Республики Саха (Якутия), с применением таргетной масс-спектрометрии высокого разрешения и сверхкритической флюидной экстракции. В ходе экспедиционных работ (июль 2022–2023 гг.) в окр. п. Жархан (Западная Якутия) были отобраны образцы надземных частей *Lilium pilosiusculum* (листья, стебли, цветки). После воздушной сушки был получен этанольный экстракт методом мацерации. Данные масс-спектрометрии высокой точности регистрировали на ионной ловушке amaZon SL (Bruker Daltonics), оснащенной источником ESI в режиме отрицательных и положительных ионов. Идентификация соединений выполнялась на основе точной массы ( $m/z$ ), времени удерживания (RT) и паттернов фрагментации (MS/MS) путем сопоставления с литературными данными и базами данных (MS2T, MassBank, HMDB).

В результате проведенного анализа в экстрактах *L. pilosiusculum* было идентифицировано 69 химических соединений, 40 из которых относятся к полифенолам. Впервые для представителей рода *Lilium* обнаружено 42 соединения, в том числе 24 полифенольных соединения. К числу впервые идентифицированных относятся: флавоны (изоскопарин, скопарин, хризоеприол-С-гексозид), флавонолы (таксифолин, кверцетин диглюкозид, кверцетин-О-дигексозид), флаван-3-олы (афзелехин, (эпи)-афзелехин, катехин, (эпи)-катехин, галлокатехин, (эпи)-галлокатехин), антоцианы (дельфинидин-3,4-диглюкозид, дельфинидин-3,5-дигексозид, дельфинидин-3,5-О-дигалактозид, дельфинидин-3-О-рутинозид-5-О-глюкозид, дельфинидин-3-О-(6-О-р-кумарил)-5-О-диглюкозид), стильбены (ресвератрол, цис-ресвератрол), кумарины (умбеллиферон, фраксетин), гидроксикоричные и гидроксibenзойные кислоты.

Полученные результаты имеют фундаментальное значение, расширяя представление о метаболомном разнообразии и адаптационных механизмах растений в экстремальных стрессовых условиях. Практическая значимость работы заключается в выявлении биохимического потенциала *L. pilosiusculum*, что открывает перспективы для её *in vitro* культивирования с целью последующего использования в медицине, фармакологии и сельском хозяйстве.

## РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ *OLEA EUROPAEA* L.

**Палий А.Е., Губанова Т.Б., Корсакова С.П., Палий И.Н., Мелкозёрова Е.А.**  
ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», г. Ялта,  
+7(978) 705-46-27, onlabor@yandex.ru

Исследованы особенности влияния климатических параметров холодного сезона года на содержание фенольных соединений (ФС) в листьях трех сортов *Olea europaea* L. (Никитская, Кореджиоло, Асколяно) и подвида *O. europaea* subsp. *cuspidata* (Wall. and G. Don) Cif., произрастающих в условиях сухих субтропиков на Южном берегу Крыма. На основании данных за 8-летний период исследований показано, что холодные зимы с устойчивыми температурами ниже 5°C приводят к стабильно низкому содержанию ФС, тогда как неустойчивая погода с резкими перепадами тепла/холода стимулирует их накопление. Значительные изменения в содержании ФС в листьях генотипов *O. europaea* в холодные периоды с резкими колебаниями температуры могут быть обусловлены активацией ростовых процессов. Выявлено, что для слабоморозостойкого подвида *O. europaea* subsp. *cuspidata* характерно самое высокое содержание ФС, тогда как для морозостойкого сорта Никитская – самое низкое, характеризующее высокую эффективность работы антиоксидантной системы. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа показали, что изменчивость интенсивности биосинтеза ФС в холодный сезон в большей степени зависит от погодных условий конкретного года (67,5%), чем от генотипа (2,6%). Установлена достоверная положительная связь накопления ФС с суммой осадков и отрицательная – с продолжительностью солнечного сияния. Построены уравнения множественной регрессии, отображающие взаимосвязи между содержанием ФС в листьях генотипов *O. europaea* и условиями окружающей среды в холодный сезон года: солнечным сиянием, количеством осадков и температурой воздуха. Полученные результаты подтверждают роль ФС в реализации защитных механизмов у *O. europaea* от действия неблагоприятных внешних условий холодного периода.

Определены степень участия олеуропеина, рутина и цинарозида в процессах формирования зимостойкости и морозоустойчивости у 4 сортов *Olea europaea* L. и подвида *O. europaea* subsp. *cuspidata* (Wall. and G. Don) Cif. в природных и лабораторных условиях. Для выявления особенностей накопления фенольных веществ в природных условиях проведено сопоставление изменения их содержания в листьях со среднедекадными значениями эквивалентно-эффективных температур. В лабораторных условиях изучено содержание ФС при различных режимах охлаждения. Установлено, что 6 ч выдерживание побегов при 0°C положительно влияло на зимостойкость *O. europaea*, тогда как 6 ч экспозиция при –2°C приводила к развитию стресса. Выявлено, что у генотипов с низкой морозоустойчивостью активация синтеза фенольных соединений происходила лишь при действии стрессового фактора (–2°C), что не позволяло им своевременно адаптироваться, в то же время у относительно устойчивых сортов эти процессы начинались на более ранних этапах холодовой адаптации. Для сортов Кореджиоло, Раццо и Асколяно длительное воздействие отрицательных температур (–8°C в течение 12 ч) явилось критическим фактором, тогда как для *O. europaea* subsp. *cuspidata* – летальным. Различия в синтезе фенольных соединений, выявленные в этих условиях, были связаны не только со степенью морозоустойчивости, но и с сортоспецифичностью генотипов *O. europaea*. Полученные данные позволили предположить, что олеуропеин, рутин и цинарозид являются элементами механизмов защиты растений маслин от негативного влияния отрицательных температур. Большое значение имели условия активации биосинтеза фенольных соединений. У высокоустойчивого сорта Никитская их накопление происходило под влиянием температур близких к 0°C, а у неустойчивого сорта Кореджиоло и подвида *O. europaea* subsp. *cuspidata* – непосредственно во время действия начальных повреждающих температур.



## СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И АНТОЦИАНОВ В ЛИСТЬЯХ И ПЛОДАХ *VACCINIUM VITIS-IDAEA* В УСЛОВИЯХ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

**Паршуков В.С., Дымова О.В.**

Институт биологии КомиНЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, parshukov@ib.komisc.ru, dymovao@ib.komisc.ru

Хлорофиллы (Хл) и каротиноиды (Кар) осуществляют поглощение, запасание и трансформацию солнечной энергии растением. Антоцианы (Ант) участвуют в повышении устойчивости растений к воздействию неблагоприятных факторов среды. Содержание пигментов и функциональная активность фотосистемы II (ФСII) служат важными показателями физиологического состояния целого растения на уровне пигментного комплекса. Сведения о содержании пигментов в ассимилирующих органах вечнозеленых видов в сезонном и годичном цикле немногочисленны. Исследование эффективности поглощения растением света, а также накопления Хл, Кар и Ант вечнозеленых видов в течение вегетации позволит выявить особенности метаболизма пигментов в онтогенезе листа, а также охарактеризовать механизмы адаптации растений на уровне пигментного комплекса. Целью работы было изучить сезонную динамику накопления Хл, Кар и Ант, максимального квантового выхода ФСII ( $Fv/Fm$ ) в листьях вечнозеленого кустарничка *Vaccinium vitis-idaea* L. (брусники обыкновенной), произрастающего в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока. Поскольку *V. vitis-idaea* является ресурсным ягодным видом, нами также было изучено содержание и состав Ант в плодах.

Образцы листьев *V. vitis-idaea* брали с верхней (1-го года жизни), средней (2-го года жизни), нижней (3-го года жизни) частей побега. Содержание Хл, Кар и Ант определяли спектрофотометрически. Определение величины  $Fv/Fm$  проводили на флуориметре РАМ 2100 (Walz, Германия). Состав и содержание Ант в экстрактах зрелых ягод *V. vitis-idaea* определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Нами установлено, что содержание Хл в листьях *V. vitis-idaea* разных лет жизни в течение вегетации (с июня по август) варьировало в пределах 3-5 мг/г сухой массы. Более половины Хл (65-75%) принадлежало светособирающим комплексам (ССК). Соотношение Хл  $a/b$  варьировало от 1.8 до 2.5, Хл/Кар – было 6-7. Полученные данные свидетельствуют об умеренном светолюбии данного вида. О функциональной активности пигментного комплекса и его эффективной работе свидетельствовала величина  $Fv/Fm$ , которая с июня по август была в пределах нормы, 0.8 отн.ед. В летний период функционально зрелые листья текущего года и последующих лет жизни характеризовались низкими концентрациями Ант и невысоким уровнем дезоксидации (DEPS) пигментов виолаксантинового цикла, ВКЦ (9-13% и 5-6% - у листьев текущего и 2-3 лет жизни соответственно). С наступлением осени содержание Хл снижалось (на 15-20%). Весной (март-май) перезимовавшие листья содержали в 1.3 раза меньше Хл и имели низкие значения  $Fv/Fm$ , чем летом. При этом на 34% увеличивалась концентрация Ант и повышался уровень DEPS (до 30%). Таким образом, весной после выхода растений из-под снега снижение Хл наряду с повышением количества компонентов ВКЦ (до 20% от суммы Кар) и Ант можно рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на защиту фотосинтетического аппарата перезимовавших листьев.

В экстракте плодов *V. vitis-idaea* обнаружено всего 3 компонента: мажорный антоциан – Cy-Gal (79%), а также Cy-Glu (9%) и Pt-Gal (12%). Суммарное содержание Ант составило 16.2 мг/100 г сыр. м. Высокое содержание цианидин-3-галактозида в экстрактах ягод *V. vitis-idaea* подтверждено данными для таковых из сибирского региона [1].

Литература: Школьникова М.Н., Аверьянова Е.В. Выжимки ягодного сырья как источник антоциановых красителей // Food technology. 2021. С. 117-121. DOI: 10.46548/21vek-2021-1053-0021.

Исследование выполнено в рамках темы НИР №125020301262-2.



## ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭКСТРАКТОВ ДВУХ ВИДОВ РОДА *ACTAEA* (RHANUNCULACEAE) И ИХ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ

**Петрова Н.В.<sup>1</sup>, Чернонос А.А.<sup>2</sup>, Шалдаева Т.М.<sup>3</sup>, Коваль В.В.<sup>2</sup>, Костикова В.А.<sup>3</sup>, Эрст А.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, +7(812) 372-54-43, NPetrova@binran.ru

<sup>2</sup> ФГБУН институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск,

<sup>3</sup>ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

К роду *Actaea* L. – воронец относят около 30 видов, распространенных в Северной Европе, на Кавказе, Западной Сибири, Монголии, Китае, Японии, Северной Америке. Среди них лидер по практической значимости – *A. racemosa* L., продажа сырья и продукции из которого входит в десятку самых востребованных в США. В странах Азии 4 вида *Actaea* включены в местные Фармакопеи.

В работе исследован состав фенольных компонентов надземных и подземных частей *A. cimicifuga* (Schipcz) J. Compton и *A. erythrocarpa* (Fisch.) Freyn, произрастающих на территории Хакасии и Красноярского края.

Анализ и определение концентраций метаболитов проводили для 40 % этанольных экстрактов с использованием LC-HRMS метода. В экстрактах *A. erythrocarpa* и *A. cimicifuga* аннотировано более 60 соединений, из них 24 были отнесены к флавоноидам и фенольным кислотам.

Большим разнообразием в анализируемых экстрактах *A. erythrocarpa* и *A. cimicifuga* представлены производные коричной кислоты, включая кофейную, феруловую и изоферуловую кислоты. Одновременное сочетание в экстрактах феруловой и изоферуловой кислот редко встречается в растениях, а наличие продуктов их конденсации, получившие название цимицифуговые кислоты – считается специфичным. Из этой группы у *A. erythrocarpa* и *A. cimicifuga* обнаружены цимицифуговые кислоты А и В. Из флавоноидов зафиксировали: запотин, хризин, 3'-*O*-ксилопиранозид 4',5,7-тригидрокси-метоксифлавона и изофлавоон 5-метокси-7,2',4'-тригидроксиизофлавоон. Кроме того, идентифицированы кверцетин, кемпферол и их производные.

Для данных групп проанализированы величины их пулов в общем экстракте надземных и подземных частей для каждого исследуемого вида. Характер синтеза и накопления фенольных соединений проявляется сильнее у *A. erythrocarpa*: общее содержание фенольных компонентов в надземной части составило 101.31±4.02 мг/г, против 79.31±3.15 мг/г у *A. cimicifuga*, высоко их содержание и в подземной части (79.19±3.14 мг/г и 67.10±2.66 мг/г, соответственно).

В экстрактах из надземной и подземной частей *A. cimicifuga* и *A. erythrocarpa* определено содержание 6 веществ по стандартным соединениям методом ВЭЖХ. Особенностью накопления флавоноидов (гиперозид, кверцетин, кемпферол) в корнях и ризомах *Actaea* явилось их низкое (следовое) содержание для обоих видов. В надземных частях максимальная концентрация зарегистрирована для гиперозида (13.05±0.48 мг/г – для *A. erythrocarpa* и 10.52±0.39 мг/г – для *A. cimicifuga*). Среди исследованных фенольных кислот особо значимый вклад внесла изоферуловая кислота, концентрация которой для надземных частей составила 1.49±0.06 мг/г и 1.29±0.05 мг/г, для *A. erythrocarpa* и *A. cimicifuga*, соответственно. Полученные данные обсуждаются с позиции оценки антиоксидантной активности *Actaea* с учетом значимости концентрации фенольных компонентов в надземных и подземных частях растений.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00230, <https://rscf.ru/project/23-14-00230/>

## **ЭФФЕКТ СВЕТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ШТАММАХ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР ЧАЙНОГО РАСТЕНИЯ**

**Сартыкова С.А., Аксенова М.А.\*, Загоскина Н.В.\***

Московский политехнический университет, Москва, nazugova07041998@mail.ru

\*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

Свет — это важный фактор окружающей среды, обеспечивающий жизнедеятельность растений. Известна его регуляторная роль в отношении биосинтеза различных метаболитов, в том числе одних из наиболее распространенных вторичных веществ таких как фенольные соединения. Одним из подходов для изучения регуляции их метаболизма является использование культивируемых в условиях *in vitro* клеток и тканей растений. И в этом случае к числу уникальных объектов относят растения чая (*Camellia sinensis* L.) для которых характерен специализированный метаболизм, направленный на биосинтез различных фенольных соединений. Так, в интактном растении их содержание может достигать 30% на сухой вес. В каллусных культурах чая способность к образованию фенольных соединений сохраняется, хотя их доля снижается в несколько раз. В связи с этим важным аспектом является поиск факторов/воздействий, способствующих накоплению этих ценных вторичных метаболитов с высокой антиоксидантной активностью.

Целью исследования было изучение регуляции накопления фенольных соединений в различных штаммах гетеротрофных каллусных культур чая при длительном световом воздействии. Для этого использовали три штамма, инициированные из стебля грузинской разновидности (ЧС-ГР), а также из листьев сорта Кимынь (ЧЛ-КМ) и Сочинской разновидности (ЧС-СЧ). Культуры переносили в условия 16-час фотопериода, выращивали в течение 45 суток, отбирая пробы на различных этапах роста культур (15, 30 и 45 суток). Экстракцию фенольных соединений проводили 96%-ным этанолом и анализировали суммарное их содержание спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина – Чекольтеу.

Согласно полученным данным, световое воздействие вызывало трёхкратное увеличение содержания фенольных соединений к 30-м суткам с сохранением тенденции до конца пассажа в случае штамма ЧЛ-КМ. Для штамма ЧС-СЧ было отмечено резкое повышение накопления полифенолов только к 45-м суткам, при этом оно было почти в 1,5 раза выше относительно штамма ЧЛ-КМ. При этом действие света на штамм ЧС-ГР не выявило значимых изменений в содержании исследуемых соединений.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что каллусные культуры чая имеют различную чувствительность к световому воздействию, в отношении накопления фенольных соединений.

*Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).*

## **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ — УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ФОТОПРОТЕКТОРЫ РАСТЕНИЙ**

**Соловченко А.Е.**

Биологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, solovchenkoae@my.msu.ru

Излучение Солнца — один из важнейших факторов, действующих на растения. С одной стороны, это источник энергии для фотосинтеза, поддерживающего существование как растений, так и биосферы в целом. С другой стороны, поглощение видимого света в количестве, превышающем способность растения к его фотохимическому преобразованию, стимулирует генерацию активных форм кислорода, вызывающих фотоокислительный стресс, повреждение и гибель клеток. Кроме того, высокоэнергетические кванты УФ излучения, присутствующие в составе солнечной радиации, способны к прямому фотоокислению биомолекул. Индукция биосинтеза и накопление фенольных соединений (ФеС) в клетках и тканях относится к важнейшим и универсальным ответам, предохраняющим растения и другие фотоавтотрофные организмы от фотоповреждения. Различные классы ФеС играют многогранную роль в реализации этих ответов. Хорошо известна функция «внутреннего светофильтра», которую выполняют ФеС, накапливающиеся в составе защитно-покровных тканей и структур, а также в вакуолярном компартменте клеток. Высокая способность этих соединений к ослаблению УФ, а в некоторых случаях — и видимого излучения усиливается благодаря оптическим эффектам, связанным со сложной органно-тканевой организацией растений и разнообразием физико-химических взаимодействий (копигментация, комплексообразование и пр.), в которые могут вступать ФеС. При этом спектры поглощения ФеС таковы, что их накопление не блокирует свет в красной области спектра, необходимый для фотосинтеза. Хотя антиоксидантные свойства ФеС *in vitro* давно известны и используются в медицине, в последнее время получены прямые доказательства реализации функции полифенолов как антиоксидантов непосредственно в живых клетках растений. Индукция и накопление ФеС позволяет растению организовать «эшелонированную оборону» от повреждающего действия избытка солнечной радиации, не препятствующий поступлению световой энергии, необходимой для фотосинтеза. С одной стороны, ФеС формируют оптический экран, блокирующий УФ и (или) избыток видимого света, с другой стороны они позволяют устранить последствия фотоокислительного стресса путем детоксикации активных форм кислорода. Следует отметить и вариативность динамики акклимационных ответов, связанных с накоплением ФеС растениями. Так, некоторые ФеС присутствуют конститутивно (например, ковалентно связанные фенилпропаноиды в кутикуле листьев), тогда как другие могут накапливаться при стрессе и катаболизироваться после прекращения действия стрессора (например, антоцианы в центральной вакуоли клеток). Таким образом, накопление ФеС является важным фенотипическим признаком. Его мониторинг необходим как в фундаментальных работах, так и в прикладных исследованиях (например, для ускоренной и селекции на интенсивную окрашенность плодов и листьев и связанную с ней устойчивость к неблагоприятным факторам. В заключение доклада обсуждаются подходы к неинвазивной автоматизированной количественной оценке содержания ФеС в растениях методами анализа гиперспектральных изображений, в том числе методами машинного обучения.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ СОРТОВ СОИ (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.) ХАБАРОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ**

**Степанов А.С., Холодков А.А., Цимбалист Н.А.\***

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное  
подразделение Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН,  
Хабаровск, stepanfx@mail.ru

\*ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск

Соя является доминирующей сельскохозяйственной культурой на российском Дальнем Востоке, посевы сои занимают около 70% площади пахотных земель региона. Научными организациями дальневосточных субъектов РФ, в том числе Дальневосточным научно-исследовательским институтом сельского хозяйства (ДВ НИИСХ), активно ведется разработка новых сортов сои, при этом исследования направлены на получение высокопродуктивных сортов, устойчивых к неблагоприятным факторам. Основными характеристиками при оценке качества продуктов функционального питания на основе сои является содержание белков, липидов, макро- и микроэлементов. Вместе с тем пищевая ценность сои разных сортов обуславливается также наличием в семенах БАВ, обладающих антиоксидантной активностью. Оценка антиоксидантной активности сои представляет интерес не только в продуктах функционального питания, но и в кормах животным, в которых соя применяется в виде жмыха, шрота, молока, зеленой массы. Определение содержания групп БАВ с антиоксидантным действием в разных вегетативных частях сои перспективно в органическом животноводстве, где активно развивается применение природных антиоксидантов в связи с их способностью влиять на окислительный стресс и качество мяса, молока и т.п. Таким образом, цель исследования – определить содержание групп БАВ с антиоксидантным действием и оценить антиоксидантную активность в надземных частях и семенах разных сортов сои селекции ДВНИИСХ.

Для отобранных в 2024 г образцов 8 сортов сои хабаровской селекции (Хабаровский юбиляр, Союзная 17, Марината, Тасия, Батя, Хехцирская, Жемчужина Востока, Кобра) в высушенном сырье (надземные части и семена) спектрофотометрически определялись: сумма фенольных соединений (с реактивом Фолина-Чокальтеу), флавоноиды (с  $AlCl_3$ ). Содержание окисляемых веществ определялось титриметрически, антиоксидантная активность с реактивом DPPH.

Было установлено, что минимальное содержание исследуемых групп БАВ в надземных частях было характерно для сорта Марината, максимальное – для сортов Хабаровский юбиляр и Жемчужина Востока. В семенах сои минимальное содержание суммы фенольных соединений соответствовало сорту Союзная 17, окисляемых веществ – сортам Союзная 17 и Батя, а флавоноидов – Маринате. Максимальное содержание всех групп БАВ было выявлено в сорте Кобра с черным окрасом семени. Антиоксидантная активность экстрактов семян находилась в диапазоне от 12,7% (Батя) до 47,5% (Кобра), экстрактов надземных вегетативных органов – от 16,1% (Марината) до 54,3%-56,5% (Кобра и Хабаровский юбиляр). Содержание фенольных соединений и окисляемых веществ в семенах сои было в 3-7 раз ниже, чем в надземных органах соответствующих сортов.

Выявлены статистические значимые положительные корреляции между содержанием фенольных соединений, флавоноидов, окисляемых веществ и антиоксидантной активностью как надземных вегетативных органов (соответственно,  $r=0,87$ ;  $0,72$ ;  $0,73$ ), так и семян сои (соответственно,  $r=0,89$ ;  $0,81$ ;  $0,71$ ).

Таким образом, были установлены значимые различия количественного содержания БАВ, обладающих антиоксидантной активностью, в образцах разных сортов сои хабаровской селекции. Проведенные исследования являются частью комплексных работ, направленных на изучение вопросов стандартизации сырья, продуктов функционального питания и кормовых добавок на основе сои.

## **ОСОБЕННОСТИ БИОСИНТЕЗА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ДВУХ ШТАММАХ *IN VITRO* КУЛЬТУР *CAMELLIA SINENSIS* L. С РАЗЛИЧНЫМИ МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Темерова В.В., Катанская В.М., Аксенова М.А., Колачевская О.О., Загоскина Н.В.**  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва,  
k.v.-90@mail.ru

Фенольные соединения (ФС) или полифенолы одни из наиболее распространенных вторичных метаболитов, синтезирующиеся практически во всех растительных клетках. Они широко применяются в фармакологии, благодаря характерной для многих их представителей высокой антиоксидантной активности. К числу фенол-накапливающих растений относится чай (*Camellia sinensis* L.), а также инициированные из него каллусные культуры. Последние выращиваются в строго контролируемых условиях и представляют собой перспективные продуценты биологически активных соединений. Однако их биосинтетическая способность зависит от многих факторов, в том числе морфофизиологических характеристик и внутриклеточной организации.

Целью исследования являлось сравнение накопления ФС, включая их олиго- и полимерные формы – проантоцианидины, а также уровня транскрипции основных генов фенольного метаболизма в двух штаммах каллусных культур чая с различными морфофизиологическими характеристиками.

Каллусные культуры чая стеблевого происхождения (штаммы ЧС-1 и ЧС-2), выращивали в темноте, при 26°C на питательной среде Хеллера. ФС извлекали из растительного материала 96%-ным этанолом. В экстрактах определяли суммарное содержание фенольных соединений (СФС) и проантоцианидинов (ПА) спектрофотометрическим методом (с реактивом Фолина Чокальте и бутанольным реактивом, соответственно). Выделение РНК из растительного материала проводили согласно протоколу производителя ("Биолабмикс" R-Plants, Россия). Транскрипцию генов (PAL, CHS, CHI, DFR, ANS, ANR, LAR) анализировали путем определения относительного содержания мРНК методом количественной ПЦР в реальном времени. В качестве референсного гена использовали EF-1 $\alpha$  (Elongation factor-1 $\alpha$  gene).

Каллусные культуры обоих штаммов чая имели светло-бежевый цвет и состояли из крупных клеточных агрегатов. Штамм ЧС-2 был плотным, а ЧС-1 – рыхлым. Они имели различный уровень структурной организации и значительно отличались по накоплению ФС. У штамма ЧС-2 содержание СФС в 3 раза превышало таковое ЧС-1. Кроме того, образование ПА было характерно только для штамма ЧС-2, а значительная их часть присутствовала во фракции клеточных стенок растений. Возможно, что более плотная структура каллуса этого штамма обусловлена именно с высоким содержанием этих соединений.

Определение уровня экспрессии генов, кодирующих основные ферменты фенольного метаболизма, показало более высокие значения для транскриптов генов CHS и CHI у ЧС-2 по сравнению с ЧС-1. Транскрипты генов, участвующих в биосинтезе проантоцианидинов (LAR, ANS, ANR), были обнаружены только у штамма ЧС-2, за исключением гена DFR, выявленного и у штамма ЧС-1.

Все вышеизложенное свидетельствует о значительных отличиях в биосинтезе ФС у двух штаммов каллусных культур чая с различными морфофизиологическими характеристиками. При этом у высокопродукционного штамма ЧС-2 он осуществляется до завершающих его этапов (образование ПА), тогда как у низкопродукционного штамма ЧС-1 – лишь до начальных этапов биосинтеза катехинов, что было установлено нами ранее.

*Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).*



## ПРОИЗВОДНЫЕ ГОССИПОЛА В КАЧЕСТВЕ ИНСЕКТИЦИДОВ ПРОТИВ ТУРКЕСТАНСКИХ ТЕРМИТОВ (*ANACANTHOTERMES TURKESTANICUS*)

Тилибаев З.<sup>1</sup>, Режепов К.Ж.<sup>1</sup>, Ходжаниязов Б.А.<sup>2</sup>, Алимбаева Ш.Б.,<sup>2</sup> Хашимова М.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИБОХ АН РУз г.Ташкент,

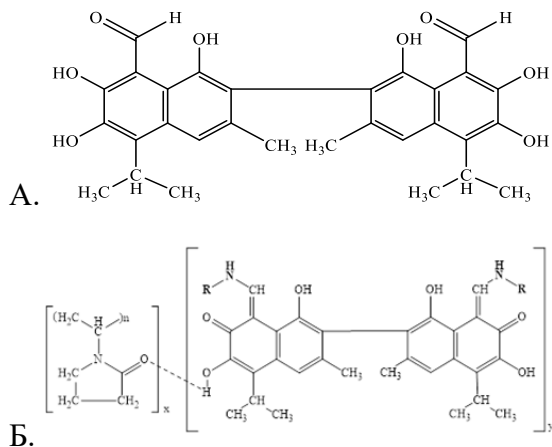
<sup>2</sup>Каракалпакский государственный университет, г.Нукус,

<sup>3</sup>ИЗ АН РУз, Ташкент, tilyabaevzaid@mail.ru

В литературе имеются сведения о возможности использования госсипола для защиты хлопчатника от таких насекомых как озимая совка (*Agrotis segetum Schiff*), хлопковая совка (*Heliothis armigera*) и тутовая огневка (*Diaphania pyloalis Walker*).

Цель данного сообщения - изучение токсичности госсипола и его химически модифицированных аналогов по отношению к особям термитов – насекомых, которые наносят существенный вред, поедая деревянные конструкции и фрагменты средневековых архитектурных памятников Самарканда, Хивы, Бухары, а также жилых и хозяйственных помещений населения сельских районов Узбекистана.

Производные госсипола получены реакцией взаимодействия водорастворимого комплекса (R1) госсипола с 1,5-диметил-2-фенил-4-аминопиразолоном (R2); 2,4,6-тригидроксиимидином (R3) и 2-аминоэтилгидрогенсульфатом (R4). Насекомые собраны в зараженных домах жителей Зарбдорского и Форишского районов Джизакской области. Токсическое действие веществ устанавливали по проценту термитов, погибших в результате обработки поедаемой ими фильтровальной бумаги (размером 2х2 см), пропитанной водными растворами веществ. Эксперименты проводили от трех до семи дней, используя в опытах 0,25 %, 0,5% и 1,0% водные растворы синтезированных соединений. Процент эффективности действия соединений подсчитывали по формуле Аббота с учетом гибели насекомых в контроле.



Слева: А. Госсипол (R1); Б. Водорастворимые комплексы госсипола, содержащие R2, R3, R4

Результаты изучения токсичности госсипола и его аналогов, представленные на рисунке, отражают действие 0,25 % растворов всех полученных соединений на 7-й день их воздействия. Следует отметить, что инсектицидная активность веществ с увеличением концентрации всех испытанных препаратов возрастала. Из столбчатой диаграммы видно, что токсичность веществ по отношению к термитам зависит от химической природы R. Самая высокая токсичность выявлена у соединения в составе которого имеется R3, т.е. 2,4,6-тригидроксиимидин. Токсичность же водорастворимого комплекса (R1) ниже таковой для продукта его реакции с (R3) в более чем 1,5 раза. Таким образом, использование метода структурно-функционального анализа дало возможность выявить перспективные соединения для разработки и создания препаратов антитермитного действия.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда фундаментальных исследований АН РУз.

## АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ И СОДЕРЖАНИЕ ИЗОФЛАВОНОВ В СЕМЕНАХ И ПРОРОСТКАХ СОИ

Кузнецова В.А.<sup>1</sup>, Трофимцова И.А.<sup>2</sup>, Блинова А.А.<sup>2</sup>, Михайлова М.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Дальневосточная опытная станция, г. Владивосток

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет», Благовещенск trofimtsova.irina@yandex.ru

<sup>3</sup>ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск

Изофлавоны, присутствующие в бобовых, главным образом в соевых бобах, обладают высокой антиоксидантной активностью. Основными из них являются генистеин, диадзеин и глицитеин, а также их ацетил- и малонилгликозиды [1]. Известно, что соевые продукты уменьшают риск возникновения ряда злокачественных опухолей, способствуют снижению содержания в крови холестерина, облегчают протекание метаболических процессов, что, несомненно, связано с веществами, содержащимися в бобах, в том числе и с изофлавонами. Изофлавоны также способствуют привлечению ризобий сои на корневые волоски при прорастании семян. Поэтому актуальной является предпосевная обработка семян сои флавоноидами.

В метаболизме полифенольных соединений участвуют ферменты антиоксидантной системы, такие как пероксидазы и полифенолоксидазы. Пероксидазы являются гемосодержащими гликопротеидами. Они разлагают пероксид водорода и окисляют соединения фенольной природы. Полифенолоксидазы – группа медьсодержащих ферментов, катализирующих окисление фенолов до хинонов. Они обладают моно- и бифенолазной активностью, а также запускают полимеризацию хинонов – продуктов окисления фенолов.

Цель настоящей работы – изучить активность пероксидаз и полифенолоксидаз, определить содержание изофлавонов в семенах и проростках сои сорта Лидия.

Семена сои сорта Лидия, полученные в ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, проращивали по ГОСТ 12044-93. Для биохимического анализа из исследуемого материала (500 мг) готовили экстракты, в которых определяли количество белка по методу Лоури. Удельную активность пероксидаз сои определяли фотоколориметрическим методом, полифенолоксидаз и содержание МДА – спектрофотометрически. Удельную активность ферментов выражали в единицах активности на 1 мг белка. Электрофоретический анализ спектров исследуемых ферментов проводили методом электрофореза в ПААГ. Содержание изофлавонов определяли методом ВЖЭХ. Исследования выполняли в двух биологических и трех аналитических повторностях.

В нашем исследовании в семенах и проростках сои сорта Лидия идентифицированы пять изофлавонов и их производных, которые значительно различаются по содержанию (от 0,1 мг/г до 2,2 мг/г): диадзеин (0,1 мг/г), генистеин (0,2 мг/г), диадзин (0,3 мг/г), глицитин (1,4 мг/г), генистин (2,2 мг/г). В 10-дневных проростках содержание этих соединений увеличилось в 1,6 раза (диадзин, глицитин, генистин) и в 2 раза (диадзеин, генистеин) по сравнению с семенами. При этом количество малонового диальдегида в семенах и 10-дневных проростках практически не отличается (0,141 и 0,148 и мкмоль/г сухой массы соответственно).

Увеличение содержания исследуемых изофлавоноидов в проростках сои на ранней стадии онтогенеза имеет обратную корреляцию со снижением удельной активности пероксидазы и полифенолоксидазы, а также числа их множественных форм по сравнению с семенами. Выявленная зависимость указывает на важную роль флавоноидов сои не только как низкомолекулярных антиоксидантов, но и для привлечения клубеньковых бактерий сои.

Литература:

Tsukamoto C, Nawaz M. A, Kurosaka A. et al. Isoflavone profile diversity in Korean wild soybeans (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2018. 42 (4): 248-261. <https://doi.org/10.3906/tar-1801-95>.

## **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ОЗДОРОВЛЕНИИ ОТ ВИРУСОВ И МИКРОРАЗМНОЖЕНИИ САДОВЫХ КУЛЬТУР**

**Упадышев М.Т.**

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.  
Тимирязева, Москва, +7901-779-24-43, upad8@mail.ru

Некоторые фенольные соединения обладают противовирусной и рострегулирующей способностью, что позволяет их использовать в процессе оздоровления от вирусов и микроразмножения [1-2]. К таким соединениям относятся гидроксibenзойные кислоты (салициловая, галловая и другие), флавоноиды, танины и некоторые другие.

В наших экспериментах установлена эффективность применения салициловой кислоты (СК) для оздоровления малины, ежевики и малино-ежевичных гибридов от неповирусов и вируса кустистой карликовости малины, причем с увеличением концентрации СК имела тенденция к возрастанию выхода свободных от вирусов эксплантов. У груши сорта Лада выход свободных от иларвирусов эксплантов после культивирования на питательной среде с СК и галловой кислотой составлял 50-100 %. На клоновых подвоях яблони и груши салициловая кислота обеспечивала низкий индекс зараженности вирусами (1,2-1,3 для ACLSV и 1,2 для ArMV) при высоком выходе свободных от вирусов эксплантов (60-100 %) [3-5]. На рябине СК в концентрации  $6 \times 10^{-4}$  М способствовала получению 100 % регенерантов, свободных от иларвирусов. Вместе с тем при оздоровлении подвоя черешни ВСЛ-2 от вирусов применение СК в концентрации 42 мг/л не обеспечивало оздоровления, в связи с чем СК иногда целесообразно применять совместно с противовирусными препаратами другого спектра действия или в комплексе с другими методами оздоровления.

В концентрации, приводящей к элиминации вирусов, СК обычно ингибировала ростовые процессы. Например, у эксплантов яблони под действием СК высота растений снижалась в 2,4 раза, число почек – в 2,1 раза по сравнению с контролем (без СК). Фенольные соединения проявляли как ингибиторные, так и стимуляторные эффекты в отношении ростовых процессов у микрорастений ряда садовых культур *in vitro*. На культурах с лёгкой и средней способностью к укоренению использование фенольных соединений для стимуляции ризогенеза может служить альтернативой применению синтетических ауксинов. На трудноукореняемых культурах (груше, яблоне) наибольший эффект обеспечивало совместное использование фенольных соединений и ауксинов.

Литература:

1. Упадышев М. Т., Гуськов А. В. Салициловая кислота как регулятор ризогенеза у плодовых и ягодных культур *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. 1998. Т. 33, № 5. С. 63-68.
2. Упадышев М. Т., Куликов И. М., Петрова А. Д., Метлицкая К. В., Донецких В. И. Современные методы оздоровления плодовых и ягодных культур от вредоносных вирусов. М.: ФГБНУ ВСТИСП; Саратов: Амирит, 2019. 168 с.
3. Упадышев М. Т. Оздоровление клонового подвоя груши от вирусов методом комплексной терапии *in vitro* // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 2. – С. 55-61.
4. Упадышев М.Т., Макаров С.С., Упадышева Г.Ю. Особенности органогенеза и оздоровления клонового подвоя яблони от вирусов путем комплексной терапии *in vitro* // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 93-107.
5. Upadyshev M.T., Makarov S.S. Modern methods for healthizing garden crops from viruses. Russ. Agricult. Sci. 2025.– 51.– P. 82–86.

## **ДИКОРАСТУЩИЕ И КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ РАСТЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ИСТОЧНИК АНТИОКСИДАНТНЫХ И ПРОТИВОГРИППОЗНЫХ СРЕДСТВ**

**Храмова Е.П., Лобанова И.Е., Шалдаева Т.М., Карпова Е.А., Проценко М.А.\*,  
Филиппова Е.И.\*, Макаревич Е.В.\*, Шишкина Л.Н.\***

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск,

\*ФБУН Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»  
Роспотребнадзора, Новосибирская область, р.п. Кольцово

В современных условиях поиск растений, обогащенных БАС, обладающими противовирусными, антимикробными и антиоксидантными свойствами, представляется важнейшей задачей современной фармакологии, биохимии растений и ботаники. Природные соединения растительного происхождения представляют собой эффективные терапевтические и профилактические средства, основными преимуществами которых перед стандартными препаратами являются комплексный характер действия, низкая токсичность и возможность преодоления лекарственной устойчивости. Противовирусной, антиоксидантной и антимикробной активностями обладают вторичные метаболиты растений, относящиеся, как правило, к шести группам соединений – флавоноидам, фенольным кислотам, танинам, стильбенам, хинонам и кумаринам (Abdallah, Emad, 2011; Bouarab-Chibane et al., 2018; Takó et al., 2020).

Целью настоящей работы является исследование видов дикорастущих и культивируемых растений Юго-Западной Сибири на проявление антиоксидантных свойств и противовирусной активности в отношении вирусов гриппа человека A/Aichi/2/68(H3N2) и птиц A/chicken/Kurgan/05/2005(H5N1).

В рамках данной работы проведен скрининг различных экстрактов растений, произрастающих на территории Новосибирской обл. и Республики Алтай, на предмет их антиоксидантного и противогриппозного действия.

В качестве объектов исследования выбраны 16 растений из 3 семейств (Asteraceae, Rosaceae, Asparagaceae), произрастающие на территории Юго-Западной Сибири или культивируемые в ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск). Для их изучения были получены водно-этанольные экстракты из надземной и (или) подземной частей растений, в которых определены общее содержание фенольных соединений (по Фолин-Чокальтеу), содержание флавоноидов (катехинов, флавонолов), гидроксикоричных кислот, танинов, тритерпеновых сапонинов, дана оценка антирадикальной активности (с DPPH) и противовирусной активности в культуре клеток MDCK в отношении вируса гриппа А. Выделены образцы с повышенным содержанием вторичных метаболитов и эффективной антирадикальной и противогриппозной активностями такие, как роза майская (*Rosa majalis*), роза собачья (*R. canina*), роза сизая (*R. glauca*), сабельник Залесова (*Comarum salesovianum*), сабельник болотный (*C. palustre*), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*), золотарник канадский (*S. canadensis*), манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris*), левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*), василек синий (*Centaurea cyanus*), grosсгеймия крупноголовчатая (*Centaurea macrocephala*), хлорофитум хохлатый (*Chlorophytum comosum*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), полынь туполопастная (*Artemisia obtusiloba*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*), полынь лечебная (*Artemisia abrotanum*). для дальнейшего изучения в зависимости от фазы вегетации, органа растения, места обитания, экстрагента и способа экстракции. Выявлена связь антирадикальной активности с накоплением катехинов, флавонолов, танинов и сапонинов.

В результате выбраны перспективные растения – сабельник Залесова (надземная и подземная части), роза майская (корни) и полынь туполопастная (надземная часть), проявляющие антирадикальные и противогриппозные свойства и рекомендуемые для разработки новых препаратов и профилактических продуктов.



## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ПЛОДАХ СОФОРЫ ЯПОНСКОЙ (*SOPHORA JAPONICA* L.)

Чередник М.К., Куркин В.А.

ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, m.k.cherednik@samsmu.ru

В соответствии с Государственной фармакопеей Российской Федерации XV издания (ФС.2.5.0130) стандартизацию лекарственного растительного сырья «Софоры японской плоды» осуществляют по содержанию суммы фенольных соединений методом прямой спектрофотометрии в пересчете на генистеин (3,7,4'-тригидроксиизофлавоон) [1].

Принимая во внимание то обстоятельство, что в плодах софоры японской (*Sophora japonica* L.) доминирующими фенольными соединениями являются флавоноиды (в основном производные генистеина и кемпферола) [2, 3], представляется целесообразным проведение стандартизации данного сырья по содержанию суммы флавоноидов.

Цель исследования – разработка методики количественного определения суммы флавоноидов в плодах софоры японской. Объектом исследования послужили плоды софоры японской, заготовленные в различных регионах Российской Федерации - Республике Крым, Краснодарском крае, Ставропольском крае, Ростовской области.

Определено, что доминирующими флавоноидами плодов софоры японской являются софорикозид (4'-О-β-D-глюкопиранозид генистеина) и кемпферол-3-О-софорозид, которые были нами выделены методом колоночной хроматографии на силикагеле КСК 50/100 и идентифицированы с использованием УФ-, <sup>1</sup>H-ЯМР-, <sup>13</sup>C-ЯМР-спектроскопией, масс-спектрометрией, а также результатов химических превращений (кислотный и ферментативный гидролиз).

Изучение УФ-спектров полученных извлечений из плодов софоры японской на спектрофотометре «Specord 40» (Analytik Jena AG, Германия) показало наличие батохромного сдвига в длинноволновой области спектра (около 400 нм) после реакции с алюминия хлоридом (III), в том числе в условиях дифференциальной спектрофотометрии. Подобный батохромный сдвиг в длинноволновой области УФ-спектра наблюдается и в случае софорикозида и кемпферол-3-О-софорозида. Учитывая, что доминирующие флавоноиды - софорикозид и кемпферол-3-О-софорозид относятся к гликозидам, нами обосновано использование в методике количественного определения суммы флавоноидов не генистеина, имеющего агликоновую природу, а цинарозида (7-О-глюкозида лютеолина), близкого по спектральным характеристикам к флавоноидным гликозидам плодов софоры японской.

В результате проведенных исследований определено, что сумма флавоноидов (в пересчете на цинарозид) в плодах софоры японской варьирует от 8,52±0,21% до 13,45±0,33%. Ошибка единичного определения методики с доверительной вероятностью 95% составляет ±2,48%.

Таким образом, разработана методика количественного определения суммы флавоноидов, исключая влияние сопутствующих фенольных соединений (хлорогеновая, кофейная, галловая кислоты), содержащихся в плодах софоры японской, и, следовательно, позволяющая объективно оценивать качество данного сырья.

### Литература:

1. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронное издание]. Режим доступа: <https://pharmascopoeia.regmed.ru/pharmascopoeia/izdanie-15>.
2. Куркин В.А. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических вузов (факультетов), 7-е изд. перераб. и доп. Самара: ООО «Полиграфическое объединение "Стандарт"», ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 2025. 1268 с.
3. Ковалева Л.Г., Сампиев А.М., Ховача М.Р., Никифорова Е.Б. Современное состояние и перспективы дальнейшего исследования плодов софоры японской. Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. 2012; 22 (141). Выпуск 20: 163-170.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР

**Шеремета А.В., Васильев В.Г., Ивлев В.А.**

Российский университет дружбы народов, Москва, sheremeta\_av@pfur.ru

Экологический мониторинг и оценка ресурсного потенциала растительного сырья для получения биологически активных соединений требуют разработки простых и экспрессных методов анализа. Для этих целей широко используются масс-спектрометрия и спектроскопия ЯМР. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки. Однако спектроскопия ЯМР является неразрушающим методом и не требует длительной и сложной пробоподготовки. Кроме того, для количественных исследований с использованием спектроскопии ЯМР не требуются стандартные образцы. Особый интерес представляют полифенольные соединения, обладающие выраженной биологической активностью и играющие важную роль в жизни растений. При анализе растительных экстрактов часто возникает необходимость одновременного определения различных классов вторичных метаболитов, поскольку полифенолы в природных объектах часто сопутствуют другим биологически активным веществам, что обуславливает потребность в применении комплексных аналитических подходов и методик, способных профилировать широкий метаболомный спектр растений.

В рамках данного исследования метод спектроскопии ЯМР был применен для идентификации и количественного определения полифенольных соединений в различном растительном сырье – диосмина (флавоноида) в надземной части Иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.); руберитриновой кислоты и люцидин-3-примеверозида (антрахиноновых производных) в корнях и корневищах Марены красильной (*Rubia tinctorum* L.).

Выбор объектов исследования обусловлен их широким применением в качестве лекарственного растительного сырья и в качестве ингредиента в пищевой промышленности. *Rubia tinctorum* L. включена в Государственную фармакопею Российской Федерации, а *Hyssopus officinalis* L. нет и является компонентом продуктов питания.

Идентификация целевых соединений проводилась путём сравнения спектральных характеристик с индивидуальными спектрами стандартных образцов (идентификация и количественное определение диосмина, руберитриновой кислоты, люцидин-3-примеверозида). Для количественного анализа использовались сигналы, не перекрывающиеся с сигналами других биологически активных веществ, содержащихся в исследуемых экстрактах растений.

Таким образом, в ходе проведённых нами исследований предложены новые подходы к определению руберитриновой кислоты и люцидин-3-примеверозида в экстрактах из корней и корневищ *Rubia tinctorum* L., диосмина в экстрактах из надземной части *Hyssopus officinalis* L. методом спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$ , которые в ходе валидации показали высокую специфичность, линейность, точность, воспроизводимость и чувствительность.

Полученные результаты подтверждают возможность применения данного метода для экологического мониторинга и оценки ресурсного потенциала лекарственного растительного сырья, содержащего различные классы биологически активных веществ, в том числе полифенольных соединений. Разработанные подходы могут быть рекомендованы для использования в практике фитохимического анализа, контроля качества растительных препаратов и оценки ресурсного потенциала растений как альтернативный метод анализа.

## **ИЗМЕНЕНИЯ МЕТАБОЛОМА ПРИ ДЕФИЦИТЕ И ИЗБЫТКЕ КИСЛОРОДА: ЧТО МЫ ЗНАЕМ ПРО ФЕНОЛЫ?**

**Шишова М.Ф., Емельянов В.В.**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, mshishova@mail.ru

Дефицит кислорода оказывает значительное влияние на рост, развитие и распространение растений в наземных и водных экосистемах. Эта проблема имеет важное значение и для агросистем, так как является причиной значительной потери урожая сельскохозяйственных культур во всем мире. Способность существовать в условиях дефицита (гипоксии) или полного отсутствия (аноксии) кислорода зависит от ряда анатомических, онтогенетических и молекулярных адаптаций. Недостаток молекулярного кислорода приводит к ингибированию аэробного дыхания, что вызывает энергетическое голодание и ускорение гликолиза, переходящего в брожения. Недостаток кислорода стимулирует накопление глюкозы, пирувата и лактата, что указывает на ускорение метаболизма сахаров, гликолиза и молочнокислого брожения соответственно. Среди метаболитов цикла Кребса увеличивается уровень сукцината. Уровень аминокислот, связанных с гликолизом, включая производные фосфоглицерата (Сер, Гли), шикимата (Фен, Тир, Три) и пирувата (Ала, Вал, Лей), значительно повышается. Аминокислоты, относящиеся к семействам Асп (Асн, Иле, Лиз, Мет, Тре) и Глу (Глу, Про, Арг, ГАМК), также накапливаются. Эти соединения являются важными компонентами метаболического ответа на дефицит кислорода в растениях, связывая гликолиз с изменённым циклом Кребса, и посредством альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н позволяя избегать чрезмерного накопления токсичных продуктов брожений (лактата, ацетальдегида, этанола). Метаболические профили во время эндогенной нативной и внешней экологической гипоксии довольно схожи и заключаются в накоплении продуктов брожений, сукцината, фумарата и аминокислот, в частности Ала, Гли и ГАМК.

Реоксигенация, которая развивается при возвращении нормального доступа кислорода, вызывает снижение уровней основных анаэробно-индуцированных метаболитов, включая лактат, сукцинат и аминокислоты, особенно членов семейства пирувата (Ала, Вал, Лей), Глу (ГАМК и Глу) и Асп (Асн, Иле, Мет, Тре). Самый интригующий факт заключается в том, что метаболические изменения во время окислительного стресса, вызванного избытком кислорода или при действии генераторов активных форм окислителей, очень похожи на реакцию метаболома растений на нехватку кислорода, но не на реоксигенацию.

В настоящее время метаболомные исследования, сфокусированные на фенольном обмене при кислородном стрессе, отсутствуют. Полученные нами предварительные данные демонстрируют стимуляцию накопления шикимата и ароматических аминокислот, особенно у устойчивых растений при дефиците кислорода, а также торможение метаболизма фенилпропаноидов и флавоноидов. Возвращение нормальной аэрации стимулирует обмен флавоноидов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ №25-14-00074.*

## НАКОПЛЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ БРОМИРОВАННЫХ ФЕНОЛОВ В ТАЛЛОМАХ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ *VERTEBRATA FUCOIDES* В ПРИСУТСТВИИ КАТИОНОВ МЕДИ

**Яньшин Н.А., Замяткина Е.Б., Тараховская Е.Р.**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
kolya1256@gmail.com

Морские водоросли являются одним из богатейших источников разнообразных натуральных продуктов, обладающих биологической активностью, в частности, фенольных соединений. Интересной группой вторичных метаболитов являются бромированные фенолы, особенно широко представленные в талломах красных и бурых макроводорослей. Например, высокое содержание фенольных соединений характерно для *Vertebrata fucoides* (Ceramiales), красной водоросли, обитающей в сублиторали и нижней литорали северных морей. В связи с постоянным увеличением антропогенной нагрузки в водах Арктического региона становится актуальным изучение влияния повышенной концентрации тяжелых металлов на биохимический состав морских макрофитов. Целью нашей работы стало изучение влияния повышенной концентрации меди на содержание и молекулярный профиль фенольных соединений (включая бромфенолы) в талломах *V. fucoides*.

Водоросли были собраны в Кандалакшском заливе Белого моря. Талломы подвергали семидневной экспозиции в воде с добавлением  $\text{CuSO}_4$  (2 и 4  $\mu\text{M}$ ) или без добавок (контроль), после чего определяли общее содержание фенольных соединений в клетках водорослей с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Исследование профиля фенольных соединений было проведено методом газовой хроматографии-масс спектрометрии.

Результаты показали, что экспозиция *V. fucoides* в воде с повышенной концентрацией меди привела к увеличению общего содержания фенольных соединений почти в 2 раза. Хромато-масс-спектрометрический анализ показал наличие в клетках водоросли 45 соединений фенольной природы, что составило около четверти всех низкомолекулярных метаболитов, выявленных в пробах. Большинство фенольных метаболитов было представлено бромфенолами, например, было найдено около 20 различных производных ланозола, вертебратола и других близких по структуре соединений. Содержание некоторых бромфенолов было сопоставимо с доминирующими низкомолекулярными метаболитами клеток водоросли. Повышение концентрации катионов меди в воде привело к возрастанию содержания 16 моно- и дибромфенолов в 1.5–12 раз. При этом наблюдалось относительное снижение содержания салициловой кислоты и ряда сахаров и сахароспиртов (глюкозы, фруктозы, сахарозы, эритрита, ксилита и др.) в клетках *V. fucoides*.

Для фенольных соединений характерна высокая антиоксидантная активность и способность хелатировать катионы тяжелых металлов. По-видимому, стимуляция биосинтеза бромфенолов может играть ключевую роль в адаптации *V. fucoides* к токсичному воздействию меди. Салициловая кислота, известный стрессовый метаболит наземных растений и водорослей, может вносить дополнительный вклад в устойчивость к загрязнению тяжелыми металлами, расходуясь на активацию пула глутатиона, мощного антиоксиданта, который влияет на индукцию аскорбат-глутатионового цикла. Снижение содержания сахаров и сахароспиртов в клетках водоросли после экспозиции с ионами меди может объясняться активным расходом низкомолекулярных сахаров для обеспечения биосинтеза фенольных соединений.

*Проект выполняется при поддержке РНФ (грант № 25-24-00114).*

## **СЕКЦИЯ 3**

### **Биогенез фенольных соединений: структура, гены, компартментация**

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВЕ АДАПТАЦИИ  
*ARABIDOPSIS THALIANA* К ПОВЫШЕННОМУ УРОВНЮ UV-B И СВЕТУ  
ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

**Абрамова А.А., Пашковский П.П., Верещагин М.В., Креславский Вл.Д.\***

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

\*ann.kiedis2000@gmail.com

\*Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, МО, Россия

Актуальность исследования обусловлена необходимостью понимания фундаментальных основ устойчивости растений к ключевым компонентам солнечной радиации - UV-B излучению и свету высокой интенсивности (HIL). Молекулярные механизмы адаптации *Arabidopsis thaliana* к повышенному уровню UV-B излучения и света высокой интенсивности (HIL) представляют собой сложную систему защиты, центральным звеном которой является синтез фенольных соединений.

Согласно полученным экспериментальным данным, выявлена сложная взаимосвязь между накоплением антоцианов, синтезом ультрафиолет-поглощающих пигментов и молекулярными путями световой сигнализации у *Arabidopsis thaliana*.

Антоцианы и другие флавоноиды выполняют критически важную функцию естественного защитного экрана в клетках эпидермиса. Молекулярные механизмы их биосинтеза находятся под строгим контролем светозависимых сигнальных путей. Ключевым регулятором выступает фоторецептор *UVR8*, который при активации ультрафиолетовым-B излучением инициирует сигнальный каскад через взаимодействие с белком *COP1* и стабилизацию транскрипционного фактора *HY5*. *HY5* непосредственно связывается с промоторами генов раннего биосинтеза флавоноидов, включая халконсинтазу (*CHS*) и фенилаланин-амоний-лиазу (*PAL*), активируя их экспрессию.

Особый интерес представляют результаты исследований на мутантных линиях *Arabidopsis thaliana*. Мутанты *bic1,2* демонстрируют усиление фотопротекции благодаря гиперактивации *UVR8*-опосредованного сигнального пути. Это проявляется в значительном увеличении показателей нефотохимического тушения и повышенному накоплению защитных пигментов. Напротив, мутанты *hy5* показывают выраженное снижение способности к активации защитных механизмов, что находит отражение в низких значениях нефотохимического тушения и быстром уменьшении эффективного квантового выхода фотосистемы II. Поэтому, *HY5* является одним из ключевых факторов, вовлеченных в UV-B-сигналинг.

Согласно полученным данным, воздействие света высокой интенсивности (HIL) вызывает значительные изменения в физиологических и молекулярных процессах *Arabidopsis thaliana*. Наблюдается существенное влияние на фотосинтетический аппарат: снижение  $\Phi(II)$  и увеличение NPQ. Мутанты *pif4,5* демонстрируют усиленную экспрессию *PIF3*, что способствует улучшению фотопротекции. Напротив, мутанты *pif1,3,4,5* проявляют повышенную чувствительность к стрессу, сопровождающуюся значительным увеличением транспирации. *PIF4* оказывает комплексное воздействие на фотосинтетические параметры, модулируя показатели Gs и Pn, а также экспрессию генов светового сигналинга. Дикий тип (*col-0*) показывает наилучшую адаптационную способность к условиям HIL-стресса.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда, проект № 23-14-00266.



## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТРИХОМАХ ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ

Костюкова Ю.А., Агеева М.В., Румянцева Н.И.

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, j.kostyukova@mail.ru

Трихомы – одноклеточные или многоклеточные выросты, формирующиеся из эпидермальных клеток на различных органах растений. По морфологическим признакам и способности к синтезу вторичных метаболитов трихомы классифицируют на несекреторные и секреторные. Секреторные трихомы обладают уникальной способностью к биосинтезу специализированных метаболитов (терпены, алкалоиды, фенольные соединения) и имеют важное значение для формирования устойчивости растений в качестве оружия «химической защиты» против патогенов, насекомых и животных. Функции несекреторных трихом сводят в основном к механической защите от абиотических факторов. Гречиха татарская (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) является богатым источником биологически активных флавоноидов. Несмотря на важность флавоноидов в защите растения от абиотических стрессоров и патогенов, их тканевая и внутриклеточная локализация в органах растения гречихи остается мало изученной, а исследования по морфологии трихом и локализации в них вторичных метаболитов отсутствуют. Цель настоящей работы заключалась в изучении клеточной локализации антоцианов (АЦ), проантоцианидинов (ПА) и флавонолов в секреторных и несекреторных трихомах листьев гречихи татарской.

Было показано, что на обеих сторонах листьев гречихи татарской преобладающим типом несекреторных трихом являются щетинкоподобные одноклеточные трихомы, расположенные над жилками и по краю листа. Секреторные трихомы представлены только пельтатными трихомами, расположенными в ареолах листовой пластинки и состоящими из клеток основания, ножки и диска. Локализацию флавоноидов в трихомах листьев гречихи татарской изучали без окрашивания (АЦ) и с помощью специфических красителей (DPBA- для флавонолов, DMACA- для ПА) с использованием методов световой и конфокальной микроскопии. Впервые показано, что как секреторные, так и несекреторные трихомы *F. tataricum* способны синтезировать и накапливать АЦ, флавонолы и ПА. Внутриклеточная компартментация этих ФС была различной, но она почти не отличалась между трихомами разного типа. Несекреторные антоциансинтезирующие трихомы расположены в области пигментного пятна (над выходом жилок первого порядка из черешка) и по краю листа, а секреторные- только в области пигментного пятна. В обоих типах трихом АЦ имеют исключительно внутривакуолярную локализацию. Но в пельтатных трихомах накопление АЦ наблюдали редко и, главным образом, в вакуолях клеток основания. В отличие от антоцианов ПА локализованы не только в вакуоли, но и в ядре. Основная локализация флавонолов была обнаружена в цитоплазме и в ядре, а также в клеточных стенках (у пельтатных трихом – только в клетках ножек). Стоит отметить, что другие эпидермальные клетки (покровные клетки и замыкающие клетки устьиц) также синтезируют флавонолы, которые, как и в трихомах, локализованы в цитоплазме и в ядре, а в замыкающих клетках устьиц еще и в “брюшных” клеточных стенках. Ни в одном из изученных типов клеток эпидермиса (трихомах, устьицах, покровных клетках) внутривакуолярная локализация флавонолов не была обнаружена. Нами было показано, что секреторные и несекреторные трихомы листа *F. tataricum* способны синтезировать и накапливать различные флавоноиды, которые могут выполнять как защитную, так и регуляторную роль.

*Изучение локализации фенольных соединений в растениях выполнялось в рамках госзадания КИББ ФИЦ КазНЦ РАН.*

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В СИНТЕЗ УФ-ИНДУЦИРУЕМЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИШАЙНИКЕ *LOBARIA PULMONARIA*

**Лексин И.Ю., Минибаева Ф.В.**

ФГБУН Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, lecsinilya@mail.ru

Лишайники представляют собой уникальные симбиотические системы, в талломах которых синтезируется более 1 000 вторичных метаболитов с выраженной биологической активностью, из них более 700 характерны исключительно для лишайников. Большинство фенольных соединений лишайников синтезируются грибным компонентом лишайника (микобионтом) с участием поликетидсинтаз (ПКС) и нерибосомальных пептидсинтаз (НРПС). Обе группы ферментов являются мультидоменными белками, синтезирующими метаболиты со сложной химической структурой. Гены, кодирующие эти белки и вспомогательные ферменты, часто находятся в геноме по соседству, формируя биосинтетические генные кластеры (БГК), что обеспечивает согласованную регуляцию их экспрессии.

Одной из ключевых функций фенольных соединений в лишайниках является защита таллома от повреждающего действия избыточной солнечной радиации, в частности, ультрафиолетового (УФ) излучения. УФ излучение является одним из факторов, индуцирующих биосинтез и накопление фенольных метаболитов посредством стимуляции экспрессии отдельных генов и БГК в геноме микобионта. *Lobaria pulmonaria* является одним из модельных видов лишайников с секвенированным геномом, для которого детально изучено влияние УФ-излучения на физиологию и биохимию. На данный момент известно о способности *L. pulmonaria* к УФ индуцированному синтезу меланина, а также депсидов и депсидонов, однако наличие в геноме 39 генов ПКС (15 невосстанавливающих и 24 восстанавливающих) и 23 генов НРПС свидетельствует о значительно большем биосинтетическом потенциале этого лишайника. В настоящем исследовании мы секвенировали транскриптом лишайника *L. pulmonaria*, подвергнутого УФ-облучению, идентифицировали гены ПКС и НРПС, вовлечённые в стрессовый ответ, а также провели биоинформатический анализ соответствующих БГК.

Талломы лишайника ежедневно подвергались УФ-В облучению в течение 14 дней. В ходе УФ-обработки талломы происходило их потемнение, степень которого оценивалась по browning reflectance index (BRI) и с помощью световой микроскопии. На основании результатов транскриптомного анализа были выявлены гены невосстанавливающих ПКС, экспрессия которых изменялась в ответ на УФ-облучение. Было показано, что 7 из 15 генов невосстанавливающих ПКС повышали экспрессию в ответ на УФ-индуцированный стресс в то время, как снижение экспрессии наблюдалось лишь для одного. Функциональная аннотация БГК, включающих эти ПКС, свидетельствует об участии УФ-индуцированных генов ПКС в биосинтезе ксантонов, нафталенов и соединений трополонового ряда. Согласно данным литературы, ксантоны могут выполнять фотопротекторную функцию, а производные нафталенов являются мономерами меланина. Экспрессия большинства генов НРПС не индуцировалась УФ-облучением, однако наблюдалось значительное повышение экспрессии двух генов НРПС, связанных с синтезом терфенилхинонов и пульвинонов. Данные соединения как в виде мономеров, так и полимеров, например, алломеланинов, способны обеспечивать УФ-защиту таллома. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об избирательной активации биосинтеза специфических фенольных метаболитов в микобионте лишайника *L. pulmonaria* под действием УФ-стресса.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и поддержана грантом РФФИ № 23-14-00327.

## **ФЕНОЛЬНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: СИНТЕЗ, ГЕННЫЕ КЛАСТЕРЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ**

**Минибаяева Ф.В.**

ФГБУН Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,  
fminibayeva@gmail.ru

Лишайники – симбиотические ассоциации, состоящие, в основном, из грибов аскомицетов (микобионт) и водорослей и/или цианобактерий (фотобионты). В действительности лишайники представляют собой миниатюрные экосистемы, поскольку, наряду с основными симбионтами, таллом лишайника содержит также весьма специфичную бактериальную микробиоту и паразитирующие лихенофильные грибы. Несмотря на то, что эти древние ассоциации возникли около 600 миллионов лет назад, они являются нашими современниками. Одной из причин эволюционного долголетия является их уникальная устойчивость к действию неблагоприятных факторов и способность выживать в чрезвычайно суровых условиях окружающей среды. Среди биохимических механизмов естественной селекции лишайников особое внимание привлекает синтез и накопление в талломе защитных лишайниковых веществ, в том числе фенольной природы. В настоящее время в лишайниках идентифицировано более 1 050 различных вторичных метаболитов, из них около 700 уникальны для лишайников. Биосинтез вторичных метаболитов в лишайниках осуществляется по трем основным путям: ацетатно-малонатному, шикиматному и мевалонатному. По биосинтетическому происхождению и химической структуре вторичные метаболиты лишайников классифицируются по таким классам соединений, как дибензофураны, депсиды и депсидоны, нафтохиноны, антрахиноны, ксантоны и другие. Количество их может достигать 30% от сухого веса таллома. Большинство фенольных соединений лишайников синтезируется микобионтом, а фотобионт выполняет важную функцию по обеспечению субстратами и предшественниками.

Реализованный метаболический потенциал лишайников составляет лишь часть их возможного потенциала, предсказать который можно путем выявления биосинтетических генных кластеров (БГК). В среднем, геном микобионта лишайника содержит около 40–50 БГК, каждый из которых организован в геноме коллинеарно и участвует в синтезе одного или нескольких вторичных метаболитов. Кластер может содержать до 20 генов. В микобионте лишайников коровыми генами БГК, вовлеченными в синтез фенольных метаболитов, являются, в основном, гены восстанавливающих и невосстанавливающих поликетидсинтаз (ПКС), нерибосомальных пептидсинтаз (НРПС) и гибридных ПКС-НРПС. В лишайнике *Lobaria pulmonaria* нами выявлены БГК, вовлеченные в синтез фенольных метаболитов, в т.ч. меланина, трополоновых и нафталеновых производных, пренилированного ксантона. Выявлена со-экспрессия генов, входящих в состав БГК в ответ на УФ облучение. В лишайнике *Xanthoria parietina* нами обнаружен БГК, участвующий в синтезе париетина, мажорного метаболита микобионта, обеспечивающего фотозащиту таллома. Известно, что структура, активность генов и даже наличие определенных БГК в геномах лишайников варьирует в зависимости от условий произрастания или культивирования микобионта. Наличие или отсутствие целых кластеров, связанных с биосинтезом метаболитов, может являться генетическим фактором химической изменчивости среди штаммов грибов, в том числе лихенизированных, и обеспечивать преимущество определенным видам лишайникам в колонизации ниш произрастания. Это осуществляется посредством вовлечения лишайниковых веществ в селективный выбор симбионтов, аллелопатию, антиоксидантную защиту, защиту талломонов от световой радиации, патогенных бактерий и грибов, тяжелых металлов и химического загрязнения.

Работа проводится частично в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и поддерживается грантом РФФИ № 23-14-00327.

## **МЕТАБОЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДА ПОСРЕДСТВОМ РЕАКЦИЙ ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

**Никерова К.М., Галибина Н.А., Софронова И.Н., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Ершова М.А.**

Институт леса – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ,  
«Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск,  
+7 (8142) 76-95-00, 76-81-60 knikeroва@yandex.ru

Вопрос метаболизации углерода для древесного растения принципиален. Преобладание тех или иных ферментативных путей играет решающую роль в балансе первичного и вторичного метаболизма, следовательно, лежит в основе формирующегося состава клеточных стенок с преобладающим содержанием целлюлозы и/или лигнина. Точкой инициации метаболизации углерода можно считать гидролиз сахарозы, синтезированной в ходе фотосинтеза. Понимание путей расщепления сахарозы, следовательно, работы ферментов углеводного метаболизма (СС, АпИнв) важно при прогнозировании преимущественного пути ксилогенеза. Кроме того, ферменты АОС (СОД, КАТ, ПО) и вторичного метаболизма (ФАЛ, ПФО), а также субстраты их реакций – кислород и АФК и фенольные соединения – принимают непосредственное участие в синтезе целлюлозы и лигнина. Из литературы известно, что на реакции вторичного метаболизма затрачивается большее количество полученного в ходе фотосинтеза углерода, чем на реакции первичного метаболизма. Эти различия для древесных растений особенно существенны, так как процесс лигнификации – весомый потребитель прекурсоров фенольной природы, в которых доля углерода составляет более 50%. Мы изучили пространственно-временную динамику их активности в радиальном векторе F1 –проводящая флоэма и часть непроводящей флоэмы; F2 –дифференцирующаяся ксилема; SW – заболонная древесина; HW – ядровая древесина; и во временном векторе, т.е. в зависимости от фенологического состояния дерева (стадии камбиального роста – подготовка к покою – покой) у 80-летних растений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Проведенная работа показала, что SW обладает особым, ранее не изученным в литературе, метаболическим статусом, объединяя многочисленные реакции первичного и вторичного метаболизма способствуя и синтезу целлюлозы, и вторичных метаболитов для последующего формирования HW. Так, в F1 система АОС функционирует за счет продуктов реакции АпИнв-пути гидролиза сахарозы. Высокая ФАЛ не является главным ресурсом фенольных соединений, о чем свидетельствует отрицательная корреляция ФАЛ-ПО. В F2 наблюдаем схожую метаболическую картину, которая подтверждается дополнительно наличием отрицательной корреляции СС-ПО, уже описанной нами ранее при формировании узорчатой и косослойной древесины у березы и сосны соответственно. В SW картина кардинально меняется: совершенно иной путь метаболизации углерода посредством положительных корреляций КАТ-СС и КАТ-ПФО. При этом СОД остается не вовлеченной в процесс, ввиду затрудненной диффузии супероксидного радикала от периферии к сердцевине ствола. Кроме того, до момента утолщения вторичных клеточных стенок ПО не обнаруживается вовсе, не показывая ферментативной активности ни с одним из известных субстратов. Взаимосвязанную работу КАТ-АпИнв-ПО к фазам лигнификации – подготовки к покою – покою наблюдаем за счет окисления продуктов гидролиза сахарозы: ПО начинает работать и её активность возрастает.

Закljučая, отметим, что изучение метаболизации углерода у древесного растения в пространственно-временной динамике – ключ к получению уникальной биохимической информации, понимание которой лежит в основе представления об образовании разной по качеству древесины с преобладанием тех или иных компонентов клеточных стенок.

*Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по государственному заданию Института леса Карельского научного центра РАН. Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН».*



## ИДЕНТИФИКАЦИЯ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ 3-ДЕГИДРОХИНАТАДЕГИДРАТАЗ/ ШИКИМАТДЕГИДРОГЕНАЗ *CORNUS SERICEA* L. НА ОСНОВЕ DE NOVO СЕКВЕНИРОВАНИЯ ТРАНСКРИПТОМА

Никонорова Е.Р.\*, Кроль Т.А., Балеев Д.Н.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и  
ароматических растений», Москва, \*gatiatulinaer@gmail.com

Гидролизуемые танины (ГТ) представляют собой один из классов фенольных соединений, играющих ключевую роль в защите растений от биотических и абиотических стрессовых факторов. Однако, молекулярные механизмы их биосинтеза остаются недостаточно изученными. Особенно это актуально для видов, не имеющих данных о геноме и транскриптоме, как например, *Cornus sericea* L., обладающих высоким содержанием сложных по химической структуре ГТ.

Целью данной работы было провести секвенирование, *de novo* сборку и функциональную аннотацию транскриптома *C. sericea*, с целью поиска 3-дегидрохинатадегидратазы/шикиматдегидрогеназы (ДХД/ШДГ), как одного из ключевых ферментов, вовлеченного в биосинтез ГТ.

Объектом исследования были молодые и зрелые листья, незрелые плоды, бутоны и соцветия *C. sericea*, собранные на территории Ботанического сада ФГБНУ ВИЛАР (г. Москва). Тотальную РНК выделяли с помощью RNeasy Mini Kit и обработкой Turbo DNase. Концентрацию определяли с помощью Qubit RNA HS Assay Kit. После подготовки библиотек с помощью TruSeq Stranded mRNA, проводили секвенирование на NovaSeq 6000 (2×101 п.н.). кДНК получали с помощью набора Mint. Библиотеку для нанопорового секвенирования (Oxford Nanopore Technologies, ONT) готовили с использованием стандартного протокола с набором SQK-LSK114. Обработку ридов проводили с помощью Guppy 6.5.7 и NTpro, с удалением PolyA при помощи Cutadapt v5.0. Гибридную сборку транскриптома выполняли с использованием trans2express, контроль качества – rnaQUAST и BUSCO. Аннотацию транскриптов проводили BLASTx по базам данных NCBI nr, UniProt и RefSeq. Функциональную аннотацию – при помощи eggNOG-mapper (GO) и сервиса KAAS (KEGG). Потенциальные изоформы анализировали при помощи Minimap2, ProtParam и InterProScan. Множественное выравнивание выполняли с помощью Clustal Omega, филогенетический анализ – деревья с помощью iqtree.

Финальная сборка включала 29124 транскрипта общей длиной 48139967 п.н. Было аннотировано 26958 (92,5%) транскриптов. По классификации GO, 5553 транскрипта имели каталитическую активность. По результатам KEGG-анализов аннотировано 8742 транскрипта, из которых 108 ассоциированы с биосинтезом других вторичных метаболитов. Определено 5 потенциальных изоформ ДХД/ШДГ длиной 500-532 аминокислот и молекулярной массой 54,3-57,8 кДа. Филогенетический анализ показал формирование шести клад, в пять входили впервые выявленные изоформы *C. sericea*. На основе сравнения ключевых функциональных доменов аминокислотных последовательностей ДХД/ШДГ было предположено, что изоформа 3 имеет «классическую» ШДГ активность, а изоформа 5 не имеет ДХД активности и является НАД-зависимой хинатадегидрогеназой. Изоформы 3 и 4 возможно имеют галлат-образующую активность.

Таким образом, впервые было проведено секвенирование, сборка *de novo* и функциональная аннотация транскриптома *C. sericea*. Идентифицированы 5 потенциальных изоформ ДХД/ШДГ.

Работа выполнена согласно Государственному заданию по теме FGUU-2024-0001.



## **ЭКСПРЕССИЯ СТРУКТУРНЫХ ГЕНОВ ФЕНИЛПРОПАНОИДНОГО И ФЛАВОНОИДНОГО ПУТЕЙ ВЫЯВЛЯЕТ ОСОБЕННОСТИ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ У ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.)**

**Филюшин М.А.\*, Щенникова А.В., Кочиева Е.З.**

ФГУ Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии»  
РАН, Москва, \*michel7753@mail.ru

Путь биосинтеза антоцианов у растений высоко консервативен. В результате последовательных ферментативных реакций образуются антоцианидины, дальнейшая модификация которых приводит к образованию стабильных водорастворимых антоцианов. У чеснока *Allium sativum* антоцианы придают фиолетовую окраску покровным чешуям луковиц и ложному стеблю. Несмотря на то, что у чеснока содержание, состав и свойства фенольных соединений активно исследуются, путь их биосинтеза у данного вида практически не изучен. Целью данной работы была идентификация и анализ экспрессии структурных генов пути биосинтеза антоцианов в различных частях растения чеснока.

В геноме *A. sativum* (PRJNA606385) были идентифицированы гомологи всех структурных генов биосинтеза антоцианов – фенилпропаноидного и флавоноидного путей. Всего было идентифицировано 40 генов, для каждого фермента было выявлено от 2 до 8 кодирующих их генов, за исключением флавонолсинтазы (FLS) и дигидрофлавонолредуктазы (DFR), для которых идентифицировано только по одному гену.

У чеснока сорта Стрелец в зеленых листьях, фиолетовом ложном стебле, белых и фиолетовых покровных чешуях луковиц определено содержанием антоцианов, а также экспрессия 25 генов биосинтеза антоцианов. Содержание антоцианов в ложном стебле составило 98.3 мкг/г, в фиолетовых чешуях – 288.6 мкг/г; в белых чешуях антоцианов не выявлено, в зеленых листьях выявлены следовые количества. При сравнении профилей экспрессии анализируемых генов в зеленых листьях и фиолетовом ложном стебле чеснока выявлены сходные уровни экспрессии генов *AsPAL*, *AsC4H1*, *As4CL2*, *AsCHS* и *AsF3'5'H*, в то время как экспрессия генов *AsCHI*, *AsF3H*, *AsDFR* и *AsANS* была многократно выше в фиолетовом ложном стебле, чем в зеленых листьях. При сравнении экспрессии в белых и фиолетовых покровных чешуях разница выявлена начиная с генов фенилпропаноидного пути: уровни транскрипции генов *AsPAL*, *AsC4H1* и *As4CL2* в фиолетовых чешуях были в 2-8 раз выше, чем в белых чешуях. Экспрессия генов флавоноидного пути в целом также была значительно (в 1.5-28 раз) выше в фиолетовых чешуях, чем в белых, за исключением генов *AsCHS3*, *AsF3'5'H*, *AsF3'H* и *AsFLS*, уровень транскрипции которых был значительно выше в белых чешуях.

Таким образом, в геноме *A. sativum* впервые были идентифицированы гены всех основных ферментов пути биосинтеза антоцианов. Анализ экспрессии генов выявил различия в биосинтезе антоцианов в ложном стебле и покровных чешуях. В ложном стебле содержанием антоцианов коррелирует с экспрессией халконизомеразы *AsCHI* и «поздних» генов флавоноидного пути (*AsDFR* и *AsANS*), а в фиолетовых чешуях – с экспрессией всех генов фенилпропаноидного пути и генов *AsDFR* и *AsANS*.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №24-76-10005 (<https://rscf.ru/project/24-76-10005/>) и Министерства науки и высшего образования РФ.

## ТРОЙСТВЕННАЯ ПРИРОДА БЕЛОГО КЛЕВЕРА (*TRIFOLIUM REPENS* L.) С ЯРКО-РОЗОВОЙ ОКРАСКОЙ СОЦВЕТИЙ

**Шамустакимова А.О., Иванова А.А.**

ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р.Вильямса, г. Лобня,  
aoshamustakimova@vniikormov.ru

Клевер белый или ползучий (*Trifolium repens* L.) является одним из ключевых компонентов продуктивных и устойчивых пастбищ в зонах с умеренным климатом. В норме растения этого вида имеют белые лепестки. Крайне редко встречаются формы с розовой и ярко-розовой окраской венчика. Целью данной работы было сравнительное изучение промоторных областей генов синтеза антоцианов у контрастных форм.

Материалом для исследования служили образцы белого клевера с изменённой и типичной белой окраской цветка. Тотальную геномную ДНК выделяли из листовой ткани взрослых растений с помощью модифицированного SDS метода (1). Для изучения промоторных областей генов интереса использовали контиги, соответствующие участкам генов с достоверной дифференциальной экспрессией из статьи (2). С помощью анализа *in silico* определяли положение ATG-кодона и промоторных областей, выравнивая последовательности относительно генома *Trifolium pratense* (версия ARS\_RC\_1.1) и генома *T. repens* (версии UTM\_Trep\_v1.0 и AgR\_To\_v5). Полученные данные загружали в программу PrimerQuest software (<http://www.idtdna.com>) для подбора праймеров по заданным параметрам.



В результате ПЦР-анализа ДНК контрастных форм были выявлены существенные различия в длине продукта гена *F3'5'H*. Так, ожидаемая длина продукта при разработке праймерной пары на основании аннотированного генома белого клевера составляла 776 п.н. У яркоокрашенных же форм детектировался продукт на высоте около 860 п.н. Секвенирование ПЦР-продуктов контрастных форм и последующее их выравнивание показало, что эти последовательности имеют довольно низкий процент совпадения (около 80). Попарное сравнение полученных последовательностей с обоими субгеномами белого клевера показало, что ПЦР-продукт гена *F3'5'H* типичной формы принадлежит к субгеному *Trifolium occidentale* (совпадение

99,74%). При этом сиквенс участка гена *F3'5'H* растений с ярко-розовой окраской показал довольно низкий процент совпадения: 85,8 для субгенома *Trifolium pallescens* и 85,15 для субгенома *T. occidentale*. Выравнивание полученной последовательности относительно геномов бобовых растений, депонированных в базе данных GenBank, выявило 99% совпадение с аннотированным в 2024 году геномом растения *T. occidentale*, чья предковая форма когда-то стала родительским растением при зарождении белого клевера. При этом *in silico* анализ и результат ПЦР с праймерами на другие гены синтеза антоцианов показали, что изучаемые растения не относятся к виду *T. occidentale*, а принадлежат к виду клевер ползучий. Этот вывод также подтверждает сводобное переопыление таких форм с растениями *T. repens*.

Литература:

1. Клименко, И. А., Антонов, А. А., Душкин, В. А., Шамустакимова, А. О., & Мавлютов, Ю. М. (2021). Эффективный способ выделения ДНК для ПЦР-анализа из «балк-образцов» проростков. *Адаптивное кормопроизводство*, 3(47), 29-48.
2. Zhang, H., Tian, H., Chen, M., Xiong, J., Cai, H., & Liu, Y. (2018). Transcriptome analysis reveals potential genes involved in flower pigmentation in a red-flowered mutant of white clover (*Trifolium repens* L.). *Genomics*, 110(3), 191-200.

## **СЕКЦИЯ 4**

### **Регуляция накопления фенольных соединений и метаболическая инженерия**

## РЕГУЛЯЦИЯ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИХ ПРЕДШЕСТВЕННИКАМИ (НА ПРИМЕРЕ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР *CAMELLIA SINENSIS*)

**Аксенова М.А., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В.**

Институт Физиологии Растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва,  
aksenova.ifr.moscow@yandex.ru

Культуры растительных тканей рассматривают как потенциальные продуценты биологически активных растительных метаболитов. К их числу относятся фенольные соединения (ФС), которые успешно используются для поддержания здоровья человека. Более того, в большинстве случаев их накопление в культурах *in vitro* ниже, чем в исходных эксплантах, что требует поиска факторов и воздействий для интенсификации данного процесса. В этом случае весьма перспективно использовать предшественники биосинтеза ФС в качестве потенциальных “регуляторов” накопления этих метаболитов.

Целью нашего исследования было изучение влияния L-фенилаланина (ФА, 3 Мм), транс-коричной кислоты (КК, 1 Мм) и нарингенина (НГ, 0,5 Мм), как компонентов различных стадий фенольного метаболизма, на накопление фенольных соединений в каллусных культурах чайного растения (*Camellia sinensis* L.).

Объектами исследования были три штамма каллусных культур чая различного происхождения: штамм ИФР-ЧС-1 (стебель, грузинская разновидность), ЧЛ-КМ (лист, сорт Кимынь) и ЧЛ-СЧ (лист, Сочинская разновидность). Все биохимические исследования проводили на 7-ой день эксперимента.

Согласно полученным данным, действие ФА привело к значительному повышению накопления ФС в штаммах ИФР-ЧС-1 (в 2 раза) и ЧЛ-КМ (в 1,5 раза), тогда как у штамма ЧЛ-СЧ данный предшественник не оказал влияния. КК привела к значительному снижению содержания полифенолов во всех исследуемых штаммах, при чем для штамма ЧЛ-СЧ этот эффект был наиболее ярко выражен (в 2,5 раза), а в случае ИФР-ЧС-1 их накопление уменьшилось в 1,8 раза, ЧЛ-КМ – в 1,7 раза. НГ в свою очередь, оказал примерно одинаковое действие на три штамма: произошло повышение накопления ФС в среднем в 2,5 раза.

Все это свидетельствует о том, что предшественники ФС могут быть использованы в качестве регуляторов накопления этих вторичных метаболитов в *in vitro* культурах растительных клеток, в частности чайного растения, что важно для получения ценных биологически активных веществ растительного происхождения биотехнологическими методами.

*Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).*

## НАКОПЛЕНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ РАЗНЫХ СОРТОВ КАПУСТЫ КЕЙЛ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МЕЛАФЕНА И ЦИРКОНА

Алмуграби Е., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, esraaalmgrabe@gmail.com

Капуста Кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) - популярный овощ семейства крестоцветных, происходящий из Центральной Азии и хорошо известный своими богатыми биологически активными соединениями, такими, как флавоноиды, витамин С, каротиноиды, сахара и белки. Профилактические и терапевтические свойства капусты против хронических и дегенеративных заболеваний показаны в исследованиях *in vitro*, *in vivo* и клинических исследованиях.

Цель настоящей работы – изучение изменений в содержании флавоноидов в листьях разных сортов капусты кейл при воздействии мелафена и циркона.

В качестве объекта исследований были выбраны четыре сорта капусты кейл (*B. oleracea* var. *acephala*), два сорта зеленой – «Оливер» и «Изумруд» и две красной – «Ночи Тосканы» и «Фиолетовое кружево», выращенные в условиях закрытого грунта: фотопериод 16 ч, температура воздуха  $25 \pm 2$  °С, освещение 3000 люкс. Все горшки (диаметр 15 см) заполняли 500 г сухой супесчаной почвы, растения высаживали на глубине 1,5–2,0 см. Кислотность почвы нейтральная (рН = 6,9). Содержание органического вещества (гумуса) составило 1,96 %, азота нитратного – 35,5 мг/кг, азота аммиачного – 11,3 мг/кг, подвижного фосфора – 584,0 мг/кг, обменного кальция – 13,25 ммоль/100 г и обменного магния – 1,50 ммоль/100 г. Перед посадкой семена каждого сорта замачивались в регуляторах мелафен (меламиновая соль бис(оксиметил)фосфиновой кислоты  $10,0 \cdot 10^{-8}$  г/л) и циркон (препарат на основе гидроксикоричных кислот растительного происхождения 0,1 г/л.) и в дистиллированной воде на протяжении 24 часов на фильтровальной бумаге в чашках Петри. Посадка в грунт была осуществлена 1 ноября 2024. Отбор листьев для анализов производилась через 30 дней после посадки. Содержание флавоноидов определяли по реакции с  $AlCl_3$  калориметрическим методом при 430 нм. Эксперименты проводили в пяти биологических повторностях. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программы Microsoft Excel. Достоверность различий определяли по критерию Манна-Уитни при  $P \leq 0,05$ .

В ходе работы было выявлено положительное влияние регуляторов роста на содержание флавоноидов. Под воздействием регуляторов роста содержание флавоноидов увеличилось почти во всех представленных сортах. В частности, у сорта «Фиолетовое кружево», обнаружено наибольшее увеличение содержания флавоноидов под действием регуляторов. Однако регуляторы роста не оказали влияния на содержание флавоноидов в сорте «Оливер».

Мелафен увеличивал содержание флавоноидов: на 85,5 % в сорте «Изумруд», на 97,7 % в сорте «Ночи Тосканы» и на 520,6 % в сорте «Фиолетовое кружево», по сравнению с контролем. Циркон увеличивал содержание флавоноидов на 89,4 % у сорта «Изумруд», на 510,7 % в сорте «Фиолетовое кружево» и не оказал влияния у в сорта «Ночи Тосканы».



## МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ «БОРОДАТЫХ» КОРНЕЙ СОЛОДКИ УРАЛЬСКОЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С ПРИРОДНЫМИ ОБРАЗЦАМИ

**Андрейчук Д.Д., Амброс Е.В., Коцупий О.В.**

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, d.andreichuk@g.nsu.ru

Солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch. ex DC.) — важное пищевое и лекарственное растение семейства Fabaceae с широким спектром фармакологических эффектов. Лекарственные свойства связаны с высоким содержанием ценных вторичных метаболитов в корнях и надземной части растения. Фенольный состав корней солодки представлен различными химическими структурами, такими как халконы (ликуразид, изоликвиритин, ликвиритигенин), применяющиеся как противовоспалительные агенты; изофлавоноиды, обладающие гормоноподобной активностью (глицирризинфлавоном); флавоны (ликофлавоны), используемые как антиоксиданты и адаптогены; изофлавоны, с противовирусными и антибактериальными свойствами (глабридин, глабрен). В надземной части растения обычно выделяют производные флавонола, флавонола, флаванона и изофлавонола. Перспективным биотехнологическим подходом для получения этих метаболитов являются культуры трансформированных «бородатых» корней, индуцируемых бактерией *Rhizobium rhizogenes*.

Преимущества использования культур «бородатых» корней включают экологическую чистоту производства, стабильный выход целевых соединений независимо от сезона, простоту экстракции метаболитов, отсутствие токсичных примесей, а также возможность масштабирования производства с помощью биореакторов. Способность синтезировать собственные фитогормоны обеспечивает быстрый рост корней без добавления регуляторов роста.

В работе использовали штаммы *R. rhizogenes* MSU440 и 15834 SWISS для получения линий трансформированных «бородатых» корней, содержащих агробактериальные *rol*-гены. При оценке полученных линий по скорости роста, антирадикальной активности и суммарному содержанию фенольных соединений отобрана наиболее перспективная линия «бородатых» корней. Проведен анализ ВЭЖХ данной линии в сравнении с природными образцами (нативными корнями и побегами растений). Отмечены существенные изменения в составе фенольных соединений в сравнении с нативными корнями: в культурах «бородатых» корней увеличивалось содержание изофлавоноидов (в 3,6-13,5 раз), уменьшалось — флавонов (в 1,8-5,5 раз) и халконов, отсутствовала глицирризиновая кислота, но присутствовал формонентин, не выявленный в природных образцах. В сравнении с надземной частью в бородатых корнях отсутствовали флавонолы. Результаты указывают на метаболические изменения, вызванные агробактериальной трансформацией, отличающие «бородатые» корни как от надземных частей растений, так и от корней.

Выявлено, что данная линия «бородатых» корней солодки уральской представляет собой перспективный источник изофлавоноидов, содержание которых значительно превышает таковое как в надземных частях растения (в 8,5-32 раз), так и в природных образцах корня.

Образцы «бородатых» корней получены на уникальной научной установке «Коллекции живых растений открытого и закрытого грунта» (USU 440534)

Исследование выполнено в рамках проектов государственного задания № АААА-А21-121011290025-2

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ РОДА *CALLISTEMON*

**Мирная Е.В., Белоус О.Г.**

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр РАН»,  
Сочи, oksana191962@mail.ru

В последние годы австралийские растения приобретают все больший интерес среди питомниководов и ландшафтных архитекторов, в основном за счет их декоративных свойств (обильное цветение с необычными формами цветка или соцветий, яркие окраски и т.д.) и их адаптивности к субтропическим условиям. Наиболее часто встречающиеся австралийские виды, используемые в качестве декоративных растений, принадлежат к двум семействам: Миртовые и Протеиновые; среди Миртовых именно *Callistemon* (Красивотычиночник) пользуется большим успехом как цветущий декоративный кустарник. Он широко используется в садах и городских ландшафтах многих стран, в том числе и на юге России. Несмотря на способность растений переносить кратковременные 10-градусные морозы, на территории Российской Федерации эта культура в открытом грунте возделывается только во влажных субтропиках России. Причем, на Черноморском побережье широко встречаются 9 видов рода *Callistemon*: *C. linearifolius* (к. линейнолистный), *C. pallidus* (к. бледный), *C. speciosus* (к. прекрасный), *C. phoeniceus* (к. пурпурно-красный или пунцовый), *C. viminalis* (к. прутовидный или сплетенный), *C. rigidus* (к. жесткий), *C. salignus* (к. иволистный), *C. coccineus* (к. ярко-красный) и *C. citrinus* (к. лимонный). Все девять видов были использованы нами в качестве объектов исследований.

В течение вегетации нами в листьях и побегах красивотычиночника определяли содержание танинов, галловой кислоты и общих полифенолов. Такие исследования были вызваны двумя целями: первая связана с трудностями в черенковании растений, вторая – с богатым биохимическим составом листьев. Решая задачи первой цели, мы анализировали содержание фенольных компонентов в органах растений для установления оптимального периода черенкования, во втором случае – анализировали изменение биохимического состава листьев в связи с тем, что на содержание БАВ влияют климатические условия.

Анализ годовой динамики накопления танинов (ТАН) и галловой кислоты (ГК) показал, что наибольшее количество танинов в листьях накапливается в период с июня по сентябрь (в среднем 11,93 %), в побегах – в мае-июне (70,18 %). Галловой кислоты в листьях больше накапливается с октября по декабрь (в среднем 12,85 %), в побегах, как и танинов, в мае-июне (около 11,46 %). Причем танинов в побегах почти в 4 раза больше, чем в листьях, в то время как ГК в два раза больше накапливают именно листья. Общих полифенолов в листьях содержится в среднем 102,2 мг/100 г сухой массы. Выявлены видовые особенности в накоплении фенольных компонентов в органах *Callistemon*. Так, наибольшее количество ПФ содержится у вида *C. linearifolius* (в среднем 131,4 мг/100 г), в то время как ТАН и ГК больше у вида *C. phoeniceus* (около 16,8 и 6,3% соответственно). Отмечено, что эффективное черенкование каллистемона проходит при низком уровне танинов и галловой кислоты в побегах (ноябрь-декабрь) и разный уровень содержания этих групп в побегах обуславливает разную корнеобразовательную способность видов. При этом, выявлена прямая корреляция между большим накоплением танинов в побегах каллистемона и уровнем устойчивости растений к низким зимним температурам. Даже в наших мягких условиях зимнего периода растения *Callistemon* ежегодно получают морозобойные повреждения на побегах. Однако у видов с высоким содержанием танинов в побегах такие повреждения после зимы не были отмечены, но укоренение этих видов проходит хуже.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2025-0004, № госрегистрации 121120700353-5

## **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВЕРЕСКОВЫХ РАСТЕНИЙ, НАКОПЛЕНИЕ В КАЛЛУСНЫХ И СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУРАХ**

**Березина Е.В., Рыбин Д.А., Сухова А.А., Сёмин А.А., Устинов В.А., Сергеева В.Д.,  
Жаворонкова А.Е., Касьянова А.П., Брилкина А.А.**

ФГАОУВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", +79101315231, berezina.kat@gmail.com

Растения семейства Вересковые характеризуются значительным разнообразием фенольных соединений и их высоким содержанием в клетках. Благодаря этому данные растения и препараты на их основе могут применяться в медицине при терапии многих заболеваний. Вересковые растения характеризуются медленным ростом и не стабильным плодоношением, поэтому культуры каллусных и суспензионных клеток могут быть альтернативным источником для биотехнологического производства препаратов фенольных соединений этих растений.

В работе проведен сравнительный анализ содержания фенольных соединений в растениях открытого грунта, каллусных и суспензионных клетках вересковых растений. Были использованы такие растения как голубика щитковая (*Vaccinium corymbosum* L.), клюква крупноплодная (*V. macrocarpon* Ait.), брусника обыкновенная (*V. vitis-idaea* L.), красника (*V. praestans* Lamb). Оценено содержание групп фенольных соединений (растворимых фенольных соединений, флавоноидов, флаванов, проантоцианидинов) фотометрически и отдельных фенольных соединений хроматомасс-спектрометрически. Для культур клеток проанализировано влияние концентрации ауксинов и цитокининов, углеводов, освещения, длительности культивирования на накопление ими фенольных соединений в клетках.

Фенольный комплекс листьев и ягод вересковых растений представлен в основном флавоноидами, в т.ч. флаванами, а также проантоцианидинами, фенольными кислотами и простыми фенолами. В целом эта закономерность прослеживается как в листьях и ягодах, так и клеточных культурах. Суммарное содержание фенольных соединений в клетках культур может превышать 250, флавоноидов 180, флаванов 140, проантоцианидинов 70 мг/г сухой массы. И это соответствует их содержанию в листьях.

В листьях голубики преобладает хлорогеновая кислота, в листьях брусники – арбутин. Также значительно содержание катехина. В суспензионных клетках содержание хлорогеновой кислоты и арбутина резко падает, однако содержание катехина не меняется. Увеличивается при этом содержание ванилина, *p*-кумаровой кислоты, эскулина, кверцетина.

В целом, культуры клеток голубики и брусники сохраняют способность накапливать фенольные соединения при их культивировании в течение более двух лет. Поддерживать и стимулировать накопление исследуемых метаболитов позволяет повышение концентрации сахарозы до 70 г/л, перенос культур из темноты в условия освещения, изменение фитогормонального состава питательной среды. Сохранение способности клеточных культур (в первую очередь суспензионных культур) накапливать фенольные соединения в значительных количествах подтверждает перспективность их использования для биотехнологического получения комплекса фенольных соединений.

Работа выполнена при поддержке программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030" Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В СИНТЕЗЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ *CORNUS SERICEA* L.

Бондарев С.А., Серeda А.А., Фаткулина Д.Б.\*, Балеев Д.Н., Кроль Т.А., Никонорова Е.Р.  
ФГБНУ Всероссийский институт лекарственных и ароматических растений, Москва,  
\*gatiatulinaer@gmail.com  
\*ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

Хинатдегидрогеназа (ХДГ) и шикиматдегидрогеназа (ШДГ) – ферменты первичного метаболизма, где ХДГ катализирует синтез хинной кислоты – предшественника хлорогеновой кислоты и лигнинов. ШДГ находится на разветвлении путей синтеза и инициирует синтез 1) шикимовой кислоты, преобразующейся далее в ароматические аминокислоты – L-фенилаланин и L-тирозин, участвующие в синтезе как части белков, так и фенольных соединений; 2) галловой кислоты – предшественника гидролизуемых таннинов. Переход к вторичному метаболизму происходит по фенилпропаноидному пути, первый фермент которого – фенилаланинаммиаклиаза (ФАЛ) – индуцирует преобразование L-фенилаланина в коричную кислоту, далее превращающуюся в фенольные соединения различных групп. Таким образом эти три фермента могут регулировать накопление общих фенольных соединений и конкретных их групп – гидролизуемых таннинов, флавоноидов, лигнинов.

Объектом исследования были листья *Cornus sericea* L., которые собирали в ботаническом саду ФГБНУ ВИЛАР каждые 10-11 дней, с мая по август. Активность ферментов определяли спектрофотометрически в экстрактах листьев: для ШДГ и ХДГ в реакции с шикимовой и хинной кислотами – по восстановлению НАДФ<sup>+</sup> до НАДФН, фиксируемому по росту оптической плотности при длине волны 340 нм. Активность ФАЛ определяли в реакции образования транс-коричной кислоты из L-фенилаланина при длине волны 290 нм. Содержание белка определяли методом Бредфорда.

Наибольшее содержание белка в листьях – 2,5 мг на мл экстракта, было зафиксировано в начале мая, затем содержание белка последовательно падало, вплоть до 1,48 мг/мл к концу августа. Активность ШДГ также была наиболее высока весной и постепенно снижалась в течение лета: по сравнению с маем в июне активность снизилась на 14%, а в июле-августе на 38,6%. Несмотря на сходную динамику, содержание белка не было достоверно связано с активностью ШДГ ( $R=0,2$ ,  $p=0,12$ ).

Динамика ХДГ и ФАЛ была противоположной: весной фиксировалась минимальная активность, быстро возрастающая к началу июня (ХДГ) или растущая постепенно, до конца июля (ФАЛ) и затем стабилизирующаяся. Активности ХДГ и ФАЛ были умеренно отрицательно ( $R= -0,61$ ,  $p<0,001$ ) и сильно отрицательно ( $R= -0,81$ ,  $p<0,001$ ) связаны с содержанием белка и умеренно положительно – между собой ( $R=0,53$ ,  $p<0,001$ ). Достоверной корреляции между активностью ШДГ и ФАЛ не было выявлено ( $R=-0,21$ ,  $p=0,11$ ), несмотря на нахождение на взаимосвязанных метаболических путях.

Таким образом, было проведено изучение активности ШДГ, ХДГ и ФАЛ в листьях *C. sericea* в динамике. Однако, требуются дополнительные исследования характера связи между ферментами и их активности с химическим составом изучаемого растения.

Работа выполнена согласно Государственному заданию по теме FGUU-2024-0001

## ПОДАВЛЕНИЕ ГЕНА *AtCHS* С ПОМОЩЬЮ ДЦРНК, КАК МЕХАНИЗМ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА ФЛАВОНОИДОВ У *ARABIDOPSIS*

**Виноградова С.А.<sup>1</sup>, Супрун А.Р.<sup>1,2</sup>, Киселев К.В.<sup>1,2</sup>, Дубровина А.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт Мирового Океана, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток,

<sup>2</sup>Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток

РНК-интерференция (РНКи) – фундаментальный биологический процесс, который за последние десятилетия превратился из объекта фундаментальных исследований в мощный инструмент биотехнологии и защиты растений. Этот феномен, впервые обнаруженный при изучении трансгенных растений петунии со сверхэкспрессией гена халконсинтазы (*CHS*), открыл новые горизонты в понимании механизмов регуляции экспрессии генов у эукариот. Ген *CHS* остаётся важной моделью для исследований РНКи благодаря своей ключевой роли в биосинтезе флавоноидов и чёткой фенотипической экспрессии при подавлении активности гена.

В настоящее время существует недостаточно исследований, которые рассматривают преимущества и недостатки методов *in vitro* (ферментативных) или *in vivo* (бактериальных) для получения двухцепочечной РНК (дцРНК) для использования в технологиях РНКи. Данное исследование направлено на оптимизацию и сравнение двух методов получения двухцепочечной РНК, нацеленных на ген *CHS Arabidopsis thaliana* — ферментативный синтез *in vitro* с использованием коммерческого набора и бактериальный синтез *in vivo* с использованием сконструированной системы *Escherichia coli* HT115(DE3), — и на оценку их эффективности в подавлении целевого пути.

Условия синтеза были оптимизированы для концентрации IPTG и времени культивирования, а полученные препараты дцРНК были очищены и прошли контроль качества. В данной работе успешно оптимизирована система на основе *E. coli* HT115(DE3) с плазмидой pL4440. Определены критические параметры индукции синтеза: оптимальная концентрация ИПТГ 0,5 мМ и продолжительность культивирования 9 часов. В оптимальных условиях удалось получить  $7,84 \pm 0,49$  мкг/мл. Дальнейшие результаты показали, что применение очищенной *AtCHS*-дцРНК, полученной методами *in vitro* и *in vivo*, эффективно подавляло экспрессию гена *AtCHS* и последующих генов биосинтеза флавоноидов, что приводило к значительному снижению накопления антоцианов и флаванолов. Данное исследование подтверждает эффективность экзогенной дцРНК в регуляции метаболических путей растений и представляет сравнительный анализ методов синтеза, выявляя их преимущества и ограничения для практического применения в биологии и защите растений.

Важнейшим результатом исследования является не только демонстрация эффективности подавления экспрессии гена *AtCHS* независимо от способа получения различных двухцепочечных РНК, но и выявление каскадного характера регуляции всего метаболического пути биосинтеза флавоноидов. Наблюдаемое снижение уровня мРНК генов *AtCHI*, *AtFLS*, *AtDFR* и *AtANS* свидетельствует о наличии сложных регуляторных взаимоотношений, в которых ингибирование ключевого фермента инициирует последовательное нарушение всего биохимического каскада.



## МЕЛАТОНИН РЕГУЛИРУЕТ НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЕ *LYCHNIS CHALCEDONICA*

**Головацкая И.Ф., Попов Д.С., Прокопенко В., Кадырбаев М.К., Бойко Е.В., Лаптев Н.И.**  
ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, golovatskaya.irina@mail.ru

Мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптамин, Мел) проявляет в растении широкий спектр физиологической активности, включая регуляцию ростовых процессов, модуляцию антиоксидантной защиты и повышение стрессоустойчивости. Все эти функции связывают с активацией экспрессии генов ферментов, участвующих в биосинтезе фенольных соединений (ФС). Механизм действия Мел в растениях еще до конца не изучен. Однако известно, что растения сами синтезируют Мел и его гидроксильированные формы (2-гидроксимелатонин и 3-гидроксимелатонин), которые присутствуют в растениях в более высоких концентрациях, чем Мел. Особый интерес представляет изучение действия Мел на каллусные культуры, которые являются удобной моделью для исследования механизмов регуляции роста и метаболизма *in vitro*. Каллусная культура *Lychnis chalcadonica* L. (зорьки обыкновенной) представляет значительный интерес как источник биологически активных соединений, однако влияние Мел на ее ростовые характеристики и метаболический профиль остается практически не изученным.

Объектами исследования служили каллусные культуры *L. chalcadonica*, полученные от экспланта листа, культивируемые на среде Мурасиге-Скуга (МС-среда) с НУК и 6-БАП, в присутствии  $10^{-12}$  и  $10^{-9}$  М Мел (опыт) и без Мел (контроль) в течение 28 суток (сут) в темноте. В ходе выращивания культуры оценивали ростовой индекс. Мониторинг действия Мел на метаболизм клеточной культуры проводили по оценке суммы растворимых ФС по методу Singleton и Rossi (1965), уровня  $H_2O_2$  – по методу Velikova et al. (2000), содержания свободного пролина (Про) – по методу Bates et al. (1973) и малонового диальдегида (МДА) маркера перекисного окисления липидов (ПОЛ) – по методу Heath и Packer (1968).

В результате проведенного исследования установили, что Мел усиливал активный рост каллуса с большей эффективностью при концентрации  $10^{-9}$  М. В основе росторегулирующего действия Мел лежит его способность модулировать метаболические процессы, связанные с окислительным стрессом. Мел снижал уровень  $H_2O_2$  и МДА, уменьшая повреждение клеточных мембран. С увеличением концентрации Мел проявлял более интенсивное гашение окислительного стресса за счет снижения уровня  $H_2O_2$ . Положительное действие низкой концентрации Мел проявилось только к 28 сут, вероятно, вследствие накопления Мел в клетках. На контрольной МС-среде увеличивался уровень Про к 21 сут, что соответствовало более активному росту культуры и обуславливало поддержание ее оводненности. Позднее уровень осмолита уменьшался. Известно, что Про играет важную роль совместимого осмолита, в связи с этим следует предположить, что на фоне большей востребованности в воде он может поддерживать функциональное состояние антиоксидантных ферментов и соответственно тем самым снижать уровень  $H_2O_2$  и интенсивность ПОЛ. Действие  $10^{-9}$  М Мел увеличивало уровень Про к 14 сут и на 21 сут в большей степени, чем  $10^{-12}$  М Мел. ФС – обширный класс вторичных метаболитов, обладающих выраженными антиоксидантными, защитными и сигнальными функциями в клетках растений. Содержание ФС у контрольной культуры увеличивалось к 21 сут, а затем снижалось. В присутствии Мел динамика суммарного уровня ФС сохранялась, как и у исходной линии, но  $10^{-9}$  М Мел увеличивал их уровень, начиная с 14 сут, а  $10^{-12}$  М Мел – с 28 сут, что, вероятно, связано с накоплением необходимой концентрации регулятора. Увеличение суммарного содержания ФС снижало уровень  $H_2O_2$  и интенсивность ПОЛ в культуре до 28 сут и снижало старение каллуса перед пассированием.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

## **РЕГУЛЯТОРНЫЙ ЭФФЕКТ ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА**

**Гончарук Е.А.,** Темерова В.В., Нечаева Т.Л., Габриэлян Д.А., Ивановский М.С.\*,  
**Живухина Е.А.\*, Загоскина Н.В.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, +7499678 53 51;  
goncharuk.ewgenia@yandex.ru

\*Институт биологии и химии Московского педагогического государственного университета,  
Москва

Решение экологических проблем, связанных со стрессовыми факторами различной природы, требует внедрения комплексных подходов, к одним из которых относится использование специализированных экстрактов, стимулирующих образование биологически активных соединений в растениях и снижение их стресс-реакций на действие внешних факторов. К числу новых перспективных фитостимуляторов, эффективно повышающих продуктивность растений и их экологическую устойчивость в условиях прецизионного земледелия, относятся микроводоросли – фотосинтезирующие организмы, способные к гетеротрофному росту и биосинтезу множества биологически ценных соединений, включая вторичные метаболиты. К числу их перспективных представителей относятся различные виды хлореллы, обладающие специфическими свойствами и повышенной способностью продуцировать полисахариды и вторичные метаболиты, обладающие биостимулирующими эффектами. Большинство исследований сосредоточено именно на ее изучении, хотя при ее культивировании образуется значительное количество супернатанта. В определенной степени он является «побочным» продуктом, но обогащенным экзометаболитами (ЭМ) микроводорослей, утилизация которого достаточно дорогостоящий процесс. Насыщенность супернатанта аминокислотами, фитогормонами, витаминами, полисахаридами и другими ценными биомолекулами позволяет успешно применять его в качестве биостимулятора, оптимизируя, таким образом, процесс утилизации и снижая зависимость от химических средств обработки растений.

Проростки льна относятся к перспективным продуцентам  $\alpha$ -линоленовой кислоты, липидов, белка, секоизоларцирезинола диглюкозида,  $\alpha$ -токоферола, полифенолов и флавоноидов, что подтверждает их статус как одной из основных прядильно-масличных культур и богатого источника питательных и биологически активных соединений. Их обработка ЭМ хлореллы влияла на содержание фенольных соединений относительно контроля и этот эффект зависел от использованной концентрации. При воздействии ЭМ неохлореллы отмечено изменение баланса различных компонентов фенолома льна без изменения его состава.

Таким образом, экзометаболиты хлореллы и неохлореллы могут служить биостимуляторами для регуляции накопления полифенолов в проростках льна, альтернативными химическим препаратам, а ответ растений на воздействие данными специализированными экстрактами видоспецифичен и коцентрационно зависим.

*Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).*

**СИНТЕЗ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ФИТОХРОМНЫХ  
МУТАНТОВ РАСТЕНИЙ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICUM*) ПРИ  
ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ БЕЛЫМ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ И  
БЕЛЫМ СВЕТОДИОДНОМ СВЕТОМ**

**Жихрева А.В.<sup>1</sup>, Аксенова М.А.<sup>2</sup>, Верещагин М.В.<sup>3</sup>, Соболева А.В.<sup>1</sup>, Орлова А.А.<sup>1</sup>,  
Пашковский П.П.<sup>2</sup>, Фролов А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Институт Физиологии Растений  
им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, anastasizahikhreva@gmail.com

<sup>2</sup>Группа фенольного метаболизма растений, Институт Физиологии Растений им. К.А.  
Тимирязева РАН, Москва,

<sup>3</sup>Лаборатории физиологических и молекулярных механизмов адаптации, Институт  
Физиологии Растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

В ходе эволюции растения выработали различные механизмы ответа на действие стрессоров, включающие широкий спектр морфофизиологических и биохимических адаптаций для защиты от их повреждающего действия. При этом, на химическом уровне, функцию взаимодействия с окружающей средой и защиты от ее неблагоприятных воздействий у растений выполняют вторичные метаболиты, одним из важнейших классов которых являются фенольные соединения. Эти соединения имеют особое значение, как участники ответа на действие абиотических факторов среды, играя ключевую роль в реакциях растений на изменение световых условий выращивания. Основными факторами светового сигналинга, регулирующими синтез этих вторичных метаболитов, являются фоторецепторы PHY, CRY, PHOT и UVR8, а также регулируемые светом факторы транскрипции, такие как HY5, PIF, MYB и BBX, которые индуцируют ферменты фенилаланинаммиаклиазу (PAL), халконсинтазу (CHS), халконизомеразу (CHI) и флаванолсинтазу (FLS), которые модулируют биосинтез флавоноидов. В нашей работе в качестве объекта исследования были взяты листья томатов дикого типа и мутантов генов фитохромов *Solanum lycopersicum*, выращенные при белом светодиодном и флуоресцентном свете. Анализ вторичных метаболитов осуществлялся с помощью обращеннофазовой высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии (ОФ-ВЭЖХ-МС) в рамках концепции целевого и нецелевого метаболомного подхода. Было выявлено 38 мажорных метаболитов, 16 из которых фенольной природы и 22 не фенольной природы. Анализ мажорных фенольных соединений в экстрактах листьев растений дикого типа показал более высокое содержание индивидуальных фенольных метаболитов при выращивании на белом флуоресцентном свете. Анализ растений мутантных генотипов, выращенных в условиях белого флуоресцентного света, не выявил значительных отличий в биосинтезе фенольных соединений по сравнению с растениями дикого типа, в то время как при выращивании при светодиодном свете было выявлено накопление ряда фенольных соединений (производных кверцетина, кампферола, а также гидроксикоричных кислот) в листьях растений мутантов преимущественно у *phyA* и двойных мутантов *phyAB1*. Нецелевой метаболомный анализ выявил количественные различия в паттернах вторичных метаболитов в листьях растений мутантных генотипов по сравнению с растениями дикого типа.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СК-ОПОСРЕДОВАННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ ПРИ ИНВАЗИИ ГАЛЛОВОЙ НЕМАТОДОЙ *MELOIDOGYNE INCOGNITA***

**Зиновьева С.В., Удалова Ж.В., Хасанов Ф.К.**

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва,  
zinovievas@mail.ru

Устойчивость томатов к нематодам рода *Meloidogyne* определяется экспрессией гена *Mi-1.2*, кодирующего рецепторные белки с функцией распознавания продуктов комплементарных генов авирулентности личинок нематоды внутри клеток растения. Известно, что ген *Mi-1.2* термочувствителен и теряет эффективность при температуре выше 28°C (Dropkin, 1969). Молекулярная основа этого явления до конца не изучена. В некоторых работах обсуждается связь потери устойчивости растений к фитопатогенам при высокой температуре с уменьшением синтеза СК и экспрессии генов SA-ответа как у двудольных, так и у однодольных культурных растений после патогенной инфекции (Kim, et al. 2022, Castroverde, Dina, 2021). СК является ключевой молекулой системной сигнализации, направленной на активацию защитных механизмов при поражении томатов галловой нематодой. Инвазия растений нематодами вызывает накопление СК как в инфицированных корнях, так и других органах растений (листья, стебли) (Зиновьева и др. 2011). Имеются основания полагать, что генетическая устойчивость растений к нематодам регулируется салициловой кислотой с помощью СК-зависимого сигнального пути (Branch et.al., 2004). Показано, что СК активирует базальную защиту от нематод, экспрессирует защитные гены (Lavrova, et al., 2017; Gheysen, Mitchum 2019). Одним из эффектов СК является ее способность вызывать накопление активных форм кислорода, которые являются одной из составляющих реакции СВЧ – запрограммированной гибели модифицированных нематодой гигантских клеток растения и сопровождается накоплением в некротических погибших клетках токсических продуктов (Udalova, Zinovieva, 2019).

Проведено исследование некоторых основных компонентов иммунной системы томатов гибрида F<sub>1</sub> Шагане (гомозиготный по гену *Mi-1*), инвазированных *M. incognita*, выращенных при температуре 25<sup>0</sup> и 34<sup>0</sup> С. В качестве показателей воздействия температуры на иммунное состояние растений были исследованы: содержание СК, экспрессия гена фенилаланинаммиакилазы (ФАЛ) – (ключевой фермент фенилпропаноидного пути синтеза СК в тканях томатах при инвазии галловой нематодой (Zhang et al., 2023)), а также уровень экспрессии основных защитных генов, регулируемых СК опосредованными сигнальными путями: гена *Mi-1.2*, а также защитных генов PR-семейства: *PR1* – маркер системной устойчивости растений к фитопатогенам, *PR2* (кодирующий 1,3-глюканазу), *PR5* (кодирующий тауматин/осмотин). Установлено, что в корнях томатов температуре 34<sup>0</sup> С были снижены содержание СК и активность ФАЛ, происходит изменение активности транскриптома в сторону снижения экспрессии *Mi-1.2* гена, а также *PR* генов, связанных с салицил-зависимым сигналингом. Исследования динамики экспрессии генов защитного ответа растений показали, что при нормальной температуре повышение транскриптов гена *Mi-1.2* происходит в начальный период заражения, что является отражением быстрой реакции на проникновение личинок нематоды с последующим адекватным развитием защитного ответа, включающего индукцию PR белков и развитию реакции СВЧ, приводящих к ингибированию вторгшихся паразитов. В корнях растений с утраченной устойчивостью в ответ на заражение изменения в активности защитных генов незначительны, и не препятствуют развитию заболевания. Полученные результаты дают основание считать, что СК является температурно-чувствительным компонентом в иммунной системе растений, с которым связана утрата устойчивости томатов к галловой нематоды при повышенной температуре.

## **ВЛИЯНИЕ СПЕКТРА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СИНТЕЗ КВЕРЦЕТИНА И СТЕВИОЛГЛИКОЗИДОВ В ЛИСТЬЯХ *STEVIA REBAUDIANA***

**Иваницких А.С., Грянкина А.Е., Князева И.В., Смирнов А.А., Тараканов И.Г.**  
ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", Москва, 8(499)174-89-29,  
alinena@yandex.ru

Стевия (*Stevia rebaudiana*) - растение семейства Астровые (Asteraceae) происхождением из Южной Америки. Содержит стевииолные гликозиды, которые в 250-400 раз слаще сахарозы, их суммарное содержание в растении колеблется от 4% до 20% от сырой массы. Так как стевия является теплолюбивым кустарником, в средней полосе ее выращивают в защищенном грунте с дополнительным облучением в зимне-осенний период. Представляет интерес возможность оптимизации светового режима выращивания с созданием комбинации светодиодов (СД), излучающих в нужной спектральной области, для повышения накопления вторичных метаболитов.

Для оценки эффективности регулируемого спектрального состава света на основе светодиодного излучения для накопления ряда вторичных метаболитов была проведена серия опытов. Они сопровождались фенотипированием растений с использованием традиционных методов. Анализ флавоноидов, включая кверцетин и сумму дитерпеновых гликозидов, проводили методами высокоэффективной жидкостной хроматографии.

В первой серии опытов изучали влияние комбинации облучателей на основе СД и разных областей красного спектра оптического излучения (ОИ): коротковолновый красный (640 нм, (КВК)), длинноволновый красный (660 нм, (ДК)), дальний красный (730 нм (ДК)) и синего (460 нм (С))) из которых было сформировано пять вариантов освещения: 1 (КВК+К+ДК+С), 2 (К+ДК+С), 3 (КВК+ДК+С), 4 (КВК+К+С), 5 (КВК+К+ДК). При анализе накопления стевииолгликозидов было выявлено, что их наибольшее содержание наблюдалось в варианте № 5, где отсутствовала синяя часть спектра; было показано, что красная часть спектра ОИ индуцирует синтез вторичных метаболитов.

Во второй серии опытов изучали дополнение основного освещения (С20344К86ДК9) ультрафиолетом в трех областях излучения: УФ-А (380 нм, 1,5 мкмоль/м<sup>2</sup>с), УФ-В (300 нм, 0,015 мкмоль/м<sup>2</sup>с), УФ-С (270 нм, 0,010 мкмоль/м<sup>2</sup>с). На 130 день развития растений в контрольной группе (без дополнительного УФ-облучения) содержание стевииозидов в фазе бутонизации и цветения было ниже на 13,7 %, чем при облучении УФ-А. При облучении УФ-В и УФ-С накопление дитерпеновых гликозидов было на 13,2 и 11,3 % выше контроля. Накопление флавоноидов оказалось максимальным под источником облучения, дополненным УФ-В, и составило 0,9 мг/100 г, в контроле, под УФ-А и УФ-С и контроле примерно равное и составило 0,5 мг/100 г.

В третьей серии опытов исследовали влияние спектров ОИ (С14340К42ДК4 (Л1), С20320К53ДК7 (Л2), С2334К54ДК19 (Л3), с плотностью потока фотонов  $140 \pm 8$  мкмоль / м<sup>2</sup>с), дополненных УФ-С облучением (275 нм, 50-60 мВт/м<sup>2</sup>). на развивающиеся черенки и взрослые растения стевии. Максимальное содержание кверцетина у взрослых растений наблюдалось под Л1, спектре ОИ, наиболее приближенном к спектру солнечного света; оно составило 2,172 мг/100 г, под Л2 и Л3 было меньше на 24% и 30% соответственно. Добавление УФ-С снижало содержание кверцетина под Л1+УФ-С (на 24%) и Л2+УФ-С на (59%), а под Л3+УФ-С не повлияло. Наблюдали преимущественно положительное влияние добавления УФ-С спектра на накопление стевииогликозидов в листьях активно растущих побегов. У взрослых растений минимальное содержание стевииолгликозидов наблюдали в варианте, (Л1), оно составило 2,23%. Добавление УФ-С спектра (Л1+УФ-С) увеличивало их в два раза и равнялось 4%. В варианте Л2+УФ-С содержание стевииолгликозидов было самым высоким (5%).



## НАНОПРАЙМИНГ КАК СПОСОБ РЕГУЛЯЦИИ ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА У МИКРОЗЕЛЕНИ РАПИНЫ

**Кочетков И.М., Жукова К.В., Ворошилов И.А., Венжик Ю.В.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, kochetkov@ifr.moscow

Фенольные соединения играют ключевую роль в метаболизме растений, обеспечивая защиту от патогенов и стрессовых факторов. Помимо этого, фенольные соединения представляют высокую питательную ценность для человека, поэтому вызывают интерес у учёных по всему миру, особенно на фоне возрастающей актуальности вопросов здорового питания. Уровень содержания фенольных соединений в растениях может изменяться в зависимости от множества факторов, в том числе от объекта исследований и условий выращивания. Удобным объектом для изучения фенольного метаболизма является микрозелень, то есть молодые побеги растений в возрасте от 7 до 14 дней. Одним из основных преимуществ микрозелени считается простота ее выращивания в домашних условиях. В последние годы для регуляции метаболизма растений на клеточном уровне широко применяют нанопрайминг. Суть данного метода заключается в предварительном замачивании семян в растворе наночастиц с концентрацией, стимулирующей развитие растений. Перспективным препаратом для нанопрайминга является водный коллоидный раствор наночастиц золота (НЧЗ). В данном исследовании применялись НЧЗ диаметром 15 нм, полученные цитратным методом из золотохлористоводородной кислоты и цитрата натрия. Объектом исследования служила микрозель рапины (*Brassica ruvo*). Цель работы заключалась в изучении влияния нанопрайминга на фенольный метаболизм, содержание фотосинтетических пигментов и показатели антиоксидантной активности у микрозелени рапины. Эксперименты проводили в камерах искусственного климата в контролируемых условиях по стандартным методикам.

Установлено, что обработка НЧЗ (замачивание семян на 24 ч) в концентрации 20 мкг/мл оказывает максимальное стимулирующее влияние на рост и накопление фенольных соединений у микрозелени рапины. Так, содержание фенольных соединений в растениях, обработанных НЧЗ, увеличивалось на 26% по сравнению с контрольным вариантом. При этом под влиянием нанопрайминга заметно возрастал относительный уровень экспрессии ключевых генов фенилпропаноидного пути, таких как PAL1, 4CL3, CHS и F3H. В частности, НЧЗ на 60 и 70 % увеличивали относительную экспрессию генов PAL1 и 4CL, в 2 раза – экспрессию гена F3H и в 8 раз – экспрессию гена CHS. Кроме того, установлен эффект НЧЗ на показатели фотосинтетической активности: содержание хлорофилла *a* увеличивалось на 25%, хлорофилла *b* – на 35 %, содержание каротиноидов под влиянием НЧЗ возрастало на 26%. Показан также положительный эффект НЧЗ на антиоксидантную активность микрозелени. При этом содержание золота в побегах было следовым – около 0.01 мг/кг сухого веса.

Таким образом, нанопрайминг может быть использован как перспективная технология для регуляции фенольного метаболизма и усиления питательной ценности микрозелени рапины.

Авторы благодарят д. б. н., в. н. с. ИБФРМ СарНИЦ РАН Л. А. Дыкмана за предоставление коллоидных растворов золотых наночастиц.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700044–6).

## **ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МИКРОЗЕЛЕНИ СВЁКЛЫ В УСЛОВИЯХ БИХРОМАТИЧЕСКОГО LED ОСВЕЩЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМ СООТНОШЕНИЕМ КРАСНОГО И СИНЕГО ДИАПАЗОНОВ**

**Кугач В.А., Скуратович Т.А., Обуховская Л.В., Куделина Т.Н., Молчан О.В.**

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, [1viktoriakugach1@gmail.com](mailto:1viktoriakugach1@gmail.com)

Светодиодное (LED) освещение занимает лидирующие позиции при выращивании растений, заменяя традиционные источники искусственного света благодаря своей энергоэффективности, долговечности, минимальному тепловому излучению и возможности точной настройки и комбинации спектрального состава. Последнее обуславливает актуальность исследования и выявления оптимальных режимов использования светодиодов с целью целенаправленной регуляции фотосинтетических и фотоморфогенетических процессов растений и повышения их пищевой ценности. Стимуляция накопления полезных биологически активных соединений особенно важна при выращивании микрозелени, которая является источником множества питательных веществ и природных антиоксидантов.

Объектом данного исследования являлись проростки свёклы столовой (*Beta vulgaris* L.) сорта «Слава», полученные по технологии выращивания микрозелени. 4-х дневные этиолированные проростки переносили из темноты на свет и далее выращивали до возраста 5, 7 и 10 суток при бихроматическом LED освещении с К/С 0,7, К/С 1,5, К/С 3 и К/С 4 с плотностью потока фотонов  $200 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Определяли сырую и сухую массу побегов, содержание фенольных соединений, флавоноидов, веществ с антирадикальной активностью, беталаинов общепринятыми методами. Исследование скоростей дыхания и фотосинтеза проводили с помощью прибора PlantVital® 5030.

Максимальное содержание фенольных соединений в микрозелени свёклы отмечено на 5-е сутки выращивания, а также наблюдается тенденция к снижению показателя с увеличением времени выращивания. Отмечен стимулирующий эффект LED освещения с повышенной дозой синего света на более ранних сроках: накопление фенольных соединений было максимальным при К/С 0,7 на 5-е сутки и при К/С 0,7 и 1,5 на 7-е сутки выращивания. На 10-е сутки оптимальным оказалось соотношение К/С 3. Соответствующие тенденции наблюдались и в отношении накопления веществ с антирадикальной активностью. Содержание флавоноидов повышалось с увеличением сроков выращивания микрозелени и было наибольшим на 10-е сутки. При этом на 5-е сутки выращивания отмечена тенденция к повышению накопления при увеличении дозы красного света в соотношении с синим: при К/С 4 показатель был достоверно выше, чем при К/С 0,7 и 1,5. На 7-е сутки отмечен противоположный эффект: накопление флавоноидов было максимальным при К/С 0,7. При оценке накопления беталаинов было отмечено, что повышенная доза синего света (К/С 0,7) стимулирует накопление пигментов на 5-е сутки выращивания, а на 10-е сутки наблюдается обратный эффект (показатель максимален при К/С 3 и 4). В отношении накопления сырой и сухой массы 1 проростком микрозелени свёклы оптимальным является повышенное содержание красного света в соотношении с синим на протяжении всего тестируемого периода выращивания. Таким образом, для накопления фенольных соединений, беталаинов на более ранних сроках предпочтительно использование бихроматических комбинаций с более высокой дозой синего света, при более длительном выращивании – с повышенным содержанием красного света. Обсуждаются механизмы регуляции эффектов спектральных комбинаций на исследуемых стадиях роста микрозелени в контексте динамики ростовых процессов и общих физиологических изменений, сопровождающих развитие проростка.

Работа выполнена в рамках задания ГП «Научеомкие технологии и техника» на 2021-2025 гг. по НИР «Разработать критерии адаптации растений к условиям искусственных миниекосистем».

## КРАТКОВРЕМЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АЛОЕ

**Лапшин П.В., Живухина Е.А.\*, Загоскина Н.В.**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, p.lapshin@mail.ru

\*Московский педагогический государственный университет, Москва

Последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием таких направлений физиологии растений и фармакогнозии, которые связаны с изучением различных вторичных метаболитов – терпеноидов, алкалоидов и фенольных соединений или полифенолов (ПФ). Благодаря различным методам физико-химического анализа уже идентифицировано более 100 тысяч этих соединений, в том числе более 10 тысяч ПФ.

Большой интерес уделяется изучению суккулентных растений. Они представляют собой ценный природный ресурс для создания лекарственных препаратов, определяющих развитие отрасли лекарственного растениеводства в нашей стране. К их числу относятся различные виды рода *Aloe*, которые в течение многих лет успешно используются не только народной медицине, но и в фармации и косметологии, что обусловлено накоплением в них различных биологически активных веществ. Однако, в современную фармацевтическую номенклатуру России входит лишь один его вид - *Aloe arborescens*, хотя и для других видов алое характерно высокое содержание ПФ – эффективных антиоксидантов растительного происхождения.

Целью нашего исследования являлось изучение ответной реакции *Aloe arborescens*, *Aloe dorotheae* и *Aloe congolensis* на кратковременное воздействие высокой температуры.

Для исследования использовали растения алое из коллекции суккулентных растений ИФР РАН (Москва), выращиваемые при естественном освещении и 16-часовом фотопериоде. Условия эксперимента: молодые (не выросшие полностью листья (возраст около 3 месяцев) выдерживали 2 часа в темноте (контроль) или при 40°C (опыт). После завершения экспозиции материал измельчали, отбирали навески (50 мг, 3 повторности), которые подвергали экстракции 96%-ным этанолом. Этанольный экстракт центрифугировали и использовали для спектрофотометрического определения содержания фенилпропаноидов и флаванов.

В первую очередь следует отметить, что в листьях *A. arborescens* и *A. congolensis* контрольных вариантов содержание фенилпропаноидов (биогенетически ранних соединений фенольного метаболизма) было равным, тогда как у *A. dorotheae* – на 20% выше. После воздействия на них высокой температуры оно уменьшалось у *A. arborescens* и *A. dorotheae* (в 1,4 и 1,9 раза, соответственно) и сохранялось на том же уровне у *A. congolensis*.

Имеется незначительное число публикаций о накоплении в растениях алое флаванов – веществ с капилляроукрепляющей активностью. Согласно нашим данным, оно было очень низким и статистически равным в листьях контрольных растений *A. arborescens* и *A. dorotheae*, тогда как у *A. congolensis* превышало эти показатели почти в 10 раз. Воздействие высокой температуры сопровождалось повышением накопления флаванов только в листьях *A. arborescens* (в 2 раза относительно контроля).

Все вышеизложенное свидетельствует о видоспецифичности накопления ПФ у различных представителей рода *Aloe*, а также об отличиях в их реакции на кратковременное воздействие высокой температуры.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (задание №122042600086-7).

## РЕГУЛЯТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ АЗОТА НА ОБРАЗОВАНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ФЛАВАН-3-ОЛОВ В ЛИСТЬЯХ *CAMELLIA SINENSIS* L.

**Малюкова Л.С., Самарина Л.С.**

ФГБУН Федеральный исследовательский центр Субтропический научный центр РАН, Сочи,  
malukovals@mail.ru

Регулирующая роль азота в синтезе ряда вторичных метаболитов, определяющих вкусовые и лечебные свойства чая, изучается во многих чаепроизводящих регионах мира. Менее изучены эти вопросы для перспективных сортов чая, произрастающих в зоне влажных субтропиков России. В этой связи была поставлена цель – исследовать образование и накопление флаван-3-олов (катехинов) в листьях чая в условиях *in vivo* и *in vitro* при наличии и отсутствии азота в питательных субстратах. Исследования *in vivo* (опыт 1) проведены в вегетационном опыте на 3-х летних саженцах чая 2-х сортов (Колхида и Каратум), которые выращивали в течение 5-ти месяцев в контейнерах с чистым песком при поливе питательными растворами [0,5 мМ Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 3 мМ NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 0,5 мМ CaCl<sub>2</sub>, 1,0 мМ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 46 мкМ H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0,6 мМ MgSO<sub>4</sub>, 9 мкМ MnSO<sub>4</sub>, 2 мкМ CuSO<sub>4</sub>, 9 мкМ ZnSO<sub>4</sub>, 2,6 мкМ Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> и 30 мкМ Fe-ЭДТА] с концентрацией азота 0 мМ (N-дефицит) или 3 мМ NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (N-норма). В качестве объектов исследования *in vitro* (опыт 2) использовали микропобеги (стеблевого происхождения) чая сорта Колхида, которые культивировали в течение 2х месяцев на экспериментальных питательных средах: N<sup>+</sup> (контроль) – среда Мурасиге-Скуга, содержащая азот и N<sup>-</sup> – среда Мурасиге-Скуга, без добавления азота. По истечении 2х (для опыта 1 и 2) и 4х месяцев (для опыта 1) были отобраны листья (опыт 1) и микропобеги (опыт 2) чая для анализа, которые фиксировали над водяным паром в течение 3-5 мин для нейтрализации процесса окисления, затем высушивали. Содержание азота определяли спектрофотометрически (прибор УСФ-01, Россия) после кислотного озоления (по К.Е. Гинзбург и др. (1963). Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (хроматограф Agilent Technologies 1100) было определено содержание ряда катехинов: (+)-катехин (C), (-)-эпикатехин (EC), (+)-галлокатехин (GC), (-)-эпигаллокатехин (EGC), (-)-катехин-3-галлат (CG), (-)-эпикатехин-3-галлат (ECG), (-)-галлокатехин-3-галлат (GCG), (-)-эпигаллокатехин-3-галлат (EGCG). В опыте 1 (*in vivo*) достоверные различия по содержанию азота в листьях чая наблюдались у обоих генотипов со средними значениями 3,7–4,3 % (при норме азота) и 2,7–3,6 % (при дефиците азота). Содержание простых и галлированных катехинов при норме азота находилось на уровне 12-15 мг/г и 30-60 мг/г соответственно, что в целом было ниже параметров, характерных для 3-листных флешей. Для сорта Колхиды уже через 2 месяца дефицита азота существенно увеличивалось содержание в листьях свободных (до 23 мг/г) и галлированных (до 90 мг/г) катехинов в сравнении с контролем. Для сорта Каратум только по истечению 4-х месяцев культивирования на безазотистом субстрате усиливался синтез свободных катехинов. То есть сорт чая Каратум в целом выделялся менее выраженным «флавановым ответом» на различные азотные условия, что указывало на его большую толерантность к азотной недостаточности. В опыте 2 (*in vitro*) было отмечено, что дефицит азота (около 2 %) в питательной среде в меньшей степени (в сравнении с опытом 1) активизировал процессы образования и накопления свободных катехинов (с 30 до 37 мг/г). При этом синтез галлированных катехинов был ингибирован (с 55 до 42 мг/г). Выявленная регулирующая роль азота в образовании и накоплении в листьях чая флаван-3-олов актуализирует развитие направления исследований о формировании композиций вторичных метаболитов чайного растения при использовании различных видов удобрений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00058,  
<https://rscf.ru/project/22-16-00058/>.



## ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТА *BACILLUS SUBTILIS* НА СОСТОЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА КОНТРАСТНЫХ ПО ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

**Масленникова Д.Р., Ласточкина О.В.**

ФГБУН Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, +7(347) 235-60-88,  
dishaoil@mail.ru

Ростстимулирующие эндофитные бактерии *Bacillus subtilis* рассматриваются как природная стратегия повышения продуктивности важнейших агрокультур, включая пшеницу, в условиях меняющегося климата. Однако, фундаментальные механизмы опосредованной ими рост-стимулирующей и антистрессовой активностей во многом остаются неясными, что ограничивает разработку и внедрение биоинокулятов на их основе. Известно, что взаимодействие растений и бактерий-эндофитов приводит к *de-novo* синтезу и накоплению фенольных соединений, регулирующих физиологические процессы в растительных клетках, что позитивно отражается на их росте, развитии и устойчивости. При этом, крайне скудно описаны механизмы регуляции эндофитными *B. subtilis* состояния компонентов фенольного метаболизма на ранних стадиях онтогенеза растений пшеницы.

В данной работе изучено влияния эндофита *B. subtilis* 10-4 (*BS*) на важнейшие компоненты фенольного метаболизма у контрастных по стратегии адаптации к засухе растений пшеницы (*Triticum aestivum* L., устойчивый сорт Экада109 и чувствительный сорт Зауральская Жемчужина) в сочетании с оценкой параметров роста и колонизации бактериями внутренних тканей. Семена стерилизовали и замачивали в суспензии *BS* ( $10^5$  КОЕ/мл) (опыт) или воде (контроль) в течение 1 часа. Предобработанные и необработанные *BS* семена высевали в чашки Петри с фильтровальной бумагой, пропитанной 10 мл дистиллированной воды и проращивали до 3-4 суток при температуре 22-24°C, 16/8 ч фотопериод, освещенность 320 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) ФАР. Далее растения изолировали от эндосперма, оценивали в них титр *BS* и анализировали параметры, представленные в Таблице 1. Результаты подвергали статистической обработке с использованием t-критерия Стьюдента.

Таблица 1. Влияние *BS* на длину (см), содержание пероксида водорода - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (мкМ/г сырой массы), активность гваякол-пероксидазы - ГП (у.е./ мг белка), активность фенилаланин-аммиак-лиазы - ФАЛ (нМ транскоричной кислоты/ мг белка мин) и содержание лигнина (ΔА 540 нм/г сырой массы) в 4-х сут проростках пшеницы в нормальных условиях вегетации

Вариант		Параметры				
		Длина, см	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	ГП	ФАЛ	Лигнин
Экада 109	Контроль	7.8 ± 0.32	0.0081 ± 0.0003	20.1 ± 0.80	5.1 ± 0.2	0.21 ± 0.008
	<i>BS</i>	<b>8.9 ± 0.35</b>	<b>0.0095 ± 0.0004</b>	<b>23.4 ± 0.93</b>	<b>8.3 ± 0.33</b>	<b>0.39 ± 0.016</b>
Зауральская жемчужина	Контроль	7.4 ± 0.29	0.0079 ± 0.0003	18.4 ± 0.74	4.5 ± 0.18	0.19 ± 0.007
	<i>BS</i>	7.9 ± 0.32	0.0079 ± 0.0003	19.2 ± 0.77	4.8 ± 0.18	0.22 ± 0.024

Обнаружено, что растения пшеницы сорта Экада109 оказались более восприимчивы к обработке эндофитом *BS*, что отразилось в повышенной генерации H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и активности ГП и ФАЛ, что приводило к почти двукратному накоплению лигнина по сравнению с контролем. Это четко коррелирует со значительным ростостимулирующим эффектом *BS* на растения пшеницы сорта Экада109, относительно растений пшеницы сорта Зауральская Жемчужина. Полученные данные указывают на способность *BS* при предпосевной инокуляции эффективно колонизировать внутренние ткани растений и вовлекаться в регуляцию фенилпропаноидного метаболизма на ранних этапах онтогенеза пшеницы, что расширяет наши познания о проявлениях физиологического действия присутствия этих микроорганизмов в растительных тканях и свидетельствует о перспективности их применения для повышения стресс-адаптационного потенциала пшеницы.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-16-00188, <https://rscf.ru/project/25-16-00188/>.



## **ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЕНИЯМИ НАПЕРСТЯНКИ ПУРПУРНОЙ**

**Махинова Е.Ю., Скороходова А.Н., Авакумов А.Д., Анисимов А.А.**  
ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.  
Тимирязева, Москва, mahinovaliza@gmail.com

Современная медицина во многом продолжает базироваться на вторичных метаболитах лекарственных растений. В зависимости от условий окружающей среды количество вторичных метаболитов в лекарственных растениях может очень сильно меняться. Это зависит от множества условий: срока вегетации растений, условий выращивания и сроков уборки.

Оптимизацией данной проблемы может стать выращивание лекарственных растений в контролируемых условиях систем интенсивного культивирования. Это позволит получать необходимое сырье в любое время года, также контролировать качество получаемой продукции. Известны работы, описывающие производство вторичных метаболитов наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea* L.), в которых показано, что при правильном подборе условий культивирования можно существенно повлиять на количество получаемого сырья, в том числе изменением спектрального состава света, а также добавлением в него ультрафиолетовой части спектра.

Наперстянка пурпурная — вид двулетних травянистых растений семейства Подорожниковые (*Plantaginaceae*). На первом году жизни образует розетку прикорневых, продолговатых, продолговатояйцевидных или овальных листьев на длинных черешках, длиной до 30 и шириной до 15 см, которые и служат источником лекарственного сырья и биологически активных веществ. В листьях наперстянки содержатся сердечные гликозиды, стероидные сапонины: дигитонин, гитонин, тигонин и их агликоны; сарсапогенин. Найдены также флавоноиды — лютеолин и 7-глюкозид-лютеолина, дигитолитеин; кофейная кислота, холин.

В работе изучали наперстянку пурпурную сорта Лисичка. Вегетационный опыт проведён на базе Лаборатории искусственного климата ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязева в контролируемых условиях. Температура в климатических боксах 24-26 °С. Фотопериод в вариантах 18 часов. В опыте использовались семь разных по спектральному составу светодиодных облучателей (указана плотность потока фотонов PPFD и соотношение в спектре облучателя красной, зелёной и синей части спектра, %): 1. PPFD=118 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; К/З/С- 50/25/25; 2. PPFD= 217 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; К/З/С - 37/26/37; 3. PPFD= 153 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; К/З/С - 24/28/28; 4. PPFD=168,4 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; К/З/С - 63/16/21; 5. PPFD= 136 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; К/З/С - 40/30/23; 6. PPFD=60,85 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; 100% 460 нм.; 7. PPFD=120,6 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; 100% 660 нм. Количественный анализ суммы фенольных соединений в листьях наперстянки пурпурной проводили на 90 день вегетации методом спектрофотометрии спиртовой вытяжки, окрашенной реактивом Фолина-Дениса.

Содержание суммы фенольных соединений в листьях наперстянки на 90 день вегетации оказалось следующим (приведены средние значения для каждого из вариантов спектрального состава света, мг/ г сырой биомассы листьев): 1: 1,78; 2: 1,62; 3: 0,70; 4: 1,83; 5: 2,02; 6: 3,60; 7: 1,85.

Таким образом наибольшее количество фенольных соединений в листьях наперстянки пурпурной оказалось в условиях плотности потока фотонов PPFD= 136 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; и соотношения К/З/С - 40/30/23. Меньше всего фенольных соединений накопилось в листьях наперстянки в условиях плотности потока фотонов PPFD= 153 мкмоль/м<sup>2</sup>/с; и соотношения К/З/С - 24/28/28.

**ВЛИЯНИЕ НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ, ДОНОРА ОКСИДА АЗОТА, НА  
НАКОПЛЕНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В КУЛЬТУРЕ  
*CAMELLIA SINENSIS* L.**

**Нечаева Т.Л., Зубова М.Ю., Аксенова М.А., Загоскина Н.В.**  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва,  
NechaevaTatyana.07@yandex.ru

Нитропруссид натрия (НПН), обладая уникальными химическими свойствами, успешно используется для изучения регуляции физиолого-биохимических процессов растительного организма в качестве донора оксида азота (NO). Известно его влияние на рост, развитие корней, продолжительность цветения, развитие плодов и другие процессы. Активно изучается регуляторное воздействие НПН на активность ферментов, содержание гормонов, перекисное окисление мембранных липидов и физиологические реакции на стресс. Считается, что образуемый при его воздействии NO – одна из основных сигнальных молекул окислительно-восстановительных реакций, может проявлять, как антиоксидантные, так прооксидантные свойства, в зависимости от локальной концентрации и пространственного распределения генерации. При этом малоизвестно о влиянии НПН на накопление вторичных метаболитов, в частности фенольных соединений (ФС), обладающих высокой биологической и антиоксидантной активностью. Удобной модельной системой для таких исследований являются фенол-накапливающие каллусные культуры *Camellia sinensis* L.

Целью работы было изучение влияния различных концентраций НПН на накопление вторичных метаболитов фенольной природы в *in vitro* культурах чая.

В ходе эксперимента гетеротрофные каллусы в возрасте 14-ти дней, выращиваемые в камере фитотрона на агаризованной питательной среде Хеллера, помещали в колбы с водой (контроль) или растворами НПН разной концентрации (1 мкМ, 0.1 мМ, 1 мМ). Культуры выдерживали на качалке (50 об./мин) в темновых условиях факторостата, в течение 5 и 24 часов. На каждом этапе воздействия анализировали морфофизиологические параметры каллусов, суммарное содержание ФС (СФС) и флаванов (ФЛ) – основных компонентов фенольного комплекса чая.

В результате эксперимента было выявлено, что ни кратковременное, ни длительное воздействие разных концентраций НПН (5 и 24 часа, соответственно) не вызывало изменений морфофизиологических характеристик каллусов. Что касается СФС, то через 5 часов воздействия оно повышалось на 44% относительно контроля при 1 мкМ НПН и не изменялось при других концентрациях. Через 24 часа – содержание СФС превышало контроль на 33% при 1 мкМ НПН, тогда как в присутствии 1 мМ НПН было ниже (на 21%). Тенденция накопления ФЛ при воздействии НПН была аналогична таковой СФС. Следовательно, изменения в накоплении СФС и ФЛ в каллусной культуре чая обусловлены концентрацией НПН и продолжительностью его действия.

Исходя из полученных данных можно заключить, что кратковременное воздействие низких концентраций НПН способствует повышению образования биоантиоксидантов фенольной природы, в том числе флаванов – веществ с капилляроукрепляющей активностью, в клетках чайного растения. Такой способ воздействия на растения чая может быть одним из подходов для улучшения качества получаемого из него продукта - чая.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№122042600086-7).*

## ОЦЕНКА ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ СЕМЕЙСТВА *LUCAD*, КОНТРОЛИРУЮЩИХ СИНТЕЗ ЛИГНАНА В СЕМЕННОЙ ОБОЛОЧКЕ ЛЬНА (*LINUM USITATISSIMUM* L.)

**Никитинская Т.В., Кубрак С.В., Титок В.В.\***

ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси», Минск, Nikitinskaja@yandex.ru

\*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск

Семена льна являются богатым источником секоизолярицирезинола дигликозида (SDG) – натурального диетического лигнана. SDG преобразуется бактериями в толстом кишечнике млекопитающих в фитоэстрогены – энтеродиол и энтеролактон. Фитоэстрогены могут оказывать положительное влияние на здоровье человека: снижать риск таких сердечно-сосудистых заболеваний как атеросклероз и коронарная сердечная недостаточность, поддерживать здоровье костей, оказывать апоптотическое действие на клетки колоректального рака, компенсировать снижение уровня эстрогенов при гормональных нарушениях. Наиболее богаты лигнанами оболочки семян льна, в которых концентрация лигнанов составляет более 800 мкг/г, что во много раз превосходит этот показатель у других растений. В тоже время, льняное масло содержит незначительное количество лигнанов, а в зависимости от технологии получения масла может и вовсе их не содержать [1]. В связи с этим, оболочки семян льна можно рассматривать как самостоятельный нутрицевтик, содержащий высокие концентрации биологически активных.

Целью данной работы было изучение экспрессии шести генов *LuCad1* – *LuCad6*, контролирующих синтез лигнанов в оболочке семян льна. Растительным материалом служили семенные оболочки 17 сортов 5 подвидов льна на стадии ранней зеленой спелости. В качестве контроля был взят сорт льна-кудряша Ручеек, как стандарт качества льняного масла. Выделение РНК проводили в трехкратной повторности, каждая повторность представляла собой смесь семенных оболочек 10 растений. Последовательности специфических праймеров шести генов семейства *LuCad* приведены в работе Eom S.H., 2016 [2]. В качестве референса использовали *LuActin*, отвечающий за синтез актина у льна.

Согласно полученным данным, уровни экспрессии генов *LuCad1*, *LuCad3* и *LuCad4* в изучаемой выборке варьировали в большом диапазоне по отношению к контрольному сорту Ручеек. Среднее значение уровня экспрессии гена *LuCad1* у сортов льна крупносемянного превышало стандарт в 5,59 раза, у сортов льна-долгунца – в 95,27 раза. Среднее значение уровня экспрессии гена *LuCad3* у всех подвидов было ниже, чем у сорта Ручеек и варьировало в диапазоне от -43,77 раза у льна растрескивающегося, до -1,88 раза у сортов льна-межеумка. Значение уровня экспрессии гена *LuCad4* варьировало от -6,93 раза у сортов льна крупносемянного, до 42,64 раза у сортов льна-долгунца. Уровень экспрессии гена *LuCad5* у изучаемых генотипов был максимально выровнен, со средними значениями по подвидам: -4 (лен-долгунец), -1,54 (лен-межеумок), -1,51 (лен-кудряш), -1,98 (лен крупносемянный), -6,25 (лен растрескивающийся) раза. Минимальный уровень экспрессии показал сорт льна-межеумка Norlin (в -18,69 раза ниже контроля), максимальный – сорт льна-межеумка Cree (в 7,12 раза выше контроля). Таким образом, уровень экспрессии гена *LuCad5* является наиболее подходящей признаком для сравнения сортов льна различных подвидов между собой по генам синтеза лигнанов. Уровень экспрессии генов *LuCad2* и *LuCad6* характеризовался минимальными значениями, в сотни и тысячи раз ниже контрольного образца. Возможно, гены *LuCad2* и *LuCad6* не принимают участия в синтезе лигнанов.

### Литература

1. Биологически активные лигнаны из семян льна / Жарский, И.М., Леонтьев В.Н., Титок В.В., Лугин В.Г., Хотылева Л.В. // Труды БГТУ. Серия 4. Химия и технология органических веществ, 2005. - С. 97-99
2. Eom S.H., Kim H., Hyun T.K. The Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase (*Cad*) Gene Family In Flax (*Linum Usitatissimum* L.): Insight From Expression Profiling Of Cads Induced By Elicitors In Cultured Flax Cells / ArchBiolSci, 2016; 68(3):603-612

## СОДЕРЖАНИЕ ОБЩИХ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ И ПОБЕГАХ ФЕЙХОА

**Омарова З.М., Белоус О.Г.**

ФГБУН «ФИЦ «Субтропический научный центр РАН», Сочи, zuly\_om@mail.ru

Природно-климатические условия юга России, при всей комфортности влажно-субтропической зоны, характеризуются рядом факторов, которые являются лимитирующими для теплолюбивых сельскохозяйственных культур. Периодически повторяющиеся засухи на фоне высоких температуры и влажности воздуха в летний период и понижения температур воздуха до 0 °С и ниже в совокупности с мокрым снегом зимой приводят к нарушениям роста и развития многих субтропических культур. Важным является установление закономерностей вариабельности физиолого-биохимических параметров субтропических плодовых растений, возникающей при действии стрессовых факторов. Цель исследования, представленного в данных тезисах, является выявление механизма устойчивости культуры фейхоа к стрессовым гидротермическим факторам для выявления механизма неспецифической защиты растений и подбора устойчивого сортимента. В работе представлена информация по содержанию в органах фейхоа общих полифенолов (ПФ). Объекты – 5 сортообразцов фейхоа: 'Дачная', 'Сентябрьская', 'Дагомысская' и ШВ-07; контроль – 'Superba'. Анализ общих полифенолов идет в побегах и листьях (в связи с вечнозеленостью культуры) в динамике на протяжении всего года ежемесячно: отбор образцов и полевые наблюдения на базе опытно-технологического отдела сектора плодовых культур и лабораторный анализ в лаборатории физиологии и биохимии растений ФИЦ СЦ РАН (Сочи).

Нами отмечено, что в побегах содержится в 3-4 раза меньше полифенолов, чем в листьях. При этом, по содержанию ПФ в побегах между сортами различий не отмечено, во всех сортах накапливается в среднем  $33,06 \pm 1,94$  мг/100 г сухой массы. В то время как в листьях четко просматриваются сортовые отличия в накоплении общих полифенолов. Наибольшее количество содержат листья мелколистного, позднего срока созревания сортообразца ШВ-07 (в среднем 146,6 мг/100 г), менее всего накапливается полифенолов в листьях сверхранного сорта 'Сентябрьская' (в среднем 92,4 мг/100 г). Анализ динамики полифенолов в побегах и листьях показал, что при изменении гидротермических факторов идет и изменение в накоплении ПФ в органах культуры. Коэффициент вариации лежит в пределах 14 % (вариабельность ПФ в побегах) – 25 % (вариабельность в листе). В динамике прослеживается сортовая специфика, так в листьях более стабильно содержание ПФ у формы с поздним сроком созревания ШВ-07 ( $V = 17\%$ ), в то время как в побегах более стабильно содержание полифенолов у сортов раннего срока созревания 'Дачная' и 'Сентябрьская' ( $V = 29\%$ ). Пластичной в накоплении полифенолов как листьям, так и побегами является контрольный сорт 'Superba' ( $V = 30-58\%$ ). Отмечено, что температурный фактор не оказывает значимого влияния на содержание в органах фейхоа полифенолов (коэффициент корреляции с листовыми характеристиками достаточно низок, а взаимозависимость температуры воздуха с содержанием ПФ в побегах – средняя, при повышении температурных параметров идет снижение содержания ПФ). В то же время на накопление полифенолов в листе значимо влияют количество осадков и влажность воздуха. Анализ показал, что при увеличении силы этих факторов усиливается процесс накопления ПФ в листьях с 102,3 мг/100 г до 159,1 мг/100 г. Однако, анализ всех трех факторов позволил отметить – при повышении температуры воздуха на фоне высоких показателей по количеству выпавших осадков и высокой влажности воздуха, процесс накопления общих полифенолов замедляется и содержание ПФ в листе падает до 99,6 мг/100 г и в два раза снижется содержание полифенолов в побегах.

*Публикация подготовлена в рамках реализации государственных заданий ФИЦ СЦ РАН FGRW-2024-0003, № госрегистрации 124022000093-1; FGRW-2024-0006, № госрегистрации 1022040800293-3 и FGRW 2025-0004, № госрегистрации 121120700353-5*



## ДУБИЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ХУРМЫ ВОСТОЧНОЙ

**Омарова З.М., Белоус О.Г., Омаров М.Д.**

ФГБУН «ФИЦ «Субтропический научный центр РАН», Сочи, zuly\_om@mail.ru

Исследованием химического состава плодов хурмы занимались многие авторы (Масоввер, Омаров, Причко, Пасенков, Розанов и др.), в то время как в селекционной работе значимость представляют не только качественные показатели плодов, но и содержание биологически активных веществ в вегетативных органах в связи с участием биохимических компонентов в защите растений от факторов различной природы, следовательно – возможен отбор адаптивных генотипов. Так, исследованиями Омарова М.Д. было показано, что сорта хурмы восточной, вследствие неглубокого зимнего периода покоя, попадая в зимне-весенние оттепели, трогаются в роста, а затем, в результате воздействия повторных заморозков, подмерзают и теряют способность к нормальному плодоношению. В то же время, хурма виргинская более морозостойкая, может выдерживать понижение температуры до -25...-27 °С, и сорта с ее участием оказываются более устойчивыми (Омаров, Кулян, Омарова, 2020). В этой связи, нами начато изучение содержания и динамики накопления вторичных метаболитов, в т.ч. и фенольной природы, в листьях и побегах сортов хурмы восточной, произрастающих во влажносубтропической зоне России (г. Сочи). В исследование включено 9 коллекционных сортообразцов хурмы восточной (*Diospyros kaki* L.): 'Jiro', 'Nachia', 'Hiakume', 'Зухра', 'Seedles', 'Zenji-Maru', 'МВГ Омарова', 'Хостинский' и 'Fuyu'. Для сравнительной характеристики идет определение содержания вторичных метаболитов и в видовых образцах – *Diospyros lotus* L. и *Diospyros virginiana* L.

Показано, что большее количество танинов (в среднем 43,4 %) и галловой кислоты (около 187,0 %) содержится в побегах, в то время как общих полифенолов больше накапливают листья до (195,6 мг/100 г сухой массы). Причем в вегетативных органах сортов хурмы восточной фенольных соединений в 1,5-2,0 раза больше, чем в видовых образцах. В накоплении вторичных метаболитов фенольной природы четко прослеживается наличие сортовых особенностей. Так, наибольшее количество общих полифенолов в побегах накапливает сорт селекции ФИЦ СНЦ РАН 'МВГ Омарова' – 185,2 мг/100 г, в листьях этого сорта содержание ПФ аналогично (183,8 мг/100 г). В то же время сорта 'Nachia' и сорт селекции ФИЦ СНЦ РАН 'Зухра' больше накапливают полифенолов в листовых пластинках (около 247,1-255,4 мг/100 г). По большему содержанию танинов в побегах выделяются сорта 'Hiakume' и 'Зухра' (в среднем около 58-62 %, что в 1,2-2,2 раза выше, чем в остальных сортах), у сортов 'МВГ Омарова' и 'Fuyu' больше танинов в листьях, наименее всего накапливают танинов листья сорта 'Jiro' (1,9 %, что в 1,2-1,7 раза ниже остальных сортов). Галловой кислоты больше в побегах сортов 'Nachia' и 'Hiakume' (278,3-280,4 %), меньше накапливают побеги сорта 'МВГ Омарова' (около 86 %); в листьях картина иная – сорта 'МВГ Омарова' и 'Fuyu' галловой кислоты содержат больше, как и танинов.

Ранжированный ряд в накоплении фенольных соединений в вегетативных органах сортов хурмы восточной имеет следующий вид: общие полифенолы > галловая кислота > танины. В целом показано, что больше фенольных соединений содержат сорта 'Зухра' и 'Nachia', меньше всего накапливают вегетативные органы сорта 'Fuyu'.

После установления полной картины в накоплении фенольных соединений, будут просчитаны зависимости содержания веществ от стрессоров влажных субтропиков.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственных заданий ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2024-0003, № госрегистрации 124022000093-1; FGRW-2024-0006, № госрегистрации 1022040800293-3 и FGRW-2025-0004, № госрегистрации 121120700353-5



## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУРАХ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ

**Сёмин А.А., Устинов В.А., Жаворонкова А.Е., Березина Е.В., Брилкина А.А.**  
ФГАОУВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского", siom.andrei@yandex.ru

Фенольные соединения (ФС) являются одной из наиболее обширных групп вторичных метаболитов растений, обладающих высокой антиоксидантной, противовоспалительной и антимикробной активностью. Особый интерес среди их источников представляет брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), традиционно используемая в медицине. Клеточные культуры – каллусные и суспензионные – являются перспективным и экономически целесообразным источником ФС, позволяющим нивелировать сезонные и экологические ограничения, имеющие место в отношении растений открытого грунта. В связи с этим целью работы является сравнительный анализ содержания ФС в листьях, каллусных и суспензионных культурах брусники.

Каллусные культуры брусники получали из листьев растений, произрастающих в условиях открытого грунта, на твердой питательной среде Woody Plant Medium с добавлением фитогормонов 2,4-Д и БАП в концентрациях 0,45/0,45 мкМ, 2,25/2,25 мкМ, 4,5/4,5 мкМ и 6,75/6,75 мкМ. Культивирование осуществляли в условиях темноты. Суспензионные культуры получали из наиболее продуктивных каллусных культур в жидкой среде с добавлением 2,25/2,25 мкМ и 4,5/4,5 мкМ фитогормонов. Культивирование проводили в темноте, а также на свету (интенсивность освещения – 60 мкмоль квантов/м<sup>2</sup>·с) с целью стимуляции накопления ФС. В листьях, каллусных и суспензионных культурах определяли содержание групп ФС – растворимых фенольных соединений (РФС), флавоноидов, флаванов и проантоцианидинов, а также состав индивидуальных ФС.

В ходе работы выявили, что в листьях брусники в расчете на 1 г сухой массы содержится 177 мг РФС, 129 мг флавоноидов, 41 мг флаванов, 14 мг проантоцианидинов, в т.ч. 3,7 мкг эскулина, 6 мкг кверцетина, 808 мкг катехина. В сравнении с листьями, содержание фенольных соединений в каллусных культурах снижено на 10–68% при использовании 0,45/0,45 мкМ и 6,75/6,75 мкМ фитогормонов, тогда как при использовании 2,25/2,25 мкМ и 4,5/4,5 мкМ фитогормонов – лишь на 7–18%. При использовании 2,25/2,25 мкМ и 4,5/4,5 мкМ фитогормонов отмечено увеличение содержания проантоцианидинов на 80% и катехина в 4 раза по сравнению с листьями. Максимальные значения накопления ФС во всех каллусных культурах приходятся на 28-35-й день культивирования.

При выращивании в темноте суспензионные клетки характеризуются уровнем РФС и флавоноидов, сопоставимым с листьями, при этом уровень флаванов и проантоцианидинов в них больше, чем в листьях, на 38% и на 73% соответственно. Больше также содержание эскулина (в 5 раз) и катехина (в 6 раз). В суспензионных клетках, культивируемых на свету в присутствии 4,5/4,5 мкМ 2,4-Д и БАП, содержание РФС на 32% больше, чем в темноте, флавоноидов – на 29% больше, флаванов – на 52% и проантоцианидинов – на 76%. Максимальное содержание ФС приходится на 30 день культивирования.

Таким образом, клеточные культуры брусники способны накапливать ФС в большем количестве, чем листья. Наиболее перспективными являются суспензионные клетки, выращиваемые в среде с 2,4-Д и БАП в концентрации 4,5/4,5 мкМ на свету.

*Работа выполнена при поддержке программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030" Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ УЧАСТВУЮЩИХ В БИОСИНТЕЗЕ ТАННИНОВ НА ПРИМЕРЕ ПЯТИ ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Середа А.А., Бондарев С.А., Адамов Г.В., Балеев Д.Н., Никонорова Е.Р.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), Москва, gatiatulinaer@gmail.com

Таннины – химически разнообразная группа фенольных соединений, которые разделяют на три основные группы: гидролизуемые (ГТ), конденсированные (КТ) и флоротаннины. Они содержатся в большинстве высших растений и играют важную роль в адаптации к окружающей среде, защите от стрессов и др.. Биосинтез различных классов танинов в растениях – сложный процесс, который тесно связан с шикиматным путем и до сих пор недостаточно изучен.

Целью данного исследования была оценка активности шикиматдегидрогеназы (ШДГ), хинатдегидрогеназы (ХДГ) и фенилаланин-аммиак-лиазы (ФАЛ) и их влияния на накопление проантоцианидинов и гидролизуемых танинов в лекарственных растениях.

Объектом исследования были листья *Hippophae rhamnoides* и *Cornus sericea*, *Astilbe chinensis*, *Agrimonia pilosa* и *Agrimonia asiatica*.

Содержание белка определяли методом Брэдфорда. Активность ШДГ и ХДГ определяли спектрофотометрически в очищенном экстракте по увеличению поглощения НАДФ+ при длине волны 340 нм в реакции с шикимовой или хинной кислотой при pH = 10,5 и 11,0 соответственно. Активность ФАЛ определяли, путем мониторинга образования транс-коричной кислоты при длине волны 290 нм из L-фенилаланина при pH = 8,8. Содержание ГТ оценивали после кислотного гидролиза в течение 72 часов с помощью системы ВЭЖХ Shimadzu Prominence-I LC-2030C 3D, оснащенной детектором PDA и колонкой Luna® 5 мкм C18 100A 250×4,6 мм в градиентном режиме. Содержание КТ определяли с помощью модифицированного метода Осиповой и др.: водо-, органорастворимые (в бутаноле) и нерастворимые фракции анализировали в реакции с бутанолом: солянокислым реагентом (95:5 по объёму, БХ), содержащим 0,6 мМ ионов Fe<sup>3+</sup>.

Высокие уровни КТ были обнаружены у *A. chinensis*, в то время как самое высокое содержание ГТ наблюдалось у *H. rhamnoides*. Наиболее высокая активность ШДГ была обнаружена в листьях видов *C. sericea* и *H. rhamnoides*, богатых ГТ, в то время как активность ХДГ была сравнительно низкой. Активность ФАЛ была самой высокой в листьях *H. rhamnoides*, а самой низкой – в *A. chinensis*. Корреляционный анализ выявил наличие разнонаправленных корреляций между активностью ферментов и содержанием таннинов.

Полученные результаты представляют ценную информацию о ферментативной регуляции биосинтеза таннинов и в дальнейшем будут использованы для изучения механизма синтеза таннинов в лекарственных растениях.

Работа выполнена согласно Государственному заданию по теме FGUU-2024-0001.

## СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ В НАКОПЛЕНИИ ФЕНОЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ ИРИСА СИБИРСКОГО

**Слепченко К.В., Белоус О.Г.**

ФГБУН «ФИЦ «Субтропический научный центр РАН», Сочи, slkkot1977@gmail.com

В связи с проведением селекционной работы по цветочно-декоративным культурам нами ведется анализ адаптивности и содержания биологически активных веществ в различных органах (генеративных – цветонос и цветок; вегетативных – корневища, листья) такой цветочной культуры как ирис. Цель исследований связана с установлением закономерностей вариабельности анатомо-морфологических, биометрических и физиолого-биохимических параметров растений, возникающей при действии стрессовых факторов, в частности, с целью выяснения адаптивных возможностей растений, используемых в озеленении урботерриторий.

В течение вегетации нами в органах различных сортов и видов ириса определяется содержание танинов, галловой кислоты, антоцианов и общих полифенолов. Всего в исследовании участвует 10 образцов ириса, как видовые (ирис сибирский, и. болотный), так и сорта и гибриды. В данную работу включены результаты, полученные за два года исследований видового ириса – *Iris sibirica* L., как наиболее интересного и декоративного представителя подрода *Limniris* (род *Iris* Tourn. ex L. семейство *Iridaceae* Juss.). У растений ириса сибирского цветоносы значительно возвышаются над листьями, однако несмотря на это, они устойчивы и не полегают (Козина В.В., Слепченко Н.А., Клемешова К.В., 2017). Исследования ведутся в соответствии с классическими и доработанными в ФИЦ СЦ РАН (Слепченко, Шошина, 2018) методиками и работам Г. И. Родионенко (2002): полевые наблюдения на базе опытных участков Лаборатории интродукции и сортоизучения цветочно-декоративных культур в научном стационаре «Раздольное» (г. Сочи), лабораторные исследования в Лаборатории физиологии и биохимии растений.

Нами установлено, что накопление танинов идет во всех органах – корневищах, листьях, цветоносах и цветах. Больше всего накапливают танины листья (в среднем 4,75 %), превышая остальные органы в 1,3-2,8 раза. По содержанию танинов в органах ириса сибирского можно составить следующий ранжированный ряд: листья > цветы > цветоносы > корневища. Причем нами отмечено, что в корневищах количество танинов изменяется от мая (период активного роста) к периоду ухода в покой (ноябрь), увеличиваясь в два раза, что связано с запасующей функцией данных органов.

Общих полифенолов больше содержится в листьях (в среднем 58,72 мг/100 г сухой массы), все органы по количеству ПФ располагаются в следующем порядке: листья > корневища > цветоносы. В цветах общих полифенолов содержится следовое количество. Галловая кислота обнаружена нами в корневищах в небольшом количестве – 0,013 %.

Антоцианы содержатся и в листьях, и в цветоносах, причем в цветоносах их суммарное количество выше – в среднем 2,91 мг/100 г, что в 1,5 раза больше, чем накапливается в листьях. В 2005 году мы повторим определение антоцианов в цветах ириса сибирского, так как в предыдущий период, несмотря на фиолетовую окраску цветка, нами отмечено только следовое количество этой группы пигментов.

Полученные данные позволят определить закономерности в накоплении таких вторичных метаболитов, как фенольные соединения в различных органах ириса, выявить период максимального накопления соединений фенольной природы и их участие в защите растений от зимних и летних стрессоров.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2024-0003, № госрегистрации 124022000093-1 и FGRW-2025-0004, № госрегистрации 121120700353-5

## **ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ И КАЗУАРИКТИНА НА ФЕРМЕНТЫ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И СИНТЕЗ ФНО-АЛЬФА, ИНДУЦИРОВАННЫЙ ЛПС, В ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА**

**Соколова Е.В., Адамов Г.В., Кроль Т.А., Шейченко О.П., Балеев Д.Н.**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Москва, eka9739@yandex.ru

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) хорошо известна своими многочисленными терапевтическими свойствами. Как правило, наибольший интерес вызывают ее ягоды, однако листья этого растения содержат большое количество полифенольных соединений, это может дать возможность более широкого их применения в медицинской практике. Настоящее исследование было посвящено выделению фракций из листьев облепихи крушиновидной, получению индивидуального соединения казуариктина и изучению их биологических свойств.

Для достижения поставленных целей сначала применяли метод фракционирования различными органическими растворителями для получения фракций, обогащенных полифенольными соединениями. Фракционирование с этилацетатом дало фракции, содержащие преимущественно казуаринин или казуаринин и его изомер казуариктин. Индивидуальное соединение казуариктин (чистота 94%) было получено с помощью жидкость-жидкостной экстракции и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Структура подтверждалась данными  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии.

Изучение биологических свойств фракций и казуариктина проводили на моделях *in vitro*. Испытания продемонстрировали, что изученные образцы обладают способностью ингибировать такие пищеварительные ферменты, как амилаза и липаза. Казуариктин продемонстрировал наиболее сильное ингибирование активности альфа-амилазы, тогда как фракция с самым низким содержанием целевых биологически активных веществ (казуариктин и казуаринин) показала назначительное ингибирующее противогликемическое действие. Ранее не изученное анти-липазное действие казуариктина и казуаринина выявило, что казуариктин и фракции листьев облепихи крушиновидной способны ингибировать липазу поджелудочной железы.

Исследованные фракции и казуариктин показали способность уменьшать воспалительный процесс, индуцированный бактериальным липополисахаридом, в модели цельной крови человека *ex vivo*. Они существенно ингибировали синтез фактора некроза опухоли альфа (ФНО-альфа) в примененной модели. Полученные результаты свидетельствуют о потенциале листьев облепихи крушиновидной как нового ценного сырья и о возможности применения ее активного компонента казуариктина в терапевтической практике человека.

## РЕГУЛЯЦИЯ ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА РАСТЕНИЙ ЭКЗОГЕННЫМИ РНК

**Супрун А.Р.<sup>1,2</sup>, Киселев К.В.<sup>1,2</sup>, Дубровина А.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт Мирового Океана, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток,

<sup>2</sup>Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток

Применение экзогенной РНК, также известное как индуцированное распылением подавление экспрессии генов (SIGS), – это новый подход в биотехнологии растений, использующий РНК-интерференцию (РНКи) для модификации признаков растений. Этот метод включает нанесение растворов двухцепочечной РНК (дцРНК), шпилечных РНК (шпРНК), малых интерферирующих РНК (миРНК) или микроРНК (миРНК) непосредственно на поверхность растений. Это запускает опосредованное РНКи подавление экспрессии генов, на которые нацелены используемые конструкции, внутри растения. Хотя применение экзогенной РНК для регуляции эндогенных генов растений активно изучается с целью повышения устойчивости к патогенам, оно остается менее изученным, что открывает широкие возможности для дальнейших исследований.

Данное исследование посвящено всестороннему изучению применения экзогенной дцРНК как высокоэффективного инструмента регуляции вторичного метаболизма растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. и томата *Solanum lycopersicum* L. Работа демонстрирует, что прямое нанесение на листья ген-специфичных дцРНК запускает в растениях механизм РНК-интерференции, приводя к специфичному подавлению экспрессии целевых генов и значимым биохимическим изменениям. На примере растений арабидопсиса и томата показано успешное подавление генов халконсинтазы (*CHS*), а также транскрипционных факторов, которые являются ключевыми регуляторами биосинтеза антоцианов (*MYBL2*, *ANAC032*, *CPC*, *TRY*, *CBP60g*, *BAN*). Сайленсинг целевых генов приводил к значительному изменению накопления антоцианов и других вторичных метаболитов, что подтверждено методами ВЭЖХ-МС.

Методом секвенирования малых РНК нами было доказано, что экзогенные дцРНК проникают в ткани растения, процессируются в малые интерферирующие РНК (миРНК) и вызывают специфическое посттранскрипционное сайленсинг генов. Более того, важным открытием является демонстрация того, что эффективность сайленсинга критически зависит от выбора целевой области гена (наибольшая эффективность достигнута при таргетировании кодирующей области), а также то, что применение смесей дцРНК против нескольких генов, негативных регуляторов биосинтеза антоцианов, синергетически усиливает эффект накопления антоцианов.

Результаты данной работы подтверждают огромный потенциал технологии экзогенного применения дцРНК в качестве перспективной стратегии для быстрого функционального анализа генов, управления вторичным метаболизмом растений и создания инновационных биотехнологических решений для сельского хозяйства.



## **ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ФИТОГОРМОНОВ И ОСВЕЩЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КУЛЬТУРАМИ КАЛЛУСНЫХ И СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК ГОЛУБИКИ ЩИТКОВОЙ**

**Сухова А.А., Сергеева В.Д., Березина Е.В., Брилкина А.А.**

ФГАОУВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", +79524439642, alinaismailova2000@bk.ru

Голубика щитковая (*Vaccinium corymbosum* L.) (сем. Вересковые) синтезирует уникальные вторичные метаболиты – фенольные соединения (ФС), включая флавоноиды, проантоцианидины и фенольные кислоты, обладающие чрезвычайно широким спектром биологического воздействия. В настоящее время интенсивно разрабатывается вопрос промышленного получения ценных растительных соединений с помощью культур каллусных и суспензионных клеток. Клетки растений *in vitro* сохраняют способность синтезировать вторичные метаболиты на уровне, не отличающемся от дикорастущих растений, а их рост и продуцирующую способность можно регулировать различными факторами, такими как фитогормоны и свет. Фитогормоны (ауксины и цитокинины) играют ключевую роль в контроле роста, дифференцировки и продуцирования вторичных метаболитов. Свет, стимулируя фотосинтетическую активность и накопление предшественников фенольных соединений, является простым и легко регулируемым способом воздействия, однако влияние фитогормонов и света на синтез фенольных соединений в культурах клеток голубики щитковой остается недостаточно изученным. Цель работы – выявление влияния фитогормонов и света на рост и фенолсинтезирующие способности культур каллусных и суспензионных клеток голубики щитковой.

В работе использованы каллусные и суспензионные клетки *V. corymbosum*, инициированные из микрорастений *in vitro* и культивируемые на среде WPM, дополненной 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) и БАП (бензиламинопурин) (0.45/0.9; 0.45/0.45; 0.9/0.45 и 2.25/2.25 мкМ). Культуры инициировали и выращивали как на свету (60 мкмоль/м<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>, 16-часовой фотопериод), так и в темноте. Анализировали содержание ФС (растворимые фенольные соединения (РФС), флавоноиды (Фл), флаваны (Флав), проантоцианидины (Про)). Для каллусных культур из трех вариантов сочетаний фитогормонов (0.45/0.9; 0.45/0.45; 0.9/0.45 мкМ) наиболее фенолаktivизирующей оказалась комбинация с преобладанием цитокининов - 0.45/0.9 мкМ 2,4-Д/БАП. А сочетанное воздействие света для этих культур способствовало увеличению накопления всех исследуемых групп фенольных соединений в 2-3 раза (РФС – 106; Фл - 77; Флав - 40; Про – 22 мг/г сухой массы). Также достаточно высокий уровень вторичных метаболитов у каллусов сохранялся и при дальнейшем культивировании в течение нескольких пассажей. Помимо этого, выявлено, что свет способствовал более быстрому формированию суспензионных клеток из каллусов.

Для длительно культивируемых в темноте суспензионных клеток голубики щитковой кратковременное воздействие света также активировало накопление фенольных соединений. Для клеток, культивируемых в присутствии 2.25/2.25 мкМ 2,4-Д/БАП в темноте, 7-дневное освещение приводило к увеличению всех групп ФС в 2,5 раза по сравнению с темновыми культурами, и даже в 1,5-2 раза по сравнению с постоянно культивируемыми на свету. При этом при использовании концентрации 0.45/0.45 мкМ 2,4-Д/БАП существенных изменений в содержании ФС обнаружено не было. Таким образом, было показано, что свет в сочетании с определенными концентрациями фитогормонов является необходимым фактором, стимулирующим накопление фенольных соединений.

Работа выполнена при поддержке программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030" Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ И СЕМЯН СОИ *GLYCINE MAX* (L.) MERR.

**Холодков А.А., Шепель О.Л., Степанова Т.А.\***

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, Хабаровск

\*ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный медицинский университет Минздрава РФ, Хабаровск, acold2004@gmail.com

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) как ценная белковая и масличная культура играет стратегическую роль в экономике многих стран, в том числе в Российской Федерации. Работы по созданию сортов дальневосточной селекции проводятся в Амурской области, Приморском и Хабаровском краях. Для повышения качества продуктов функционального питания, кормов для животных и биологически активных добавок (БАД) на основе сои необходимо изучить содержание биологически активных веществ (БАВ), влияющих на антиоксидантную активность сырья. К группе соединений растительного происхождения, способных блокировать цепные реакции перекисного окисления липидов, относятся фенольные соединения (ФС).

Изучение динамики содержания БАВ при хранении относится к одним из вопросов стандартизации растительного сырья. На настоящий момент исследования, посвященные изменению содержания разных групп БАВ в процессе хранения сои хабаровской селекции отсутствуют. Цель исследования: оценить динамику количественного содержания суммы фенольных соединений в высушенных надземных вегетативных органах и семенах сои в процессе хранения.

Объектами исследования стали высушенные надземные вегетативные органы и семена 8 сортов сои селекции ДВ НИИСХ: Марината, Тасия, Хабаровский юбиляр, Союзная 17, Хехцирская, Батя, Жемчужина Востока и Кобра. На опытном поле ДВ НИИСХ в период налива бобов (август 2024 года) собирали надземные вегетативные части и в фазу полного созревания плодов (октябрь 2024 г.) – семена. Высушенное сырье хранили в сухом защищенном от света месте при комнатной температуре.

Сумму фенольных соединений определяли спектрофотометрически без добавления реактивов, а также с реактивом Фолина-Чокальтеу; сумму флавоноидов – с хлоридом алюминия 2 %. Количественное содержание окисляемых веществ определяли титриметрически. Повторные исследования проводили через 3-5 месяцев.

В результате статистической обработки было установлено: сумма ФС (без реактивов) в надземных вегетативных органах составила 0,79-2,22 %, сумма ФС (с реактивом Фолина-Чокальтеу) – 5,82-10,75 %; сумма флавоноидов и окисляемых веществ колебалась в интервалах 0,34-1,24 % и 0,99-1,68 %; сортовая вариабельность, составила, соответственно, 25,6 %, 18,1 %, 32,9 % и 19,5 %. Содержание суммы ФС (без реактивов) в семенах находилось в диапазоне 0,18-0,24 %, сумма фенолов по методике с реактивом Фолина-Чокальтеу составила от 2,24 до 4,44 %; сумма флавоноидов – 0,02-0,07 %, окисляемых веществ – 0,33-0,78 %; сортовая вариабельность, соответственно, была равной 12,4 %, 23,9 %, 43,0 % и 31,9 %. Выявлено, что содержание ФС (без реактивов и с реактивом Фолина-Чокальтеу), флавоноидов в надземных вегетативных органах и семенах сои через 3-5 месяцев хранения находилось в тех же пределах. Содержание окисляемых веществ в надземных вегетативных органах снизилось до 0,87-1,43 %, в семенах – до 0,33-0,65 %, сортовая вариабельность содержания уменьшилась для анализируемых групп БАВ.

Дальнейшие исследования будут направлены на оценку динамики содержания БАВ для каждого сорта хабаровской селекции при длительном хранении.

## **ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ АНТОЦИАНОВ В ЛИСТЬЯХ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

**Чумак М.И., Белоус О.Г.**

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр РАН»,  
Сочи, mariachumak@prazdniksochi.com

Культура винограда отличается широкой биологической пластичностью, вследствие чего она может расти и плодоносить в самых различных природно-климатических условиях (Трошин, 1999; Панкин и др., 2010; Олешук и др., 2017; Ненько и др., 2014 и т.д.). Еще в 1954 году на опытно-производственных участках Института горного садоводства и цветоводства (сейчас ФИЦ ШЦ РАН), было высажено более 200 сортов различных эколого-географических групп столового винограда, с целью подбора наиболее продуктивных и качественных для промышленного размножения в условиях влажных субтропиков России. Однако в изменившихся погодных условиях изучения по корректировке сортимента винограда для условий влажных субтропиков России не проводится. В этой связи нами с 2024 года начато комплексное исследование по подбору перспективного сортимента винограда для условий влажных субтропиков России. В рамках этого исследования нами проводится изучение адаптивных качеств ряда сортов, в т.ч. и определение фенольных компонентов в листовом аппарате. В данной работе дан анализ результатов содержания в листьях винограда антоцианов. Выбор антоцианов в качестве объекта изучения связан с их участием в защите фотосинтетического аппарата, в т.ч. в условиях высокой инсоляции, что характерно для субтропиков России, а также в качестве механизмов защиты растений в период засухи. А как показали исследования содержания в листьях дубильных веществ, проводимые в нашей зоне Лепиловым С.М. (1981-1982 гг.), вполне можно предположить участие антоцианов и в защите от патогенов.

Объектами наших исследований являются 10 сортов винограда: Кишмиш Лучистый, Мускат Блау, Совиньон Блан, Черный Доктор, Кардинал, Красностоп Капри, Красностоп АЗОС, Кишмиш Велес, Ауасырхуа и Хризолит.

Показано, что в листьях сортов содержится в среднем от 92 до 532 мг/100 г антоцианов в зависимости от периода вегетации, во время гидротермического стресса количество антоцианов значительно уменьшается, что сопровождается и изменением водного статуса растений. Больше всего приходится на пеларгонидин 18-20 % от общего содержания антоцианов в листе и меньше всего – мальвидина (15-16 %). Сортные отличия ярко проявляются и зависят от реакции сорта на гидротермические факторы. Так в более оптимальных условиях (температура около 23-25 °С при невысокой влажности воздуха и достаточное количество осадков) наибольшее количество антоцианов содержат листья сортов Ауасырхуа и Хризолит (750,0 – 676,0 мг/100 г, соответственно), в то время как в период стресса (температура поднимается выше отметки 30 °С при высокой влажности воздуха – 85-88 %, длительное отсутствие осадков) больше антоцианов вырабатывают листья сортов Красностоп АЗОС (138 мг/100 г) и Кардинал (108 мг/100 г). Причем у сорта Кардинал в этот период отмечено более низкое (в 2-3 раза ниже, чем в остальных сортах) содержание в листьях танинов (0,54 %), галловой кислоты (3,54 %) и общих полифенолов (22,81 мг/100 г).

*Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ ШЦ РАН FGRW-2025-0004, № госрегистрации 121120700353-5*

## **СЕКЦИЯ 5**

### **Нано-, био-, аква- и фармтехнологии на основе фенольных соединений**

## **БУККАЛЬНЫЕ ПЛАСТЫРИ С МУКОАДГЕЗИВНЫМ СЛОЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ И ПРИРОДНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ КИСЛОТ**

**Белявская М.А., Хаинская Е.В., Дубашинская Н.В.\*, Скорик Ю.А.\*, Гилевская К.С.**

ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси», Минск, +375295107692,  
margobelyavskaya.1208@mail.ru

\*Институт высокомолекулярных соединений ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт», Санкт-Петербург

Мукоадгезивные полимерные пластыри (патчи) являются перспективной лекарственной формой для пролонгированной и контролируемой доставки лекарственных средств с целью улучшения их биофармацевтических свойств. В общем случае структура матричного буккального пластыря включает внешний инертный покровный слой и активную полимерную адгезионную матрицу (с удерживаемым в ней активным веществом). Полисахариды (хитозан, пектин, альгинат и др.), обладая наряду с мукоадгезивными свойствами биосовместимостью, биodeградируемостью и низкой токсичностью, являются перспективными кандидатами для создания активного слоя таких пластырей [1-2]. Дополнительная функционализация полисахаридов катехоловыми фрагментами приводит к значительному увеличению их мукоадгезивных свойств, что открывает возможности для создания новых лекарственных средств [3].

Разработана методика получения полимерных пленок на основе полидиметилсилоксана (ПДМС), пригодных для использования в качестве несущего слоя мукоадгезивного пластыря и обеспечивающих однонаправленное высвобождение активного вещества. Для формирования таких пленок применяли методы полива (сплошные пленки) и выщелачивания наполнителя (пористые и микроструктурированные пленки). Проведен сравнительный анализ физико-химических характеристик (смачиваемость, пористость, влагопоглощение и др.) полученных материалов и выбраны образцы, пригодные для использования в качестве несущего слоя мукоадгезивного пластыря. Предложен подход активации поверхности структурированных пленок ПДМС. Наиболее эффективным является способ, включающий первичную силанизацию поверхности с помощью APTES с последующей модификацией полиэлектролитными слоями через ковалентно связанный с силановым слоем окисленный пектин. Модификация полиэлектролитными слоями ПДМС приводит к гидрофилизации поверхности, наблюдается снижение значения краевого угла смачивания на 23 % до 75-76°.

Поверхность активированных структурированных пористых ПДМС-подложек модифицирована покрытиями на основе производных хитозана (конъюгатов хитозан-феруловая кислота и хитозан-галловая кислота). Покрытия охарактеризованы методами СЭМ, АСМ и ИК-спектроскопии. Сформированные покрытия являются гидрофильными (значение КУС  $\leq 80^\circ$ ), а толщина полисахаридных слоев составляет от 5 до 10 мкм. Показано, что равномерность покрытия, его целостность и адгезия к несущему слою зависят от способа предварительной активации поверхности ПДМС.

Литература:

Fonseca-Santos B, Chorilli M. An overview of polymeric dosage forms in buccal drug delivery: State of art, design of formulations and their in vivo performance evaluation // Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2018. V. 86. P. 129-143.

Wathoni N. [et al.] Alpha-mangostin hydrogel film based chitosan alginate for recurrent aphthous stomatitis // Applied Sciences-Basel 2019, 9.

Ryu J.H., Choi J.S., Park E., Eom M.R., Jo S., Lee M.S., Kwon S.K., Lee H. Chitosan oral patches inspired by mussel adhesion // Journal of Controlled Release. 2020. 317(10). P. 57-66.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФИИ (договор № X24СП6Г-001) и Санкт-Петербургского научного фонда (проект № 23-РБ-03-07).*



## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛИЗАТОВ ФЛАВОНОИДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ АНТИОКСИДАНТОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н.**

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий, +7919-234-00-04, za.bolotova@mail.ru

С целью замены синтетических фенольных антиоксидантов полимерных материалов нами проводятся исследования возможности применения продуктов гидролиза экстрактов природных флавоноидных соединений для ингибирования радикальных окислительных процессов в полимерах медицинского назначения.

Высокомолекулярные соединения медицинского назначения должны быть безвредными для организма человека и не содержать в своем составе добавки, являющиеся токсичными для человека.

Для обеспечения стабильности полимеров к окислительным процессам под действием кислорода воздуха в их состав вводят антиоксиданты различной химической структуры.

Используемые в настоящее время антиоксиданты чаще всего относятся к пространственно-затрудненным фенолам, таким, как ионол. Но, так как синтетические фенолы чаще всего обладают токсическими свойствами, это ограничивает их применение в производстве медицинских полимерных изделий.

Среди природных фенолов в растительном мире широко распространены флавоноиды, представляющие по своему строению полифенолы.

Молекулы природных флавоноидов состоят из полифенольного гидрофобного фрагмента (агликона) и соединенного с ним гликозидной связью углеводного остатка.

Наличие в структуре молекулы флавоноида углеводного остатка с многочисленными гидроксильными группами придает природным соединениям в целом гидрофильные свойства и обеспечивает растворимость этих веществ в воде и полярных растворителях.

Высокие гидрофильные свойства природных флавоноидов не позволяют использовать эти соединения непосредственно в таких гидрофобных полимерных материалах как полистирол, поливинилхлорид, изделий на основе нитрильных каучуков и в некоторых других высокомолекулярных соединениях.

Повышение гидрофобных свойств природных флавоноидов проводится удалением из гидрофильных полифенолов углеводных фрагментов молекул кислотным гидролизом гликозидной связи в водной среде с последующим выделением из водного экстракта нерастворимых гидрофобных флавоноидов (патент РФ № 2733411).

Введение в состав нитрильного каучука СКН-26 гидрофобных флавоноидов экстрактов верхней покровной чешуи репчатого лука (Allium sera) и последующая термообработка полученной пленки полимера при температуре 105 °С в присутствии кислорода воздуха в течение 56 часов показывает увеличение упруго-прочностных свойств каучука на 18,6% по сравнению с их уменьшением на 12% для каучука без введения флавонола.

Введение в состав каучука, полученных из лепестков цветов каркаде (Hibiscus Sabdariffa L.) антоциан-агликонов, и последующая его термообработка в аналогичных условиях повышает прочностные показатели полимера в меньшей степени - на 4,6%.

Изучение возможности применения флавонол- и антоциан-агликонов в качестве фотостабилизаторов при УФ-облучении изделий из полистирола в присутствии кислорода воздуха показывает, что введение флавонол-агликона снижает скорость окисления полимера в 1,6 раза, а введение антоциан-агликона – в 1,4 раза.

Более низкая антиоксидантная активность антоцианов может быть связана с меньшими восстановительными свойствами этих соединений.

## ДЕСТРУКЦИЯ ФЕНОЛА И ПИРОКАТЕХИНА МИКРОБНЫМИ КЛЕТКАМИ НОВОГО ИЗОЛЯТА РОДА *RHODOCOCCLUS*

**Быков А.Г., Хохлова Г.В., Плеханова Ю.В., Решетилов А.Н., Вайнштейн М.Б.**

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, ФИЦ ПНЦБИ  
РАН, Пущино, agbykov@rambler.ru

Фенольные соединения широко используются в производстве фенолформальдегидных смол, пластмасс, лекарств (например, салициловая кислота), красителей, инсектицидов и т.д. Как правило эти соединения являются токсичными для человека, а их экспресс-анализ в объектах окружающей среды – одно из актуальных направлений биотехнологии. Особый интерес в этом плане представляют электрохимические микробные биосенсоры, позволяющие быстро и с высокой точностью обнаружить остатки различных веществ в водных средах. Поиск микроорганизмов, способных к деградации фенольных соединений, - важный этап при создании биосенсора.

Целью данной работы было создание биосенсора на основе недавно выделенного штамма бактерий, идентифицированного как *Rhodococcus electrodiphilus*, для контроля деградации фенола и пирокатехина.

Клетки бактерий, идентифицированных как *Rhodococcus electrodiphilus*, использовали в качестве биокатализатора биосенсора на основе кислородного электрода типа Кларка. Изучили оптимальные условия функционирования данного устройства (фазу роста культуры, количество биомассы на рецепторе, pH и молярность буферного раствора, стабильность рецептора). Оценивали дыхательную активность клеток в присутствии различных концентраций субстратов. Построенные зависимости сигналов биосенсоров от концентрации субстратов аппроксимированы трехпараметрическим уравнением Хилла, значения полученных параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения аналитических параметров биосенсоров, рассчитанные из уравнения Хилла

Параметр \ Субстрат	Пирокатехин	Фенол
$V_{\max}$ , нА/с	0,94±0,05	0,78±0,05
$K_m$ , мМ	0,39±0,06	1,40±0,19
Нижний предел определения, мкМ	0,5	0,5
Диапазон определения	0,5 мкМ-5 мМ	0,5 мкМ-5 мМ
Линейный диапазон определения, мМ	0,49-0,86	0,10-0,99
Чувствительность биосенсора, нА/с мМ	0,34	0,32

Полученный биосенсор был использован для контроля концентрации фенола и пирокатехина при их биологическом (в присутствии культуры изолята *R. electrodiphilus*) и химическом (кислородом воздуха) окислении в течении 7 суток в пробирках. Показано снижение концентрация фенола в пробах, содержащих культуру микроорганизмов с 0,33±0,04 до 0,002±0,001 мМ на первые сутки (в 160 раз по сравнению с исходным содержанием), тогда как в пробах со стерильным контролем концентрация фенола снижалась с 0,37±0,03 до 0,26±0,03 за 7 суток (в 1,4 раза). Концентрация пирокатехина в пробах с культурой изолята *R. electrodiphilus* за первые 4 суток снижается с 0,435±0,007 мМ до 0,031±0,007 мМ (в 14 раз по сравнению с исходной концентрацией), а пробах со стерильным контролем с 0,481±0,001 мМ до 0,109±0,011 мМ (в 4 раза) за 7 суток.

Таким образом, исследованы биохимические свойства нового изолята *R. electrodiphilus* и показана возможность его практического применения в составе электрохимического биосенсора для определения фенола и пирокатехина в процессе химической и биологической трансформации этих соединений.

## СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОНЬЮГАТОВ ПОЛИСАХАРИДОВ С ФЕНОЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ

**Гилевская К.С., Хаинская Е.В.**

ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси», Минск, +375298630149,  
k\_hilevskay@mail.ru

Конъюгация полисахаридов с оксикоричными кислотами, которые являются сильными антиоксидантами, обеспечивает создание принципиально новых материалов с улучшенными биохимическими свойствами [1-2]. Кроме того, носители на основе таких конъюгатов обеспечивают высокую степень загрузки нутрицевтиков, например, каротиноидов (до 80%), и улучшение их химической стабильности [3].

Карбодиимидным методом [1] получены водорастворимые производные полисахаридов (пектина и хитозана) с галловой кислотой со степенью замещения до 35 %. Показано, что модификация фенольными кислотами обеспечивает значительное (на два порядка) повышение антирадикальной активности полимеров. Рассчитанные значения IC<sub>50</sub> для конъюгатов пектин-галловая кислота (ПГК) и хитозан-галловая кислота (ХГК) составляют 100,4±0,6 и 54,1±0,9 мкг/мл, соответственно. По сравнению с исходными полимерами, восстанавливающая способность конъюгатов значительно выше (в 30-60 раз) и составляет 149,1±1,1 и 267,0±16,7 мкг-экв ГК/мг для ПГК и ХГК, соответственно. Получены также водорастворимые конъюгаты пектина (ПФК) и хитозана (ХФК) с феруловой кислотой со степенью замещения 16,9±2,1 % и 23,3±2,4 %, соответственно. Рассчитанное значение IC<sub>50</sub> для конъюгата хитозана с феруловой кислотой составляет 98,1±1,7 мкг/мл. Восстанавливающая способность конъюгата ХФК по сравнению с нативным хитозаном значительно (~ в 20 раз) выше и составляет 155,2±1,4 мкг-эквФК/мг образца, в то время как конъюгирование молекулы ФК с анионным полисахаридом приводит к снижению ее активности примерно в 30 раз. Наибольшая антирадикальная активность характерна для конъюгата хитозана с галловой кислотой (0,142 мгГК/мг). Однако, с учетом степени пришивки фенольной кислоты к полимеру, конъюгат ХитФК обеспечивает более эффективное (25%) ингибирование радикалов.

В сравнительном эксперименте *in vivo* доказано, что модифицированные фенольными кислотами полисахариды обладают ранозаживляющим действием. Показано, что полученные конъюгаты хитозана ХГК и ХФК пригодны также для создания активного мукоадгезивного слоя буккальных пластырей. Установлено, что производные пектина с галловой кислотой обладают бактерицидным действием в отношении спорообразующих термофильных бактерий (*Bacillus*, *Geobacillus* и др), вызывающих порчу пищевых продуктов, и перспективны в качестве консервантов и антиоксидантных добавок в продукты питания.

### Литература:

- Khainskaya K., Hileuskaya K., Nikalaichuk V., Ladutska A., Akhmedov O., Abrekova N., You L., Shao P., Odonchimeg M. Chitosan-gallic acid conjugate with enhanced functional properties and synergistic wound healing effect // Carbohydrate Research. V. 553. 2025. P.109496.
- Еловская Н. А., Калацкая Ж. Н., Ламан Н. А., Гилевская К. С., Куликовская В. И., Николайчук В.В. Стимулирующее действие оксикоричных кислот и их конъюгатов с хитозаном на рост и биохимические показатели микроклонов картофеля *in vitro* // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2022. Т. 66. No 6. С. 605–613.
- Yi J., Huang H., Wen Z., Fan Y. Fabrication of chitosan-gallic acid conjugate for improvement of physicochemical stability of  $\beta$ -carotene nanoemulsion: Impact of Mw of chitosan // Food Chemistry. 2021. V. 362. P. 130218.

Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ (договоры № X24СП6Г-001и №X24КИТГ-002).

## ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНИЛПРОПАНОВОГО РЯДА ЧЕРЕЗ ИХ ДЕРИВАТЫ

**Голубцова М.А., Савватеев А.М., Жевлакова А.К.**

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, +79936285722, golubtsova\_m\_a@student.sechenov.ru

Определение отдельных представителей фенилпропанового ряда, в частности гидроксикоричных кислот в присутствии, например, флавоноидов, спектрофотометрическим методом может давать ложноположительные результаты, в силу близости физико-химических свойств этих родственных соединений. Для фенилпропаноидов, содержащих кратную связь, сопряженную с ароматическим кольцом, возможно образование диазодиенов, в условиях реакции азосочетания [1]. Это может быть использовано, для повышения точности их определения спектрофотометрическим методом в сложной биологической матрице растительных экстрактов.

Цель работы – изучение дериватов кофейной кислоты, пригодных для её спектрофотометрического определения, в присутствии кверцетина.

В условиях описанной методики азосочетания [1] получены осадки дериватов кофейной кислоты и кверцетина как индивидуальные, так и в смеси друг с другом. Осадки отфильтровали и промыли дистиллированной водой 3 раза. После высушивания растворили в ацетонитриле и снимали УФ-ВИД спектры полученных растворов на спектрофотометре SPECORD250. Наблюдались полосы поглощения: 293 нм - 1,352 А, 324 нм - 1,441 А для дериватов кофейной кислоты; 256 нм - 1,164 А, 370 нм - 1,077 А для деривата кверцетина. В спектре смеси наблюдались близкие полосы, являющиеся огибающими описанных максимумов. После доведения рН растворов с 5 до 2 путём добавления 1 мл 5% HCl в спектрах деривата кофейной кислоты и смеси дериватов кофейной кислоты и кверцетина наблюдали появление полосы поглощения 511 нм, при этом значимых изменений в спектре деривата кверцетина не наблюдалось. Для подтверждения структуры диазодиена сняли спектры ЯМР <sup>13</sup>C, <sup>1</sup>H и COSY на приборе Bruker AVANCE III 600 МГц деривата кофейной кислоты в ДМСО. Сигналы <sup>13</sup>C: синглет 40 ppm; синглет 113,8 ppm; синглет 116,2 ppm; синглет 119,1 ppm; синглет 124,5 ppm; синглет 126,5 ppm; синглет 127,4 ppm; дублет с пиками 129,1 ppm и 129,3 ppm; синглет 138,0 ppm; дублет с пиками 145,9 ppm и 146,1 ppm. Сигналы <sup>1</sup>H: синглет 2,5 ppm; синглет 3,35 ppm; синглет 5,8 ppm; дублет 6,7 ppm; дублет дублетов 6,9 ppm; дублет 6,9 ppm; дублет 7,0 ppm; дублет 7,1 ppm; мультиплет 7,2 ppm; триплет 7,3 ppm; дублет 7,5 ppm и синглет 9,0 ppm. На спектре COSY корреляция строилась между <sup>1</sup>H спектрами кофейной кислоты. Обнаружены кросс-пики: для дублета 6,7 ppm с триплетом 7,3 ppm; для триплета 7,3 ppm с дублетом 6,7 ppm и мультиплетом 7,2 ppm. Для мультиплета 7,2 с триплетом 7,3 ppm. Для дублета 7,1 ppm с дублетом 6,9 ppm. Для дублета 7,0 ppm с дублетом дублетов 6,9 ppm. Для дублета 6,9 с дублетом 7,1. Для дублета дублетов с дублетом на 6,7 ppm. Для дублета 6,7 ppm с дублетом дублетов 6,9 ppm. Все приведенные сигналы соотносятся со структурой 1,2-диазо-1,3-диена кофейной кислоты.

Полученные данные спектров ЯМР деривата кофейной кислоты свидетельствуют об образовании 1,2-диазо-1,3-диена в условиях реакции азосочетания. Результаты спектрофотометрии различных по структуре соединений диазотированного анилина с кофейной кислотой и кверцетином могут быть использованы для разработки методики определения гидроксикоричных кислот в присутствии флавоноидов.

Литература:

Novel synthesis of 1,2-diaza-1,3-dienes with potential biological activity from cinnamic acids and diazonium salts of anilines./ Vida V., Minisini M., Mardirossian M., [et. al]// RSC Advances. 2022. Vol. 13. P. 456-463 DOI: 10.1039/d2ra07515f

## **МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОЧИЩЕННЫХ МИКРОНИЗИРОВАННЫХ ФЛАВОНОИДНЫХ ФРАКЦИЙ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ ГОРЯЧЕГО РАСПЛАВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БИОДОСТУПНОСТИ**

**Данилова А.А., Флисюк Е.В.**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет Минздрава  
России, Санкт-Петербург, shmarova.aleksandra@pharminnotech.com

Очищенные микронизированные флавоноидные фракции (ОМФФ) представляют собой смесь диосмина и гесперидина в соотношении 9:1. В настоящее время субстанция ОМФФ входит в состав ряда востребованных на фармацевтическом рынке лекарственных средств (ЛС) ангиопротективного действия, которые, согласно отечественным клиническим рекомендациям, являются наиболее предпочтительными при длительной терапии хронических заболеваний вен. Однако рассматриваемая активная фармацевтическая субстанция (АФС) отличается крайне неудовлетворительными физико-химическими свойствами (низкой растворимостью мажорного компонента диосмина – порядка  $0,019 \pm 0,005$  мг/л, наряду с повышенной гигроскопичностью). Предварительная микронизация субстанции (вплоть до 0,9 мкм) как попытка увеличить площадь поверхности контакта частиц с биорелевантными средами приводит к существенному ухудшению технологических характеристик вещества. В качестве перспективной стратегии, позволяющей нивелировать неудовлетворительные характеристики ОМФФ, предложена технология создания твёрдых дисперсных систем (ТДС) методом экструзии горячего расплава (ЭГР). За счет инкорпорирования АФС в матрицу гидрофильного полимера-носителя (в нашем случае – сополимера поливинилпирролидона с винилацетатом в соотношении 60:40) с последующей гомогенизацией и плавлением смеси образуются водородные связи между полярными группами компонентов ТДС, снижается кристалличность наряду с повышением растворимости и стабильности активного вещества.

В рамках скрининговых исследований использовалось соотношение компонентов 1:99, согласно проведенным ранее экспериментам. При подобранных параметрах процесса ЭГР получены ТДС ОМФФ в виде светло-желтых полупрозрачных нитей. Для изучения технологических свойств образцы подвергались измельчению на конической мельнице-калибраторе с последующим отбором фракции гранул 350-710 мкм. В случае исходной АФС наблюдались существенные расхождения в параметрах насыпной плотности до и после уплотнения. Рассчитанные на их основе значения индекса Карра (29,63) и числа Хауснера (29,63) свидетельствовали о слабой сыпучести и значительной агрегации частиц. По сравнению с чистыми ОМФФ, полученная ТДС демонстрировала улучшение сыпучести, прессуемости и сжимаемости (индекс Карра – 1,06; число Хауснера – 5,71). Полученные результаты объясняются увеличением размера частиц ОМФФ, снижением электростатических взаимодействий и склонности к агломерации.

Кроме того, доказано увеличение растворимости образцов ТДС в воде очищенной (рН 7,0) в 330 раз по сравнению с чистой АФС. Методом ИК-Фурье спектроскопии обнаружено исчезновение ряда характеристических полос диосмина в сайтах возникновения водородных связей с полярными группами полимера. Однако по результатам термических исследований методом дифференциально-сканирующей калориметрии наблюдалось несколько эффектов стеклования ТДС, что может быть связано с неполноценным растворением действующего вещества в матрице носителя.

Таким образом, определена перспектива дополнительной модификации состава путем введения пластификаторов, которые позволят обеспечить образование однородного состава, сохраняющего стабильность при хранении.





## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ТРАВЫ МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ КАК ИСТОЧНИКА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Епифанова А.И., Куркина А.В., Куркин В.А.**

ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Самара,  
a.i.epifanova@samsmu.ru

На сегодняшний день разработка лекарственных средств является краеугольным камнем современного здравоохранения, направленная на обеспечение здоровья и благополучия людей. Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.) за счет наличия богатого спектра биологически активных соединений представляет собой ценный источник для создания новых и эффективных лекарств [1, 2].

Обоснование методики анализа является неотъемлемой частью разработки состава, технологии получения лекарственного средства. Согласно Государственной фармакопее Российской Федерации XV издания [3] определения количественного содержания суммы фенольных соединений, в пересчете на розмариновую кислоту, в траве мелиссы лекарственной определяется методом спектрофотометрии.

В настоящей работе приведено технологическое обоснование создания экстракционного препарата на основе травы мелиссы лекарственной.

Объект исследования - трава культивируемой мелиссы лекарственной. Заготовка осуществлялась в с. Алексеевка Кинельского района Самарской области в июле 2024 года, в фазу цветения. Сырье собирали путем срезания секатором на высоте 10 см от поверхности почвы. Сушка проводилась в сушилке при температуре не выше 40 °С, без приточно-вытяжной вентиляции. Собранную траву раскладывали тонким слоем. Собранное и высушенное сырье хранилось в сухом, проветриваемом помещении в мешках.

С целью получения лекарственных средств с высоким выходом действующих веществ был использован метод модифицированной мацерации. Используя в качестве экстрагента – спирт этиловый в концентрации 40% и 70% были получены образцы настоек.

Полученные образцы экстракционных препаратов анализировали методом спектрофотометрии. Регистрацию УФ-спектров проводили с помощью спектрофотометра «Specord 40» (Analytik Jena).

Спектрофотометрическим методом было определено, что содержание суммы фенилпропаноидов (в пересчете на розмариновую кислоту) в образцах настоек на 40% и 70% этиловом спирте составило  $0,83 \pm 0,02$  и  $0,65 \pm 0,01$  % соответственно.

В ходе анализа было определено, что содержание суммы фенольных соединений, в пересчете на розмариновую кислоту, в настойке, полученной из травы мелиссы лекарственной с использованием 40% этилового спирта выше, чем в случае использования 70% этилового спирта.

Таким образом, в ходе проведенного исследования было проведено обоснование технологии и подходов к стандартизации экстракционных препаратов на основе травы мелиссы лекарственной.

Литература:

1. Куркин В.А., Мазур А.В., Алексеева А.В. Мелисса лекарственная: перспективы использования в педиатрии. Монография. - Самара: ООО «Офорт»; ГБОУ ВПО СамГМУ Минздрава России, 2010. – 121 с.
2. Куркин В.А. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических вузов (факультетов), 7-е изд. перераб. и доп. Самара: ООО «Полиграфическое объединение «Стандарт», ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 2025. – 1268 с.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронное издание]. Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15>.

## ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ РУТИНА И НЧ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)

**Казарян Ш.А., Рштуни Л.Р., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Бабаян А.В., Оганесян А.А.**  
ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет, Ереван, Армения,  
+37496260563, shushanik.kazaryan@rau.am

Цирроз печени (ЦП) является одной из ведущих причин смертности во всём мире и представляет серьёзную медицинскую и социально-экономическую проблему [1]. Целью настоящей работы было исследование совместного действия экстрактов лекарственных растений и наночастиц металлов, в частности Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, для профилактики и лечения развития цирроза печени на экспериментальной модели.

Проведён скрининг водных и водно-этанольных экстрактов растений, произрастающих в Армении, с определением содержания флавоноидов, антирадикальной и антибактериальной активности. Синтезированы биосовместимые наночастицы Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> сферической формы диаметром 4–24 нм. Оценка эффективности препаратов проводилась *in vitro* и *in vivo* на модели жировой дистрофии печени и цирроза у крыс Wistar, вызванной CCl<sub>4</sub>. Определялись биохимические маркеры (АЛТ, АСТ, ГГТ, ЩФ, липидный и белковый обмен), активность печёночной пероксидазы и морфологическое состояние тканей [2].

Установлено, что рутин является мажорным флавоноидом в исследованных растительных экстрактах. Экстракты *T. polium* и наночастицы Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> проявили выраженные антиоксидантные и гепатопротекторные свойства. Совместное их применение нормализовало ключевые биохимические показатели, препятствовало прогрессированию жировой дистрофии печени в цирроз и восстанавливало морфологическую структуру тканей. Наночастицы Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> продемонстрировали более выраженный гепатопротекторный эффект по сравнению с препаратом карсил.

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности сочетанного применения растительных экстрактов и наночастиц металлов для профилактики и терапии цирроза печени. Биосовместимые наночастицы Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> могут рассматриваться как перспективные агенты с потенциалом клинического применения.

### Литература

1. Kazaryan, Shushanik et al. "Oxidative stress and histopathological changes in several organs of mice injected with biogenic silver nanoparticles." *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology* vol. 50,1 (2022): 331-342. doi:10.1080/21691401.2022.2149931
2. Kazaryan, S. A.; Oganian, S. A.; Vardanyan, G. S.; Sidorenko, A. S.; Hovhannisyan, A. A. Beilstein J. Nanotechnol. 2024, 15, 1593–1602. doi:10.3762/bjnano.15.125

*Исследование проведено в рамках грантовых финансирования МОНКЦ РА (10-2/25-I/RAU-BIOL, 24FP-3B0, 25RG-1F151 и 10-2/25YR-2J030).*

## КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОФИЛЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БИОНЕФТИ

**Канатьева А.Ю., Кузнецов П.С., Борисов Р.С., Дементьев К.И.**

Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, Москва, kanatieva@ips.ac.ru

В последние десятилетия актуальным становится использование биомассы в качестве альтернативного источника энергии взамен ископаемому сырью для производства моторных топлив и других продуктов нефтехимии. Однако, развитие направлений, связанных с переработкой биомассы, невозможно без данных по изменению состава бионефти и продуктов ее стабилизации в процессе хранения при воздействии условий окружающей среды, так как агрессивное воздействие факторов окружающей среды может ускорять протекание процессов ухудшения показателей качества бионефти. Среди главных компонентов продуктов пиролиза биомассы находятся фенольные соединения.

В работе методами газовой хроматографии и газовой хроматографии – масс-спектрометрии исследованы два образца бионефти различного происхождения. В числе летучих соединений в составе бионефтей определен ряд фенольных соединений, таких как эвгенол, изоэвгенол, гваякол, креозол, ванилин, метилванилат, сириггол, различные изомеры триметоксибензола и триметокситолуола и др. Богатый ассортимент фенольных соединений в составе продуктов пиролиза биомассы позволяет предположить возможность их использования для мониторинга состояния бионефти при длительном открытом и закрытом хранении. В результате качественного с использованием масс-спектрального детектирования и количественного с использованием пламенно-ионизационного детектирования хроматографического исследования образцов в течение трех месяцев открытого и закрытого хранения были получены данные об изменении содержания фенольных соединений в составе двух образцов бионефтей, характеризующихся, вероятно, наличием нескольких зависимостей и большим количеством переменных, которые могут быть связаны между собой.

Полученный набор анализовали с помощью иерархического кластерного анализа с использованием корреляционной матрицы Пирсона, что позволило выделить нужное число кластеров (Рис. 1).

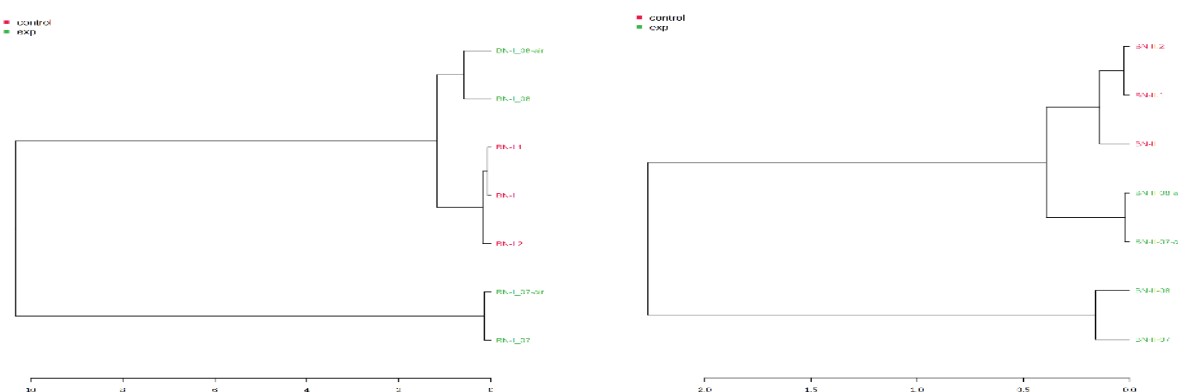


Рис. 1. Дендрограммы образцов бионефти I (слева) и бионефти II (справа).

Для бионефти I показано, что основной вклад в изменение характеристик образца вносит продолжительность экспонирования: образцы бионефти кластеризуются в группы по времени экспонирования, а не по условиям (закрытое или открытое хранение). В то же время для бионефти II наибольшие изменения состава связаны с типом экспонирования.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН*

## СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ХЛОРИНА $\text{He}_6$ И ТРИТОНА X-100 ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

**Клименко И.В.<sup>1</sup>, Лобанов А.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
+7(495)9397197, inna@deom.chph.ras.ru

<sup>2</sup> ФГБОУВО «Московский педагогический государственный университет», Институт  
биологии и химии, Москва, avlobanov@mail.ru

Разработка новых технологий и производство лекарственных препаратов из растительного сырья является актуальным направлением фармации. В таких областях биомедицины, как диагностика и лечение злокачественных новообразований, кожных, глазных заболеваний и других патологий перспективным является использование природных тетрапиррольных соединений в качестве фотосенсибилизаторов (ФС) в составе супрамолекулярных комплексов с прогнозируемой фотодинамической активностью.

Одним из перспективных ФС (веществ, способных к фотосенсибилизации биологических тканей) является хлорин  $\text{e}_6$  ( $\text{He}_6$ ), являющийся водорастворимым производным хлорофилла и получаемый при анаэробном щелочном гидролизе феофорбида *a*, полученного, в свою очередь, при обработке хлорофилла *a* концентрированными кислотами.  $\text{He}_6$  обладает избирательной способностью накапливаться в опухолях и активирует систему клеточного иммунитета, в том числе, клетки-киллеры, распознающие и уничтожающие раковые клетки.

Однако, как все тетрапиррольные соединения,  $\text{He}_6$  агрегирует в водных и физиологических растворах, что значительно снижает его фотодинамическую активность. С целью оптимизации фотофизических и фармакологических свойств  $\text{He}_6$ , а также создания новых лекарственных препаратов, применяемых при фотодинамической терапии (ФДТ) и диагностике, в данной работе получены новые супрамолекулярные системы на основе  $\text{He}_6$  (раствор в диметилформамиде (ДМФА),  $C_{\text{He}_6} = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л) и вспомогательного вещества – Тритона X-100 (ТХ,  $\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ ,  $n=9-10$ , алкилфенол гидроксиполиэтилен, раствор в воде  $C_{\text{ТХ}} = 2.5 \cdot 10^{-4}$  моль/л).

Выбор данного водорастворимого вспомогательного вещества объясняется его широким использованием при производстве фармакологических препаратов, например, при производстве препаратов для разрушения мембран эукариотических клеток и для инактивации вирусов с липидной оболочкой, а также в качестве ингредиента вакцин против гриппа и при производстве тест-систем для диагностики вирусных и бактериальных заболеваний человека и животных.

В работе определены спектрально-флуоресцентные характеристики полученного супрамолекулярного комплекса  $\text{He}_6$  – ТХ и изучено влияние вспомогательного вещества на спектральные свойства системы. Установлено, что спектральные изменения, связанные с батохромным смещением длинноволновой полосы поглощения ФС и одновременным увеличением интенсивности поглощения, свидетельствуют о дезагрегации молекул  $\text{He}_6$  в водном растворе, взаимодействии  $\text{He}_6$  с солюбилизатором – фенольным соединением, а также об образовании молекулярного комплекса типа «пигмент – солюбилизатор». Смещение спектра  $\text{He}_6$  в длинноволновую область повышает проницаемость тканей для видимого света и одновременно снижает поглощение света гемоглобином крови в области 500-600 нм, что играет существенную роль для повышения эффективности ФДТ. Обнаружено также, что добавление ТХ в водный раствор  $\text{He}_6$  приводит к увеличению интенсивности флуоресценции  $\text{He}_6$ , что является важным фактором при проведении ФДТ.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБХФ РАН (№125020401357-4)*



## ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ФЕНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПОРФИРИНА С ПРОИЗВОДНЫМИ В – ЦИКЛОДЕКСТРИНА

Нерсесян Э.С.<sup>1</sup>, Клименко И.В.<sup>1</sup>, Лобанов А.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, +7(495)939-71-97, inna@deom.chph.ras.ru

<sup>2</sup> ФГБОУВО «Московский педагогический государственный университет», Институт биологии и химии, +7(495)939-71-97, avlobanov@mail.ru

В супрамолекулярной химии одной из ключевых задач является направленное создание сложных молекулярных ансамблей с контролируемыми свойствами. В данной работе с целью разработки систем для таргетной доставки лекарственных препаратов проведено исследование возможности комплексообразования фенильных производных порфиринов — макроциклических соединений, которые благодаря своим уникальным электронным и фотофизическим характеристикам широко применяются в биохимии и материаловедении. Присутствие объёмных фенильных групп делает их идеальными «гостями» при формировании комплексов включения с молекулами-«хозяевами», такими как  $\beta$ -циклодекстрин ( $\beta$ -ЦД).

Предложен синтез и изучены фотохимические свойства комплексов включения на основе 5,10,15,20-тетрафенилпорфирина (ТФП) и  $\beta$ -ЦД. Фенильные заместители в структуре ТФП встраиваются в гидрофобную полость  $\beta$ -ЦД, образуя стабильный супрамолекулярный ансамбль. Связывание происходит за счет нековалентных взаимодействий, включая силы Ван-дер-Ваальса и гидрофобный эффект.

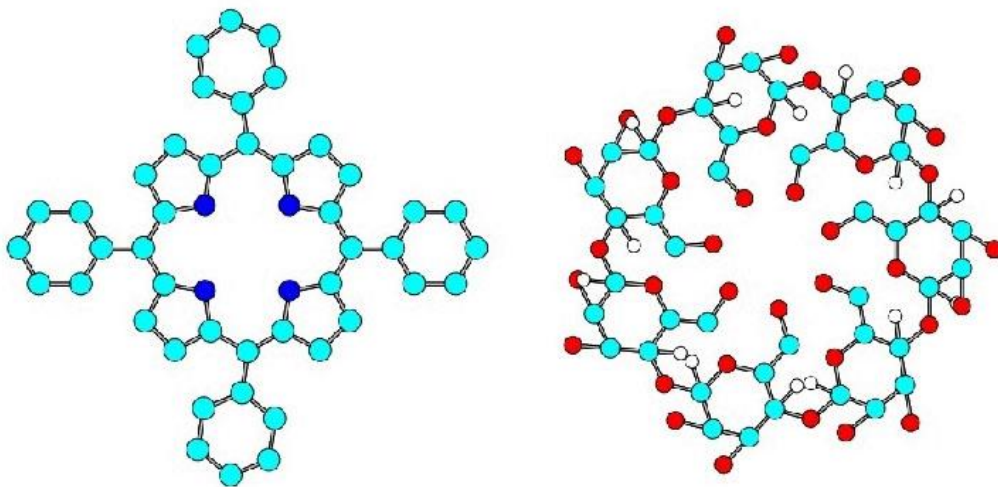


Рисунок 1. Структуры ТФП и  $\beta$  - ЦД.

Образование комплексов подтверждено методами спектрофотометрии, спектрофлуориметрии и ЯМР. На основании полученных данных рассчитаны константы связывания, свидетельствующие о формировании стабильного супрамолекулярного комплекса.

Исследования показали, что наличие фенильных групп в структуре ТФП не только обеспечивает формирование комплекса, но и значительно изменяет фотофизические свойства ТФП, что открывает новые возможности для его применения, например, в качестве хемосенсоров, противораковых препаратов и таргетных антидотов. Таким образом, фенильные производные порфиринов представляют собой перспективный класс соединений при создании новых супрамолекулярных систем, где свойства могут быть точно настроены путем изменения заместителей.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБХФ РАН (№125020401357-4).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ БИОСЕНСОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛА

**Кувичкина Т.Н., Решетилов А.Н.**

ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,  
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, г. Пушкино  
Московской обл., +79856632546 kuv@pbcras.ru

Свойство микроорганизмов окислять низкомолекулярные органические субстраты, растворимые в воде с потреблением молекулярного кислорода, может быть использовано в аналитических целях и реализовано в работе амперометрического биосенсора.

Фенол используется при синтезе фенолформальдегидных смол, хлорированных и алкилированных фенолов, может содержаться в промышленных стоках и поступать с ними в природные водоемы. Это токсичное соединение; его ПДК в водных средах 0,001 мг/л ( $1 \times 10^{-2}$  мкМ). В связи с этим контроль за поступлением фенола и его аналогов в водные экосистемы является актуальной задачей.

Наиболее вероятно обнаружение фенолдеградирующих штаммов в местах промышленной деятельности человека, в районах интенсивной добычи и переработки нефти. Использование микроорганизмов, выделенных с мест загрязнения, обеспечит очистку среды без внесения в нее других химических соединений и чужеродной биоты. Это обуславливает необходимость поиска микроорганизмов, обладающих фенолдеградирующими свойствами. Такой подход был использован нами при поиске фенолдеградирующих микроорганизмов как из почв месторождений Западной Сибири, Ямало-Ненецкий национальный округ [1], так и из почвы промзоны г. Самара и высушенного активного ила очистных сооружений предприятия «Нижекамскнефтехим» г. Нижнекамск [2].

Из 300 типов выделенных бактерий, способных к разложению мазута, были отобраны 28 штаммов, использовавших фенол в качестве единственного источника углерода и энергии при росте. Из 28 штаммов 10, характеризующихся наибольшей скоростью роста, были отобраны для эксперимента. Эти штаммы были использованы в качестве основы биорецептора амперометрического биосенсора. Для наиболее активного штамма 32-1 обнаружено наличие плазмиды деградации фенола. Показано, что предел определения для фенола составлял 5 мкМ. Оптимальными условиями функционирования биосенсора являлись pH 7,4, температура 35° С, время жизни 30 час.

Из почвы промышленной зоны г. Самара был выделен штамм Zima. Этот штамм охарактеризован как грамположительный штамм-деструктор фенола. Микроскопия штамма Zima показала, что он представляет собой палочковидные клетки диаметром от 2,5 до 4,0 мкм. Видовую принадлежность штамма определяли по результатам исследования основных морфологических признаков, а также изучения их филогенетического положения согласно особенности строения последовательности гена 16S рРНК. Филогенетически штамм Zima имеет наибольшее сходство с представителями рода *Pseudomonas*, а именно 99,9% с *Pseudomonas monteilii*. Оптимальными условиями функционирования биосенсора на основе иммобилизованных клеток *P. monteilii* являлись pH 7,5, долговременная стабильность биорецептора при хранении электрода в условиях низких температур составляла 9 суток. Штамм перспективен для создания биофильтров и биосенсоров для разложения и определения фенола.

Литература:

1. Макаренко А.А., Безвербная И.И., Кошелева И.А., Кувичкина Т.Н., Решетилов А.Н. Бактерии из почв месторождений Западной Сибири // Прикл. Биохим. Микробиол. 2002. Т. 38. №1. С. 29-34.
2. Кувичкина Т.Н., Носулич В.Е., Капаруллини Е.Н., Доронина Н.В., Макаренко А.А., Решетилов А.Н. Окисление фенола иммобилизованными клетками *Pseudomonas monteilii* Zima // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2020. Вып. 2. С. 44-55.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРАВЫ ХРИЗАНТЕМЫ УВЕНЧАННОЙ

**Магомедова Л.И., Сайбель О.Л.**

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, +7(495)388-45-66, e.liaa@bk.ru

Исследование новых видов лекарственного растительного сырья и разработка на их основе лечебных и профилактических средств остается в настоящее время одним из приоритетных векторов фармацевтической науки.

В данном направлении перспективным объектом изучения представляется однолетнее травянистое растение хризантема увенчанная (златоцвет увенчаный) – *Chrysanthemum coronarium* L. (*Glebionis coronaria* L. Cass. ex Spach.). Его трава используется в пищу, вместе с тем, имеет потенциал для исследования в качестве лекарственного растительного сырья.

Согласно результатам ранее проведенных нами исследований одной из основных групп биологически активных веществ травы хризантемы увенчанной являются фенольные соединения, их содержание в пересчете на хлорогеновую кислоту составляет от 1,55 до 6,57% в зависимости от места произрастания растения.

Целью настоящей работы явилось изучение качественного состава фенольных соединений данного сырья.

Объектом исследования служила высушенная трава хризантемы увенчанной сорта «Мираж», заготовленная в Ботаническом саду в 2024 году. Для анализа сырье измельчали, экстрагировали спиртом этиловым 50 %, затем концентрировали до водного остатка и последовательно обрабатывали этилацетатом (ЭА) и *n*-бутанолом (БУ). Извлечения концентрировали, получая соответственно ЭА- и БУ-фракции, которые исследовали методом ВЭЖХ-МС на хроматографе LCMC-8040 (Shimadzu, Япония).

Идентификацию фенольных соединений проводили по фрагментам ионного распада, максимумам поглощения УФ-спектров и их сопоставлением с данными литературы, а также с аналогичными характеристиками стандартных образцов.

При сравнении хроматографических профилей двух фракций было отмечено, что БУ-фракция отличается более представительным составом. В ходе дальнейших исследований в составе двух фракций определены кофеилхинные кислоты, флавоноиды, амидные производные кофейной кислоты и органические кислоты.

Среди кофеилхинных кислот идентифицированы хлорогеновая кислота и её изомеры, дикофеилхинная кислота и её изомер, сукцинил-дикофеилхинная кислота и её изомер, дисукцинил-дикофеилхинная кислота. На хроматограмме пики данных соединений преобладали по интенсивности над другими, что позволило предположить их доминирование в фенольном комплексе травы хризантемы увенчанной.

Флавоноиды в исследуемом сырье представлены лютеолином, лютеолин-7-глюкозидом, лютеолин-глюкуронидом, лютеолин-малонилглюкуронидом. Наряду с этим, идентифицирован рутин и кверцетин-глюкорамнозид.

В БУ-фракции установлено присутствие амидных производных кофейной кислоты, таких как кофеил-лейцин, кофеил-фенилаланин и их изомеры, в ЭА-фракции – органических кислот: хинной и малоновой.

Согласно данным литературы, идентифицированные вещества обладают широким спектром биологической активности, что определяет перспективу дальнейшего изучения травы хризантемы увенчанной в качестве лекарственного растительного сырья.

## **БЕЗЗАТРАВОЧНЫЙ СИНТЕЗ ЗОЛОТЫХ НАНОСТЕРЖНЕЙ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ ПАВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОФОБНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ КУРКУМИНА И КВЕРЦЕТИНА**

**Мацур В.А., Зиновьев Т.В.\*, Дементьева О.В.**

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва,  
dema\_ol@mail.ru

\*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

Золотые наностержни (ЗНСт) с настраиваемым положением локализованного поверхностного плазмонного резонанса представляют собой один из ключевых объектов современной наноплазмоники [1]. Их синтез традиционно проводят в достаточно концентрированных (100 мМ) мицеллярных растворах бромида цетилтриметиламмония (ЦТАБ), выполняющего функцию мягкого темплата, однако необходимость использования высоких концентраций этого токсичного ПАВ ограничивает биомедицинские приложения ЗНСт.

В настоящей работе исследовано влияние гидрофобных полифенолов – куркумина и кверцетина – на формирование ЗНСт в разбавленных растворах ЦТАБ. Показано, что оба соединения эффективно солюбилизируются в мицеллах [2-3], способствуя изменению формы мицелл со сферической на стержневидную. Это обеспечивает анизотропный рост наночастиц даже при десятикратном снижении концентрации ПАВ.

Установлено, что полифенолы выполняют двойную функцию: в зависимости от концентрации и локализации в мицеллах они могут служить как гидрофобными добавками, влияющими на форму мицелл, так и восстановителями ионов золота. Для куркумина определен диапазон концентраций, при котором реализуется переход между этими функциями. Показано также влияние концентрации ЦТАБ на восстановительные свойства куркумина. Аналогичные закономерности выявлены и для кверцетина, однако его действие характеризуется более ярко выраженной восстановительной способностью по отношению к ионам  $\text{Au}^{+3}$ , и как следствие, более высокой скоростью формирования ЗНСт.

Присутствие полифенолов позволяет получать ЗНСт с узким распределением по размерам и выраженным продольным плазмонным резонансом в видимой и ближней ИК-области. При этом содержание ЦТАБ на поверхности частиц существенно ниже, чем в классических протоколах синтеза, что открывает перспективы их использования в биомедицине.

Литература

1. Zheng J., Cheng X., Zhang H., Bai X., Ai R., Shao L., Wang J. *Chem. Rev.* 2021. 121. 342–13453.
2. Leung M.H.M., Colangelo H., Kee T.W. *Langmuir*. 2008. 24. 5672–5675.
3. Наумова К.А., Дементьева О.В., Зайцева А.В., Рудой В.М. // *Коллоид. журн.* 2019. 81. 478–486.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И СЕЛЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ КРАПИВЫ, И ИХ РОЛЬ В ИЗМЕНЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА**

**Носов И.О., Рожицын С.И., Антропова И.Г.**

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, 89096987168, donetzkyi@yandex.ru

Использование растительных компонентов в синтезе наночастиц последнее время активно исследуется. Это «зеленый» синтез наночастиц под действием дневного рассеянного света. Интерес вызывают наночастицы серебра и селена, благодаря своим свойствам они способны взаимодействовать с биологическими системами, оказывая антиоксидантное и защитное действие. Наночастицы селена (НЧ-Se) представляют собой форму химического элемента, обладающую высокой активностью и биосовместимостью. Это делает их перспективными для применения в медицине, например, для защиты клеток от окислительного стресса и радиационного повреждения.

Целью исследования является получение наночастиц селена и серебра с помощью экстрактов крапивы и оценка их дальнейшего влияния на изменение концентрации пероксида водорода, образованного после ионизирующего излучения. Для определения концентрации пероксида водорода использовался метод спектрофотометрии при аналитической длине волны 350 нм по методике [1]. Сырьем для получения наночастиц служил селенит натрия  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  и нитрат серебра  $\text{AgNO}_3$ , водные экстракты крапивы 1:50. В работе также оценивали влияние концентрации селенита натрия (от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  М) на образование пероксида водорода при действии ионизирующего излучения (на рентгеновском аппарате при мощности поглощенной дозы 3 Гр/с, интервал поглощенных доз до 1,1 кГр).

Анализ спектров оптического поглощения водных растворов с экстрактом крапивы и добавлением  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  различной концентрации указывает на изменение оптических свойств системы, связанное с формированием наночастиц селена. В данных образцах наблюдается снижение интенсивности пика в области 300 нм по сравнению с контролем, что может свидетельствовать о взаимодействии селенита с компонентами растительного экстракта и образовании наноструктур, способных поглощать и рассеивать УФ-излучение, так как в области 250–350 нм обычно фиксируются плазмонные и переходные поглощения НЧ-Se. Дополнительно, появление слабого, но стабильного поглощения в области около 500 нм, отсутствующего в контрольном образце, указывает на присутствие коллоидных наночастиц селена, обладающих характерным спектром в видимом диапазоне. При действии ионизирующего излучения на биологические системы основную роль играет радиоллиз воды, так как вода составляет до 80% клеточной массы. Селен в форме наночастиц способен вступать во взаимодействие с радиолитическими продуктами, действуя как ловушка радикалов, особенно гидроксильных, тем самым уменьшая концентрацию пероксида водорода.

Показано формирование НЧ-Ag, полученных из экстрактов крапивы при использовании дневного рассеянного света (раствор красного цвета): рост оптической плотности в области поверхностного плазмонного резонанса ( $\approx 420\text{--}460$  нм) подтверждает активное восстановление  $\text{Ag}^+$  до  $\text{Ag}^0$ . Установлено, что НЧ-Ag могут оказывать прооксидантное действие. Вероятно, что наносеребро способно катализировать образование активных форм кислорода, усиливая прооксидантный эффект.

Применение водных экстрактов из крапивы для «зеленого» синтеза наночастиц позволяет получать НЧ-Ag и НЧ-Se с регулируемыми свойствами, однако отмечено их разное влияние на подавление концентрации  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Это следует учитывать в дальнейших исследованиях.

Литература:

Фенин А. А. Практикум по радиационной химии: учеб. пособие / А. А. Фенин, И. Г. Антропова, С. В. Горностаева. — Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. — 64 с.



## ВКЛАД ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗЕЛЕНый СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА

Оганян К.В., Адамян Н., Казарян Ш.А., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Оганесян А.А.  
ГОО ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет, Ереван, Армения,  
+37496260563, shushanik.kazaryan@rau.am

Развитие нанотехнологий в биомедицине неразрывно связано с поиском экологически безопасных методов получения наночастиц (НЧ). Важную роль в этом процессе играют фенольные соединения, входящие в состав растительных экстрактов и выполняющих функции как восстановителей, так и стабилизаторов [1].

В работе представлены результаты разработки методики зеленого/биогенного синтеза НЧ железа с помощью экстрактов *Ocimum araratum* и исследования их противоопухолевого потенциала. НЧ железа были синтезированы методом копреципитации добавлением 0,1М FeSO<sub>4</sub> в различных соотношениях к водному, 50% и 96% этанольным экстрактам *O. araratum*; размерность полученных НЧ определялась на BeNano 90 (Zeta, China), противоопухолевая активность - на клеточной линии карциномы легких человека A549 (ATCC CRM-CCL-185).

В результате биогенного синтеза НЧ железа при рН экстрактов 7,0 образовались частицы типа ядро-оболочка размерностью от 525.74±8.03 нм до макрочастиц размерностью 12023.775±1391.56 нм. Исследования противоопухолевой активности показало наличие у некоторых образцов, синтезированных с помощью водных и этанольных экстрактов, незначительных цитотоксических свойств, максимально доходящих до 39±2%, и полное отсутствие таковых у образцов, синтезированных с помощью 50% этанольного экстракта.

Такая разница в проявляемых свойствах может свидетельствовать о возможном различии физико-химических и морфологических характеристик структур (форма, размер без гидратационной оболочки, состав оболочки структур) образуемых при различных условиях биогенного синтеза. Одними из таких компонентов могут быть такие фенолы, как розмариновая кислота, хикоревая кислота, кверцетин, лутеолин, силибинин, крайсериол детектированные в составе *Ocimum araratum*. Однако низкая цитотоксичность делает их потенциальными объектами для исследований и потенциальных разработок.

Литература:

Kazaryan, S. A.; Oganian, S. A.; Vardanyan, G. S.; Sidorenko, A. S.; Hovhannisyan, A. A. Beilstein J. Nanotechnol. 2024, 15, 1593–1602. doi:10.3762/bjnano.15.125

Исследование проведено в рамках грантовых финансирования МОНКЦ РА (10-2/25-I/RAU-BIOL, 24FP-3B0, 25RG-1F151 и 10-2/25YR-2J030).

## **ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ *OSIMUM ARARATUM* ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АНТИМИКРОБНЫХ НАНОФАРМТЕХНОЛОГИЙ**

**Оганян С.А., Казарян Ш.А., Рштуни Л.Р., Тумоян Дж.Г., Бабаян А.В., Оганесян А.А.**  
ГОУ ВПО Российско-Армянский Университет, г. Ереван, Армения, +37498899845,  
ohanyan.seda@rau.am

Лекарственные растения на протяжении длительного времени используются в медицине как источник фармакологически активных соединений, включая вещества с выраженной антимикробной активностью. На фоне роста устойчивости патогенов к антибиотикам возрастает интерес к природным альтернативам, особенно к фенольным соединениям – распространённым вторичным метаболитам с выраженной антиоксидантной и антимикробной активностью [1]. Растительные полифенолы рассматриваются как перспективные кандидаты для разработки новых средств против инфекций и антибиотикорезистентности. В связи с чем целью данного исследования являлось изучение состава и биологической активности фенольных соединений экстрактов *Ocimum araratum*, их потенциал в биосинтезе наночастиц серебра (AgNPs), а также исследовать антибактериальные свойства полученных наночастиц и их комплексов с антибиотиками в отношении чувствительных и резистентных штаммов *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

Результаты исследования показали, что наибольшее содержание фенольных соединений и антирадикальная активность выявлены в 50% этанольном экстракте *O. araratum*, где идентифицирована розмариновая кислота (5,43 мкг/мл) [2]. Экстракт обеспечивал эффективное восстановление и стабилизацию AgNPs. Полученные наночастицы демонстрируют выраженную антибактериальную активность, включая действие против резистентных штаммов. При этом действие наночастиц в комплексе с фенольными компонентами частично снижалось вследствие их антиоксидантного потенциала. Однако комплексообразование наночастиц с антибиотиками приводит к значительному усилению антимикробной активности за счёт синергетического взаимодействия.

Таким образом, фенольные соединения *Ocimum araratum* являются перспективной платформой для «зелёного» синтеза серебряных наночастиц, обладающих антибактериальной активностью против грамотрицательных и грамположительных бактерий, включая резистентные штаммы. Совмещение AgNPs с антибиотиками усиливает их терапевтический потенциал и открывает новые возможности для разработки эффективных нанофармтехнологий, направленных на преодоление антибиотикорезистентности.

Литература:

1. Great Iruoghene Edo, et al., 2025, <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.09.008>
2. Kazaryan Sh., et al., 2020, doi:10.1007/978-3-030-31866-6\_27

*Исследование проведено в рамках грантовых финансированияй МОНКЦ РА (10-2/25-I/RAU-BIOL, 24FP-3B0, 25RG-1F151 и 10-2/25YR-2J030).*

## ПОЛИФЕНОЛЫ РОДА *SPIRAEAE* КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФИТОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ АГЕНТЫ

**Орлова А.А.<sup>1</sup>, Соболева А.В.<sup>1</sup>, Цветкова Е.В.<sup>2,3</sup>, Силинская С.А.<sup>1</sup>, Есаулкова Я.Л.<sup>4</sup>,  
Веклих Т.Н.<sup>5</sup>, Зарубаев В.В.<sup>4</sup>, Акбердин И.Р.<sup>6</sup>, Колмыков С.К.<sup>6</sup>, Костикова В.А.<sup>7</sup>,  
Фролов А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, orlova@ifr.moscow, +79118299027

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,

<sup>3</sup>ФГБНУ Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург,

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера,

<sup>5</sup>Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН, Благовещенск,

<sup>6</sup>АНОО ВО «Университет «Сириус», федеральная территория «Сириус»,

<sup>7</sup>ФГБНУ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

Полифенольные соединения — это группа природных соединений, повсеместно распространённых в растительном мире. Структурной особенностью полифенольных соединений является наличие нескольких фенольных групп в составе молекулы. Эти природные соединения обладают выраженной биологической активностью различного характера. В частности, помимо высокого антиоксидантного потенциала, их характеризует наличие противовоспалительной, антивирусной, антимикробной, кардио- и нейропротекторной активности. На сегодняшний день, полифенольные соединения рассматриваются как ценный источник новых фармацевтических субстанций благодаря их многофункциональности и относительно невысокой встречаемости побочных эффектов. Несмотря на имеющийся пул накопленных знаний, активные исследования в данной области на сегодняшний день продолжаются, и в ближайшем будущем можно ожидать появление новых лекарств, основанных на биологически активных полифенолах.

Растения рода спирея (*Spiraea*) имеют долгую историю успешного применения в традиционной медицине в качестве противовоспалительного, обезболивающего средства, в терапии желудочно-кишечных заболеваний, ревматизма, гельминтозов, гинекологических заболеваний и диабета. Однако, несмотря на значимую ресурсную базу, в Российской Федерации данные виды используются только в декоративных целях для озеленения городов и населенных пунктов, как кормовые, а также как медоносные и почвоукрепительные растения. Поэтому, целью нашей работы являлась оценка фитофармацевтического потенциала различных видов растений данного рода.

Для этого, была проведена комплексная оценка потенциала 15 представителей рода, распространенных на территории Российской Федерации, которая включала анализ качественного и количественного состава мажорных метаболитов метанольных экстрактов побегов первого года, оценка антиоксидантной, противомикробной, противовирусной активности исследуемых экстрактов. На основе информации о составе экстрактов и их биологической активности, с помощью методов биоинформатики был оценен вклад отдельных метаболитов в проявление специфических видов биологической активности и характера их взаимосвязи. На основании проведенных исследований были выявлены виды рода *Spiraea*, которые могут рассматриваться как перспективные источники биологически активных полифенолов — потенциальных компонентов нутрицевтических и фармацевтических препаратов. На дальнейших этапах исследования планируется детальный фитохимический анализ этих видов с целью детальной характеристики их структуры и биологической активности.

*Работа выполнена поддержке гранта Российского научного фонда №23-24-00310.*

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ПИЩЕВЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ ПОЛИФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ С ГИПОЛИПИДЕМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ: ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Петров Н.А., Сидорова Ю.С.**  
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Одним из способов борьбы с ожирением и его осложнениями является изменение пищевых привычек, адекватное питание, применение специализированных пищевых продуктов, обогащенных биологически активными веществами, а также увеличение физической активности. Для объективной оценки с позиций доказательной медицины эффективности функциональных продуктов, обогащенных биологически активными веществами пищи, важную роль играют результаты доклинических исследований *in vivo* на моделях экспериментальных животных. Целью нашего исследования явилась комплексная сравнительная оценка влияния потребления экстракта из зерен амаранта, содержащего сапонины и полифенолы, в составе стандартного рациона на половозрелых крыс-самцов линии Вистар с гиперхолестеринемией.

Эксперимент проведен в течение 65 суток на 48 растущих крысах-самцах Вистар с исходной массой тела  $250 \pm 5$  г. Животные всех групп на протяжении всего эксперимента получали стандартный полусинтетический рацион и питьевую воду *ad libitum*. В рацион животных групп Г2 и Г3 дополнительно вносили холестерин, в количестве 2 г/100 г. В рацион животных группы Г3 вносили экстракт из зерна амаранта 1% в рационе. По окончании эксперимента методом конкурентного иммуноферментного анализа (ИФА) в сыворотке крови крыс определяли содержание грелина, лептина, гидроперекисей липидов (Fine test, США), глутатион пероксидазы (Elabscience, США) и каталазы (Cloud-Clone, США) по инструкции производителей. Проводили общий биохимический анализ крови, а также определяли содержание триглицеридов и холестерина в жире, экстрагированном из печени, на автоматическом биохимическом анализаторе «Konelab 20i» (ThermoScientific, США). С использованием ветеринарного гемоанализатора Exigo H400 (Boule, Швеция) проводили общий гематологический анализ образцов отобранной крови.

Использованный нами протокол по введению 2% холестерина показал достоверное увеличение показателей, характеризующих изменения состояния печени: увеличение массы печени, накопление жира, триглицеридов и холестерина в печени. Введение 2% холестерина также приводило к достоверному росту показателя АЛТ. Введение в рацион животных экстракта амаранта на фоне 2% холестерина приводило к достоверному более чем на 20% снижению холестерина и триглицеридов в печени, а также АЛТ в крови животных, по сравнению с животными, получавшими только 2% холестерина. Потребление животными нормального рациона с добавлением 2% холестерина приводило к статистически значимому накоплению гидроперекисей липидов в сыворотке крови животных. Введение в рацион экстракта амаранта приводило к снижению этого показателя до уровня контрольных животных. Полученные данные по увеличению концентрации каталазы в крови животных, получавших экстракт, отражают мобилизацию звена антиоксидантной защиты в ответ на развитие оксидативного стресса в организме, отраженного накоплением гидроперекисей липидов. Особенностью исследования являлось использование модели гиперхолестеринемии в сравнении и в сочетании с введением в рацион животных разработанного функционального пищевого ингредиента на основе зерна амаранта. Нами было выявлено, что введение в рацион животных экстракта амаранта, оказывало благоприятные эффекты на липидный обмен сыворотки крови, снижало содержание холестерина и триглицеридов в печени животных, оказывало антиоксидантную защиту, что подтверждает перспективы его включения в составы специализированной пищевой продукции для использования в комплексной терапии пациентов с нарушениями жирового обмена.

## **МЕЛАНИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА И КОНОПЛИ: ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ, ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**Прутенская Е.А., Ущাপовский В.И.\***

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», prutenskaya@mail.ru

\*ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур

Меланиновые вещества - полифенольные соединения, которые обладают разнообразными биологическими и функциональными свойствами: фотозащитными и т.д. В последнее время интерес к меланинам возрос в связи с активным изучением их свойств и перспективным применением во многих областях народного хозяйства. Во многом биологическая активность меланиновых веществ зависит от вида продуцента и химического состава меланинового комплекса. Например, меланиновые вещества чаги, содержащие в своем составе фосфолипиды, обладают противовирусной активностью в отношении вируса гриппа, герпеса. Меланины лузги подсолнечника используются как антиоксиданты. При этом наиболее распространенными продуцентами в технологиях получения меланинов являются грибы, микроорганизмы, а также растения.

Химический состав и свойства меланиновых веществ зависят не только от происхождения, но и от способа извлечения. Из-за большого разнообразия путей биосинтеза, точная структура и функции многих меланинов до сих пор не выяснены и приведенные в литературе данные об их физико-химических свойствах, в основном, относятся к меланинам растворимых в водных растворах щелочи. Трудности получения меланинов из биологических материалов и изучения их состава связаны с тем, что все меланиновые пигменты являются аморфными веществами.

В качестве объектов исследования были выбраны фитомеланины, полученные из лузги подсолнечника и конопли. Для выделения меланиновых веществ использовали способность меланинов растворяться в щелочной среде и осаждаться при изменении pH близкой к 2. Затем проводились физико-химические методы анализа для определения сопутствующих веществ, выделенных вместе с меланиновыми веществами. ИК-и УФ-спектроскопия показали наличие белковых веществ в выделенных веществах. Методом РФЭС также был обнаружен азот, что свидетельствует о том, что меланиновые вещества были выделены с примесью белковых веществ.

Для очистки меланиновых веществ можно использовать различные методы: переосаждение, ионообменную хроматографию и др. В качестве альтернативы методам очистки нами была выбрана ультразвуковая экстракция. Под действием ультразвука происходит уменьшение размера молекулы полимерных веществ. При этом на размер частиц и выход меланиновых веществ влияло время, температура процесса экстракции. Время воздействия ультразвука имело заметное влияние на выход меланина: с увеличением времени экстракции выход меланина также увеличивался с 3,4% до 8,8%. Однако, при воздействии ультразвуком более 6 минут экстракт закипал, поэтому необходимо осуществлять процесс при охлаждении, чтобы не происходили нежелательные реакции. При этом размер меланиновых веществ лузги подсолнечника уменьшался в зависимости от условий ультразвуковой обработки.

Подобранные условия ультразвуковой экстракции позволяют получить меланины с наибольшим выходом из лузги подсолнечника и конопли с меньшим содержанием сопутствующих веществ.



## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ФЕЛЛАМУРИНА В КИСЛОЙ СРЕДЕ

Радимич А.И., Адамов Г.В., Гуленков А.С., Сайбель О.Л.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, +7(495)388-45-66, saybel@mail.ru

Флавоноидный гликозид фелламурин является одним из доминирующих метаболитов листьев бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr). В 1980-х годах в ВИЛАР на основе данного соединения был разработан оригинальный лекарственных препарат «Флакозид», предназначенный для применения в качестве противовирусного и антигепатотоксического средства.

В рамках совершенствования методик контроля качества и актуализации нормативной документации на таблетки «Флакозид», нами проводились исследования по подбору оптимальной среды для разработки теста «Растворение» в соответствии с ГФ РФ ОФС.1.4.2.0014 «Растворение для твёрдых дозированных лекарственных форм». Аналитический контроль высвобождения вели методом ВЭЖХ-УФ.

В ходе работы были апробированы различные среды: воды очищенная, фосфатный буфер с pH = 7,5, а также 0,1 М раствор соляной кислоты с добавлением неионогенного ПАВ и без него. В результате удалось достичь максимального высвобождения 41,46 % через 45 минут, что является неудовлетворительным и эти исследования будут продолжены.

Однако, при проведении данных исследований было отмечено, что в средах, содержащих соляную кислоту, на ВЭЖХ-хроматограмме появляется второй пик неизвестного вещества, интенсивность которого возрастает со временем, при этом интенсивность пика фелламурина пропорционально снижается. В связи с этим, было предположено, что происходит разрушение основного вещества с образованием его производного.

Для выяснения структуры образующегося соединения, оно было сконцентрировано, препаративно выделено в индивидуальном состоянии и исследовано методом  $^1\text{H}$ -ЯМР-спектроскопии (500 МГц, ДМСО). В результате было установлено, что оно представляет собой продукт гидратации фелламурина по двойной связи изопренильного фрагмента: 7-О-глюкозид-3,5-дигидрокси-8-(3-гидрокси-3-метилбутил)-2-(4-гидроксифенил)-2,3-дигидро-4Н-хромен-4-он согласно правилу Марковникова (ОН к углероду 3'', Н к углероду 2''').

Отнесение сигналов, количество протонных единиц, химические сдвиги, мультиплетность, константы взаимодействия продукта гидратации фелламурина имеют следующие значения: Н-2', Н-6' (2Н; 7,33 м.д.; дублет; 8,6 Гц), Н-3', Н-5' (2Н; 6,79; д; 8,6 Гц), Н-6 (Н; 6,30; с;), Н-2 (1Н; 5,08; д; 10,0), Н-1'' (1Н; 4,91; д; 7,0), Н-3 (1Н; 4,54; д; 10,0), Н-1'' (1Н; 4,91; д; 7,0), Н-3(1Н; 4,54; д; 10,0), Н-6''b (1Н; 3,71; к; 11,6; 1,5), Н-6''a (1Н; 3,47; к; 11,6; 5,8), Н-1''' (1Н; 2,44; td; 12,2; 4,9), Н-2''b (1Н; 1,50; td; 12,2; 4,9), Н-2''a (1Н; 1,40; td; 12,2; 4,9), СН3b (3Н; 1,05; с), СН3a (3Н; 1,03; с), 5-ОН (1Н; 11,83; с), 4'-ОН (1Н; 9,53; с).

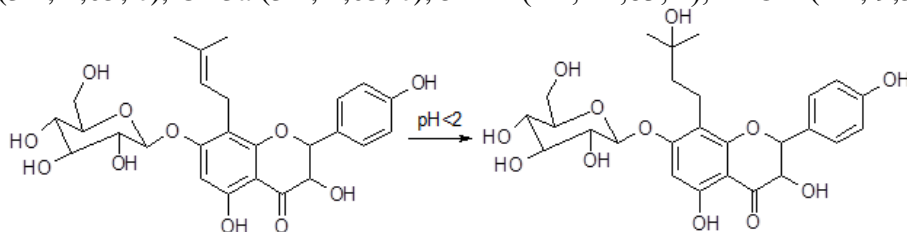


Рисунок – Изменение структуры фелламурина в кислой среде

В связи с этим, можно предположить, что при пероральном приеме таблетки «Флакозид» происходит аналогичное превращение активного вещества, которое, вероятно, является частью его метаболизма в организме человека. Полученные результаты открывают перспективу дальнейших исследований по изучению фармакокинетики и фармакодинамики препарата «Флакозид».

## ВЫДЕЛЕНИЕ СОФОРАФЛАВОНОЛОЗИДА ИЗ ПЛОДОВ СОФОРЫ ЯПОНСКОЙ

Сайбель О.Л., Радимич А.И.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, 8(495)388-45-66, saybel@mail.ru

Фенольные соединения являются одной из наиболее распространенных групп вторичных метаболитов растений, представители которой способны проявлять широкий спектр биологической активности при минимальном токсическом воздействии на организм человек. В связи с этим, они служат объектами многочисленных научных исследований, направленных на поиск и разработку новых лекарственных и профилактических средств.

Перспективным источником получения фенольных соединений могут служить плоды листопадного дерева семейства Бобовые (Fabaceae) софоры японской (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott.) [1].

В результате проведенных нами фитохимических исследований методом ВЭЖХ-МС в составе данного сырья подтверждено наличие генистеина, кемпферола, кверцетина и их гликозидов, доминирующими среди которых являются софорикозид (генистеин-4'-гликозид) и софорафлавонолозид (кемпферол-3-диглюкозид). Структура софорикозида была подтверждена в наших предыдущих работах [2].

Целью настоящего исследования явилось выделение и идентификация софорафлавонолозида.

Для этого измельченные плоды софоры японской исчерпывающе экстрагировали спиртом этиловым 70 %, затем концентрировали до водного остатка, который затем последовательно обрабатывали н-бутанолом. Бутанольные фракции объединяли, упаривали и хроматографировали на колонке с полиамидом. В качестве элюента использовали смесь вода-метанол с увеличением градиента последнего. Полученные в результате разделения фракции, обогащенные софорафлавонолозидом, объединяли, упаривали и рехроматографировали на колонке с силикагелем, используя элюент этилацетат-метанол с увеличением градиента последнего. Затем фракции, содержащие целевое вещество и не содержащие примесей, объединяли и упаривали до сухого остатка. Кристаллизацию софорафлавонолозида проводили из водного этанола.

Чистота полученного вещества по ВЭЖХ составила 99,14 %.

<sup>1</sup>H-ЯМР-спектр софорафлавонолозида (500 МГц, Д-метанол) имеет следующие значения количества протонных единиц, мультиплетности, химических сдвигов, констант взаимодействия: Н-2' (2H; 8,06 м.д., дублет; 8,9 Гц), Н-3' (2H; 6,93; д; 8,9), Н-6 (1H; 6,42; 2,1), Н-8 (1H; 6,22; д; 2,1), Н-1'' (1H; 5,46; д; 7,6), Н-1''' (1H; 7,51; д; 7,5), Н-2'' (1H; 3,76; к; 9,0; 7,6), Н-3'' (1H; 3,62; т; 9,0), что подтверждает его структуру.

УФ-спектр софорафлавонолозида (70 % спирт) имеет максимумы поглощения при 266 и 351 нм, что также соответствует данному веществу.

Полученный софорафлавонолозид будет использован в качестве стандартного образца в методиках контроля качества плодов софоры японской, а также полученного сухого очищенного экстракта из данного сырья.

### Литература

1. Simultaneous quantification of six major flavonoids from fructus sophorae by LC-ESI-MS/MS and statistical analysis / L. Chang, X. X. Zhang, Y.P. Ren, [et al.] // Indian J Pharm Sci. 2013. Vol. 75 № 3. P. 330-338. <https://doi.org/10.4103/0250-474x.117437>
2. Сайбель О.Л. Софора японская – перспективный источник получения субстанции изофлавоновой природы / О.Л.Сайбель, А.И.Радимич, В.И. Шейченко // Сборник тезисов докладов пятой междисциплинарной конференции «Молекулярные и биологические аспекты химии, фармацевтики и фармакологии» МОБИ-Химфарма-2019. 2019. С.215.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛОРОГЛЮЦИНА ПРИ КЛОНАЛЬНОМ МИКРОРАЗМНОЖЕНИИ ЧАЯ

Серебрякова Ж.С.

ФГАОУ ВО «РУДН им. Патриса Лумумбы», Москва, +79775952022,  
serebryakova\_zhs@rudn.ru

Чай (*Camellia sinensis* L.) – культура сложная для размножения традиционными способами. В связи с этим отрабатывались приёмы размножения с помощью метода *in vitro*. Известен факт использования фенольных соединений для получения каллусных культур и для микроразмножения растений. В первом случае достигалась активизация каллусообразования, во втором – удалось получить пролиферирующие культуры. Исследователи объяснили этот успех антиоксидантными свойствами фенолов и активацией защитных механизмов растений на различные стрессы [2, 3].

Считается, что для микроразмножения чая наиболее удачна питательная среда Мурасиге-Скуга (МС) с 6-бензиламинопурином (БАП) в концентрации 2 мг/л [4]. Описан эффект воздействия низких концентраций ауксинов в составе питательной среды, выражающийся в усилении роста побегов картофеля *in vitro* [1]. Есть опыт применения использования флороглюцина (ФГ) в концентрации 0,1 г/л для усиления роста микрорастений земляники садовой [5]. Основываясь на имеющейся информации, нами было изучено действие ФГ в концентрации 0,1 г/л в составе питательной среды МС, дополненной 2,0 мг/л БАП и 0,05 мг/л нафтилуксусной кислоты (НУК). В контроль (К) ФГ не добавляли. Эффект использования ФГ выразился в повышении коэффициента размножения (КР) чая в пассажах. В контроле в 50% новообразований не отмечалось, в 28% КР равнялся 2, в 11% – 3, в 6% – 4 и в 6% – 5. В варианте с ФГ КР в 28% был 2, в 33% – 3, в 28% – 4 и в 11% – 5, что свидетельствовало о его положительном эффекте при размножении и целесообразности дальнейшего изучения данного вещества и других представителей этой группы.

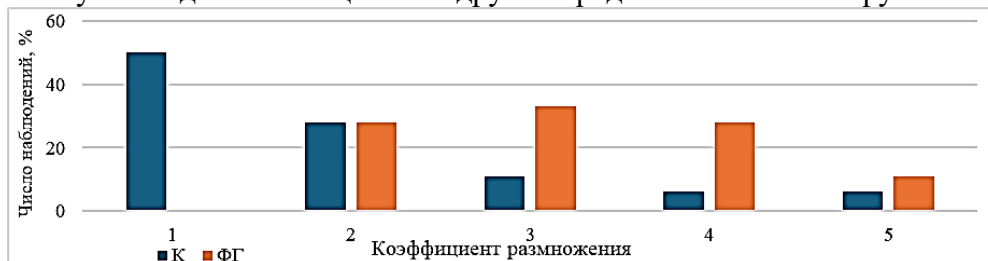


Рисунок 1. Влияние состава питательной среды на коэффициент размножения чая, %

### Литература

1. Badoni A., Chauhan J.S. Effect of growth regulators on meristem-tip development and in vitro multiplication of potato cultivar 'Kufri himalini' // Nature and Science. - 2009. - Vol.7. - No.9. - P. 31-34
2. Corneliu Tanase, Oana-Crina Bujor, Valentin I. Popa. Phenolic Natural Compounds and Their Influence on Physiological Processes in Plants // Polyphenols in Plants. - 2019. - P. 45-58
3. Yurteri, E., Can, M. S., Seyis, F., & Kuplemmez, H. In Vitro Regeneration of Tea (*Camellia sinensis* (L). O. Kuntze) By Somatic Embryogenesis from Immature Cotyledon Tissues. // Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology. – 2021. - 9(sp). – P. 2587–2590
4. Коломиец Т. М., Маляровская В. И., Гвасалия М. В., Самарина Л. С., Соколов Р. Н. Микроразмножение *in vitro* субтропических, декоративных культур и эндемиков Западного Кавказа: оригинальные и оптимизированные протоколы // С.-х. биол.- 2014. - №3. – С.49-58
5. Серебрякова, Ж. С. Влияние янтарной кислоты и флороглюцина на развитие растений земляники садовой *in vitro* на этапе элонгации // Инновационные процессы в сельском хозяйстве: сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Москва, 20–21 апреля 2023 года. –РУДН, 2023. – С. 385-389

## НОВЫЕ СВОЙСТВА ПРЕПАРАТОВ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РАСТЕНИЯ МААКИЯ АМУРСКАЯ

**Федореев С.А., Мищенко Н.П., Тарбеева Д.В., Крылова Н.В.\*, Щелканов М.Ю.\***  
ФГБУН «Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова» ДВО РАН,  
Владивосток, fedoreev-s@mail.ru

\*ФГБНУ «НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова» Роспотребнадзора,  
Владивосток

Среди представителей дальневосточных растений полифенолы маакии амурской (*Maackia amurensis* Rupr. et Maxim.) обладали наиболее выраженными антиоксидантными свойствами и низкой токсичностью, что побудило исследовать их в качестве гепатопротекторов при токсических поражениях печени. На основе комплекса полифенолов из древесины этого растения был создан препарат Максар® в лекарственной форме таблетки, покрытые пленочной оболочкой, 60 мг, зарегистрированный в России в качестве гепатопротективного средства (РУ Р N003294/01 2011 г). Основными компонентами максара являются одиннадцать изофлавонов, птерокарпаны, мономерные и димерные стильбены. В его состав также входят изофлаваноны, изофлаваны, флаваноны и новые изофлавоностильбены. Максар® является эффективным желчегонным средством, улучшающим экскреторную функцию печени, при курсовом применении у больных хроническим гепатитом вирусной и алкогольной этиологии с различной активностью процесса в печени проявляет выраженные гепатопротективные свойства в большей степени, чем препарат карсил. Побочные эффекты и противопоказания к применению не выявлены. Его применение в экспериментах на животных и в клинической практике способствует коррекции нарушений липидного спектра крови и жировой дистрофии печени. Терапевтический потенциал препарата Максар®, может быть обусловлен его способностью конкурировать с эстрогеном за связывание с его рецепторами. Максар проявляет антиоксидантное действие, снижает интенсивность образования в печени и крови продуктов перекисного окисления липидов и регулирует систему антиоксидантной защиты организма. Препарат обладает антиагрегантным и противовоспалительным действием, эффективен при лечении вирусных гепатитов. Максар® и его компоненты проявляют нейропротекторную активность и повышают жизнеспособность клеток Neuro-2a на 18% в концентрации 10 мкг/мл. Препарат также обладает способностью в дозе 10 мкг/мл инактивировать вирусные частицы и ингибировать раннюю стадию репликации вирусов HSV-1, ECHO и SARS-CoV-2 в тестах на клеточной культуре Vero E6, что указывает на его потенциальную возможность использования для лечения широкого спектра вирусных инфекций.

Мы показали, что корни в отличие от древесины растения содержат гликозидные формы изофлавонов и птерокарпанов, обладающие выраженными антиоксидантными и гепатопротективными свойствами. В эксперименте препарат из корней *M. amurensis* кроме гепатопротекторных свойств показывают выраженные антикоагулянтные эффекты. Основной компонент корней *M. amurensis* гентиобиозид формононетина (ГБФ) при 10-дневном энтеральном введении крысам в дозе 25 мг/кг обладал выраженным антитромбоцитарным и гипокоагуляционным эффектами – тормозил реакции внутреннего и внешнего путей свертываемости крови. Определены основные этапы и продукты метаболизма препарата у крыс, влияющие на его биодоступность в условиях энтерального применения. Биологическая активность ГБФ обусловлена его биотрансформацией в формононетин, дайдзеин и другие продукты метаболизма, образующиеся под воздействием кишечной микробиоты животных. Эти результаты имеют важное практическое значение, поскольку открывают перспективу создания нового перорального лекарственного средства, способного уменьшить вероятность возникновения тромбозов при различных сердечнососудистых заболеваниях.

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛИФЕНОЛОВ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТРЕССЕ

Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф.

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, +7(423)231-30-61, fomenko29@mail.ru

В морских экосистемах водоросли играют ключевую роль, являясь основой пищевых цепей для большинства морских организмов, так как служат источником органического вещества и энергии. Среди вторичных метаболитов, содержащихся в морских водорослях, особое место занимают полифенольные соединения, обладающие выраженными антиоксидантными свойствами. Полифенолы (ПФ) продуцируются морскими водорослями и морскими травами для выполнения защитных, структурных и репродуктивных функций. Также они защищают растения от патогенных бактерий, травоядных животных, УФ – излучения. Возросший интерес к морским водорослям обусловлен содержанием в них биоактивных компонентов, которые могут быть использованы в медицине, в качестве нутрицевтиков, пищевых добавок и др. Препараты, полученные из водорослей, проявляют широкий спектр фармакологических свойств (антибактериальные, антивирусные, противоопухолевые, антимикробные, гепатопротекторные и др.) Положительное влияние морских водорослей на здоровье во многом связано со способностью входящих в их состав полифенольных соединений улавливать свободные радикалы, что может способствовать снижению оксидативного стресса. Целью работы явилось сравнительное изучение антиоксидантной активности водно-спиртовых экстрактов, выделенных из талломов бурой водоросли - *Sargassum pallidum* (Turner) C.Agardh, зеленой водоросли - *Ulva lactuca* L., красной водоросли - *Ahnfeltia tobuchiensis* (Kanno et Matsubara) Makienko и их влияния на показатели антиоксидантной защиты печени и плазмы крови мышей при экспериментальном стрессе. Водоросли собирали в летние месяцы в прибрежных водах залива Петра Великого Японского моря, затем сушили при  $t < 50^{\circ}\text{C}$ , измельчали и экстрагировали 70%-ным этиловым спиртом методом реперколяции. Исследование содержания ПФ в экстрактах морских водорослей показало, что наибольшее их количество было обнаружено в экстракте бурой водоросли *S. pallidum* —  $218,2 \pm 20,3$  мг-экв ГК/г сухого экстракта. В экстракте зелёной водоросли *U. lactuca* содержание ПФ составило  $16,2 \pm 1,8$  мг-экв ГК/г, а в экстракте красной водоросли *A. tobuchiensis* —  $9,1 \pm 1,6$  мг-экв ГК/г. При исследовании антирадикальных свойств экстрактов было выявлено, что *S. pallidum* демонстрирует более выраженную активность в сравнении с *U. lactuca* и *A. tobuchiensis* в отношении ABTS+ и алкилпероксильного радикала. Эксперимент проводили на белых беспородных мышам-самцах массой 20-30 г. Острый стресс моделировали путем вертикальной фиксации животных за дорсальную шейную складку на 24 часа. Мышам вводили экстракты водорослей, освобожденные от спирта, в дозе 100 мг ПФ/кг через зонд дважды: перед фиксацией и через 6 часов после первого введения. Животным контрольной группы и группы «стресс» вводили дистиллированную воду в объеме, равном объему вводимых препаратов. В модели проявились все признаки стресса: гипертрофия надпочечников, инволюция тимуса и селезенки, изъязвления слизистой ЖКТ. Отмечались нарушения антиоксидантной защиты: снижение активности ферментов в плазме крови и содержания глутатиона в печени, увеличение уровня малонового диальдегида. При введении экстрактов у всех групп животных, подвергнутых стрессовому воздействию, наблюдалось улучшение показателей антиоксидантной защиты. Однако у мышей, получавших экстракты из *U. lactuca* и *A. tobuchiensis*, уровень антиоксидантной защиты был ниже, чем у животных, которые получали экстракт *S. pallidum*. Вероятно, различия обусловлены составом полифенольных фракций: зелёные и красные водоросли содержат мономерные флавоноиды, а бурые — высокомолекулярные флоротаннины с более значительным антиоксидантным потенциалом.



## КОНЬЮГАТЫ ПОЛИСАХАРИДОВ С ФЕНОЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ МАТРИЦЫ-НОСИТЕЛИ ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ ВИТАМИНОВ ГРУППЫ В

Хаинская Е.В., Гилевская К.С.

ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси», Минск, +375255302833,  
5887752@mail.ru

Большинство биологически активных веществ (БАВ) чувствительно к факторам окружающей среды, что снижает их биодоступность и ограничивает применение. Инкапсулирование позволяет улучшить биодоступность БАВ, продлить их сроки хранения и расширить функциональность [1]. Природные полисахариды могут быть использованы для создания полимерных матриц-носителей из-за их особых химических и биологических свойств. Показано, что носители на основе конъюгатов полисахаридов с фенольными кислотами обеспечивают высокую степень загрузки нутрицевтиков и улучшение их стабильности [2].

Цель работы – получение инкапсулированных форм витаминов группы В с использованием полисахаридов и их производных с фенольными кислотами.

Конъюгаты хитозана (Хит,  $M_w \sim 30$  кДа, СД  $\sim 98$  %) и пектина (Пект,  $M_w \sim 120$  кДа, СЭ  $\sim 32$  %, СА  $\sim 18$  %) с галловой (ГК) и феруловой (ФК) кислотами получали карбодиимидным методом. Капсулированные формы фолиевой кислоты (ФолК) с Хит, Пект и их производными получали методом ионотропного гелеобразования.

Разработана методика инкапсулирования ФолК за счет ее включения *in situ* в гидрогелевые полимерные частицы на основе Хит, Пект и их производных с фенольными кислотами. Показано, что, контролируя состав реакционных смесей, можно получать инкапсулированные формы ФолК с регулируемыми значениями эффективности включения (27–98% и 40–65% при включении в хитозановые и пектиновые матрицы, соответственно) и массовой доли (23–68% и 14–37% для хитозанов и пектинов, соответственно). При этом эффективность включения повышается в рядах ХитФК < ХитГК < Хит и Пект < ПектГК < < ПектФК, а массовая доля – в рядах ХитФК < Хит < ХитГК и Пект < ПектГК < ПектФК. Изучена кинетика высвобождения ФолК из полимерных матриц-носителей в модельных средах, имитирующих желудочный и кишечный соки. Частицы на основе Хит и его производных обеспечивают максимальную защиту от высвобождения инкапсулированной ФолК в среде желудочного сока, интенсивное (50% от включенного в течение 210–420 мин) и полное (до 98% относительно нативного БАВ) – в условиях среды кишечного сока. Частицы на основе Пект и его конъюгата с ГК повышают биодоступность БАВ по сравнению с нативной формой как в условиях желудка (до 37%), так в условиях кишечника (до 21%).

Полученные инкапсулированные формы ФолК на основе хитозанов являются перспективными энтеросолюбильными системами для направленной доставки БАВ в тонкий кишечник (основное место абсорбции ФолК), а на основе пектинов – эффективными платформами-носителями витаминов, обеспечивающими повышение их биодоступности, для доставки и контролируемого высвобождения БАВ непосредственно в кишечнике.

Литература:

1. Coelho S.C., Estevinho B.N., Rocha F. Recent Advances in Water-Soluble Vitamins Delivery Systems Prepared by Mechanical Processes (Electrospinning and Spray-Drying Techniques) for Food and Nutraceuticals Applications – A Review // *Foods*. 2022. V. 11. P. 1271.
2. Yi J., Huang H., Wen Z., Fan Y. Fabrication of chitosan-gallic acid conjugate for improvement of physicochemical stability of  $\beta$ -carotene nanoemulsion: Impact of  $M_w$  of chitosan // *Food Chemistry*. 2021. V. 362. P. 130218.

Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ (договор №X24КИТГ-002).

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА И L-ЛИЗИНА В КОМПОЗИЦИЯХ

Свотин А.А., Ходячих А.А., Терехов Р.П., Селиванова И.А.

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, +7 (499) 749-79-91, khodyachikh\_a\_a@student.sechenov.ru

Ранее были получены водорастворимые композиции дигидрокверцетина (ДКВ) с L-лизином, одна из которых продемонстрировала выраженное ранозаживляющее и противовоспалительное действие [1]. Ее потенциальное применение в фармацевтических целях требует разработки методики качественного и количественного анализа обоих компонентов при одновременном присутствии. Для этого был выбран метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Цель работы – разработать способ, позволяющий осуществлять количественный анализ компонентов композиции ДКВ-L-лизин.

Количественный анализ проводили с помощью ВЭЖХ с предколоночной дериватизацией с *о*-фталевым альдегидом (ОФА) и УФ детектированием. Хроматографическая система LicArt 62 (ООО «Лабконцепт», Санкт-Петербург, Россия) состояла из насоса QP-62d, термостата Т-85С, спектрофотометрического детектора UV-62, инжектора 7725i и колонки Inspire C18 5 мкм 150 мм × 4,6 мм (Dikma Technologies Inc., Калифорния, США). Композиции ДКВ-лизин получали методом гриндажа с последующей лиофилизацией или сушкой водного раствора при 65 °С. Для построения калибровочных кривых использовали ГСО ДКВ и очищенный перекристаллизацией L-лизина моногидрат. Элюирование проводили в изократическом режиме с подвижной фазой из 70% воды и 30% ацетонитрила, при температуре колонки 40 °С и скорости потока в 0,35 мл/мин. Детектирование осуществляли при длине волны 338 нм – в максимуме поглощения продукта дериватизации L-лизина и ОФА [2]. Эксперимент проводили на 5 концентрациях в трехкратной повторности для каждого из анализируемых веществ.

Пригодность хроматографической системы характеризуется следующими параметрами: стабильным временем удерживания аналитических пиков в  $5,976 \pm 0,021$  и  $7,426 \pm 0,027$  мин для L-лизина и ДКВ, соответственно и разрешением ( $R_s$ ) между анализируемыми компонентами 6,806, что свидетельствует о специфичности разработанной методики. Число теоретических тарелок составило  $42465,239 \pm 3908,644$  и  $8308,416 \pm 314,834$  для L-лизина и ДКВ, соответственно. Линейность подтверждает коэффициент детерминации в пределах аналитической области (1–5 мг/мл для каждого компонента): 0,9936 для продукта дериватизации и 0,9978 для ДКВ.

Разработанная методика отличается от существующих аналогов изократическим режимом элюирования и простым составом подвижной фазы. В дальнейшем она может найти применение в фармацевтической практике и контроле качества биологически активных добавок в пищевой промышленности.

### Литература

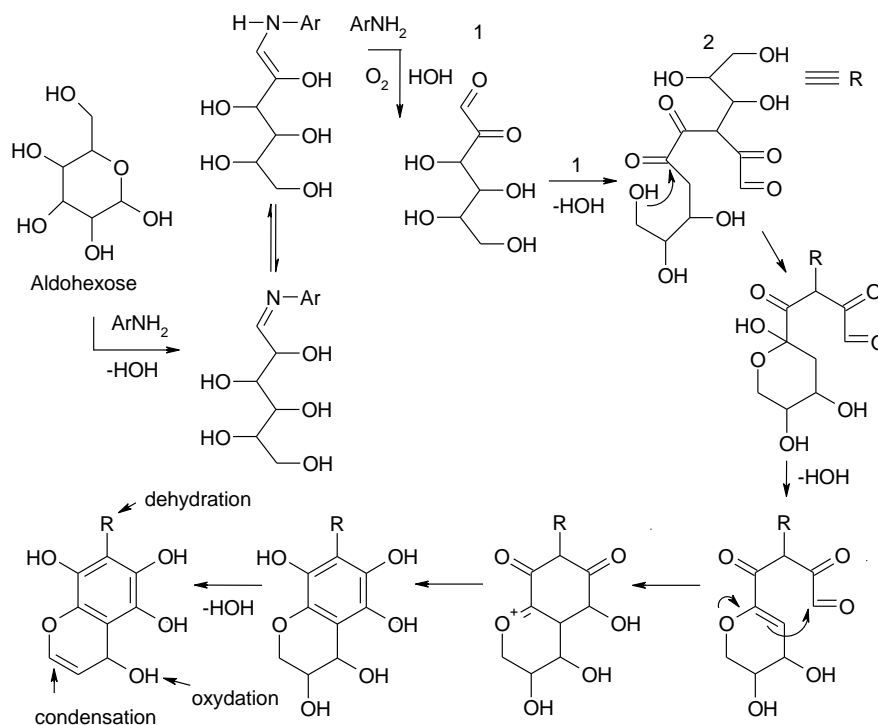
1. Svotin A.A., Taldaev A., Nikitin I.D., Korochkina M.D., Terekhov R.P., Selivanova I.A. Insights in wound healing properties of water-soluble composition of dihydroquercetin and L-lysine. *J Pharm Pharm Sci.* 2025; 28: 13831. DOI: 10.3389/jpps.2025.13831
2. Аглоходжаева Ш.М., Ташпулатова А.Д. Валидация ВЭЖХ-методики для количественного определения действующих веществ комбинированного инфузионного раствора. *Фармация.* 2025; 74 (2): 23-28. DOI: 10.29296/25419218-2025-02-03 [Agloxodjaeva S.M., Tashpulatova A.D. Quantitative determination of active substances of combined infusion solution by HPLC method. *Farmaciya (Pharmacy).* 2025; 74 (2): 23-28. DOI: 10.29296/25419218-2025-02-03]

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СТРУКТУР, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССАХ КАРБОНИЗАЦИИ МОНОСАХАРИДОВ В ПРИСУТСТВИИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ АГЕНТОВ

**Черепанов И.С., Егорова А.И., Белков А.А.**

ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, Ижевск, cherchem@mail.ru

Фенольные фрагменты структуры многих природных соединений сообщают последним свойства, обуславливающие различные виды биологической активности. Ранее нами была показана [1] возможность образования полифенольных производных в процессах конденсации альдогексоз с ариламидами в безводном этаноле. В настоящей работе представлен расширенный синтетический подход к получению замещенных фенольных полимеров в свободно-аэрируемых водно-этанольных средах, основанный на способности ариламида к элиминированию из находящегося в равновесии с енамином основания Шиффа [2]. Последнее в условиях доступа кислорода приводит к диоксопроизводному **1**, автоконденсация которого дает способный к циклизации продукт **2**. Развитие внутримолекулярных реакций имеет итогом ядро *4H*-хромена, дополнительная функционализация реализуется посредством реакций дегидратации, конденсации и окисления:



Структурные особенности выделенных продуктов подтверждены данными колебательной спектроскопии, в том числе спектроскопии диффузионного отражения, в сочетании с результатами элементного анализа. Полученные результаты перспективны в отношении синтеза новых углеродных материалов с высокой удельной объемной пористостью – сорбентов для пищевой и фармацевтической промышленности [1].

Литература:

1. Cherepanov I.S. Carbonization products in *D*-glucose – *p*-toluidin system as sorbents of carbohydrate caramels from aqueous solutions // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2019. – Vol. 315. – 062001. DOI:10.1088/1755-1315/315/6/062001.
2. Черепанов И.С., Абдуллина Г.М. Изучение диализуемых фракций водно-этанольных систем *D*-лактоза – ариламин // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2017. – №2. – С. 181–184. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-181-184.

## **ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА: ОТ СИНТЕЗА К СОЗДАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Якимова Л.С.**

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Химический институт  
им. А.М. Бутлерова, mila.yakimova@mail.ru

Современное развитие органической химии позволило разработать различные методы и подходы, которые успешно применяются в супрамолекулярной химии для синтеза полифункциональных соединений, в частности, макроциклических, для направленного регулирования их способности к молекулярному распознаванию биополимеров и их совместной самосборки с образованием полифункциональных ассоциатов, поверхность которых в существенной степени является определяющей избирательность такого распознавания и его эффективность. Различные классы макроциклов, такие как каликс[*n*]арены, тиакаликс[4]арены и пиллар[*n*]арены, используются при конструировании систем доставки биологически значимых веществ, лекарственных препаратов, инсектицидов и фунгицидов, в диагностике. Дальнейшее развитие химии макроциклов направлено на усложнение структуры с целью получения мультивалентных молекул кооперативного действия для повышения селективности и эффективности взаимодействия. Однако синтез новых полифункциональных соединений, зачастую трудоемок и не позволяет получать их с высокими выходами. Кроме того, с усложнением структуры не всегда удается регулировать гидрофильно-гидрофобный баланс в молекуле, появляется высокая токсичность. В связи с этим, остро стоит вопрос создания универсального подхода в дизайне органических или гибридных материалов, которые были бы построены на основе относительно несложных, легко доступных в синтетическом плане молекул (как составных частей lego-конструктора), и при этом могли бы собираться в различные архитектуры за счет нековалентных взаимодействий по примеру известных природных макромолекул (белки и нуклеиновые кислоты), которые представляют собой полиэлектролиты, причем функциональность этих материалов будет зависеть от способа сборки «конструктора».

В настоящей работе выявлены особенности химического поведения макроциклических производных фенола и гидрохинона и создании на их основе новых супрамолекулярных и наноразмерных систем методами ковалентной и нековалентной сборки. Предложена синтетическая стратегия, позволяющая получать катионные и анионные полифункциональные соединения, которая была успешно реализована на двух отличающихся платформах: макроциклических производных фенола и гидрохинона – (тия)каликс[4]аренах и пиллар[5]аренах. Продемонстрировано многообразие применения полученных макроциклических производных и гибридных частиц в качестве наноразмерных систем в различных приложениях.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставляемого молодым кандидатам наук (докторантам) для защиты докторской диссертации, проведения научно-исследовательской работы, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (соглашение от 23.12.2024 № 159/2024-ПД).

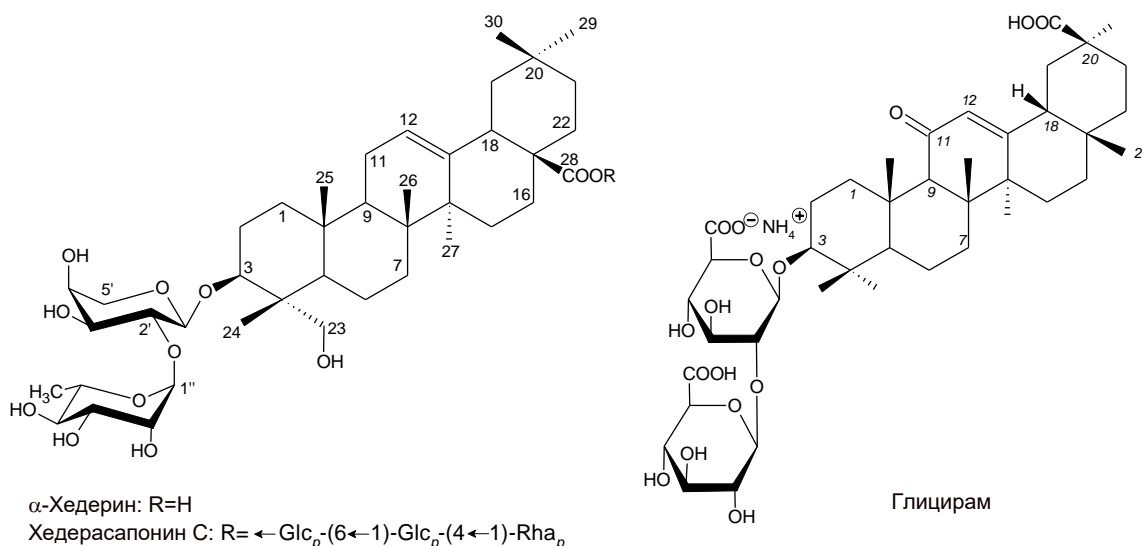
## НОВЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РУТИНА И КВЕРЦЕТИНА

Яковишин Л.А., Ратников В.Д.

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, Севастополь, +7(8692)41-77-41, chemsevntu@rambler.ru

Рутин – это один из самых известных растительных гликозидов фенольной природы, агликоном которого является кверцетин. Однако медицинское применение рутина и кверцетина ограничивается их низкой биодоступностью. Для ее повышения у ряда биологически активных соединений используют тритерпеновые гликозиды, образующие с ними супрамолекулярные комплексы. Кроме того, молекулярное комплексообразование может привести к снижению побочных эффектов и росту целевой биологической активности.

Нами получены молекулярные комплексы рутина и кверцетина с главными тритерпеновыми сапонинами плюща  $\alpha$ -хедерином (3-*O*- $\alpha$ -L-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- $\alpha$ -L-арабинопиранозидом хедерагенина) и хедерасапонином С (3-*O*- $\alpha$ -L-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- $\alpha$ -L-арабинопиранозил-28-*O*- $\alpha$ -L-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)-*O*- $\beta$ -D-глюкопиранозил-(1 $\rightarrow$ 6)-*O*- $\beta$ -D-глюкопиранозидом хедерагенина), а также с глицирамом (моноаммонийной солью глицирризиновой кислоты (3-*O*- $\beta$ -D-глюкуронопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- $\beta$ -D-глюкуронопиранозидом глицирретиновой кислоты) – главным сапонином солодки).



Комплексообразование изучено методами электронной и ИК-Фурье-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, а также методом изомолярных серий. Определен состав полученных комплексов и рассчитаны константы их устойчивости. Их величины составляют  $10^4$ – $10^5$  M<sup>-1</sup>.

Характер межмолекулярных взаимодействий подтвержден ИК-Фурье-спектроскопией. Показано, что комплексы стабилизированы за счет образования водородных связей и гидрофобных взаимодействий.

Проведено исследование антиоксидантной активности комплексов. Так, например, комплекс рутина с хедерасапонином С показал увеличение антиоксидантной емкости АСW на 16,89%, а комплекс рутина с глицирамом – на 7,31% (по сравнению со стандартом рутином). Таким образом, комплексообразование приводит к усилению антиоксидантной активности.

Полученные комплексы могут быть перспективны для разработки фармацевтических композиций на основе рутина и кверцетина.



## **ФАРМАКОДИНАМИКА И ФАРМАКОКИНЕТИКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ФЕНОЛЬНОГО АНТИОКСИДАНТА В КАЧЕСТВЕ ГЕПАТОПРОТЕКТОРА**

**Яновская Е.А., Фрелих Г.А., Лакеев А.П., Цуран Д.В., Смольякова В.И.,  
Чернышева Г.А.**

НИИФиРМ им. Е.Д Гольберга, Томский НИМЦ, yale3@yandex.ru

В связи с ростом смертности от заболеваний печени и желчевыводящих путей существует острая потребность в разработке новых эффективных гепатопротекторных средств, несмотря на их многообразие. В основе многих заболеваний печени, включая жировой гепатоз, хронический гепатит и неалкогольную жировую болезнь печени, лежит окислительный стресс, сопровождающийся образованием активных форм кислорода и развитием перекисного окисления липидов, что приводит к повреждению мембран гепатоцитов и внутриклеточному ионному дисбалансу. Антиоксиданты играют важную роль в предотвращении липидной перекисидации и являются незаменимыми в комплексной терапии заболеваний печени [1]. Целью нашего исследования было изучение гепатопротекторных свойств и фармакокинетики фенольного антиоксиданта 2,6-диизоборнил-4-метилфенола в дозе 10 мг/кг (ИБФ) после внутрижелудочного введения крысам с патологией и здоровым животным.

Исследование выполнено на крысах-самцах Wistar (n=47). Токсическое поражения печени вызывали подкожным введением четыреххлористого углерода в дозе 2 мг/кг, растворенного в подсолнечном масле, один раз в сутки в течение 4 дней. Для изучения гепатопротекторных свойств ИБФ проводили биохимический анализ крови, определяли активность антиоксидантных ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы), а также маркера воспаления интерлейкина-6 (IL-6). Использовали отрицательный контроль (патология, подсолнечное масло) и положительный контроль (патология, силибинин). Образцы крови для фармакокинетического (ФК) анализа получали из яремной вены через установленный постоянный катетер. ФК параметры оценивали после однократного и многократного введения (8 дней) ИБФ.

Результаты показали, что ИБФ способствовал снижению уровня маркеров заболеваний печени (АЛТ, АСТ) и воспалительного цитокина IL-6 по сравнению с группой отрицательного контроля. Кроме того, наблюдалась нормализация показателя малонового диальдегида (МДА) относительно интактной группы. Сравнительный анализ полученных данных с положительным контролем показал, что ИБФ обладает гепатопротекторным действием, сопоставимым или превосходящим силибинин, особенно по таким показателям, как АСТ, АЛТ, ЩФ и МДА. ФК анализ выявил, что значения  $AUC_{0-\infty}$  и  $C_{max}$  в группе с патологией были в 1,8 и 2,8 раза ниже соответственно, чем в группе здоровых животных после однократного введения ИБФ. В то же время длительное введение ИБФ способствовало нормализации ФК параметров. Относительная биодоступность увеличилась с 60,0 до 119,5 % в группах с патологией после однократного и многократного введения соответственно. При этом не было выявлено различий между группами здоровых животных и с патологией после многократного введения ИБФ.

Фармакодинамические параметры подтверждают выраженные гепатопротекторные свойства ИБФ. Патология печени у крыс способствует снижению экспозиции ИБФ в плазме после однократного введения, что предположительно связано с нарушениями абсорбции в ЖКТ и активным расходом вследствие окислительного стресса.

Литература:

Li S, Tan H-Y, Wang N, Zhang Z-J, Lao L, Wong C-W, Feng Y. The role of oxidative stress and antioxidants in liver diseases. *Int J Mol Sci.* 2015;16(11):26087–26124. <https://doi.org/10.3390/ijms161125942>.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 24-25-00327, <https://rscf.ru/project/24-25-00327/>).

## ЗАГОЛОВКИ РАБОТ ПО РАЗДЕЛАМ:

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b>	<b>5</b>
<b>ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ</b>	<b>6</b>
ПЕРЕСТРОЙКИ ФЕНОЛЬНОГО ОБМЕНА ПРИ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЯХ КСИЛО- И ФЛОЭМОГЕНЕЗА - Галибина Н.А., Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Корженевский М.А., Померанец А.К., Серкова А.А., Афошин Н.В.	7
МЕСТО И РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ФАРМАКОПЕЙНОМ АНАЛИЗЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРЕПАРАТОВ - Куркин В.А.	8
<b>КРУГЛЫЙ СТОЛ</b>	<b>9</b>
ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РОССИИ: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УЧИТЕЛЕЙ И УЧЕНИКОВ - Загоскина Н.В.	10
РОЛЬ ЛИЧНОСТИ УЧИТЕЛЯ В ФОРМИРОВАНИИ НАУЧНЫХ ШКОЛ И НАПРАВЛЕНИЙ В ОБЛАСТИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ - Куркин В.А.	11
НАУЧНОЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА НОННЫ АРСЕНЬЕВНЫ ТЮКАВКИНОЙ - Селиванова И.А.	12
ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЕНИЙ В СИБИРИ - Храмова Е.П.	13
<b>СЕКЦИЯ 1 - Фенольные соединения и их биологическая активность</b>	<b>14</b>
STUDY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE EXTRACT OF ARTEMISIA SCOPAEFORMIS BY GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY - Keldibekova R.N.1, Jalmakhanbetova R.I.1, Zhumagaliyeva Zh.Zh.2, Mukusheva G.K.3, Asylbekova A.A.4	15
SYNTHESIS AND ACUTE TOXICITY OF SCHIFF-BASED DERIVATIVES OF GOSSYPOL - Rezhepov K.Zh., Alimbayeva Sh.B.	16
STUDY OF WOUND HEALING EFFECT OF NEW GEL FORMS BASED ON GOSSYPOL (GAA-3) - Rezhepov K.Zh.1, Alimbayeva Sh.B.1, Khodzhanizayov B.A.2, Makhmudov L.U.1	17
DERIVATIVES OF GOSSYPOL: PREPARATION AND BIOLOGICAL ACTIVITY - Rezhepov K.Zh.1, Tilyabaev Z.1, Alimbayeva Sh.B.1, Khodzhanizayov B.A.2, Khashimova M.3	18
ОЦЕНКА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭКСТРАКТА РАСТЕНИЯ ASTRAGALUS VILLOSISSIMUS МЕТОДОМ ВЭЖХ - Агзамова М.А., Оманова У.М.	19
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКСТРАКТАХ ЭНДЕМИЧНЫХ РАСТЕНИЙ АРМЕНИИ И ОЦЕНКА ИХ АНТИРАДИКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ - Арустамян М.М., Казарян Ш.А., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Оганесян А.А.	20
ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ – МОДУЛЯТОРЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕЧЕНИ КРЫС - Балакина А.С., Тутьельян В.А.	21
ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ МЕТИЛЖАСМОНАТОМ РАСТЕНИЙ TRITICUM AESTIVUM L. И BRASSICA JUNCEA L. (CZERN.) НА НАКОПЛЕНИЕ	22

АНТОЦИАНОВ В ЛИСТЯХ В ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ ДЕЙСТВИИ КАДМИЯ - Батова Ю.В., Репкина Н.С., Икконен Е.Н.	
2-ФОСФОРИЛФЕНОЛЫ. СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ - Баулин В.Е. 1,2, Рогачёва Ю.И.1, Цебрикова Г.С.2, Лапшина М.А.1, Николаева Н.С.1, Иванова И.С.3, Пятова Е.Н.3, Соловьев В.П.2, Илюхин А.Б.3, Цивадзе А.Ю.2	23
АНТИКОАГУЛЯНТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ - Бахтиярова А.Х.1, Дышлюк Л.С.1, Мурашко Е.А.2, Сишинская С.А.3, Орлова А.А.3, Фролов А.А.1,3, Бабич О.О.1	24
ПРИМЕНЕНИЕ ЛИГНОГУМИНОВОГО РАСТВОРА ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ ШЕЛУХИ ОВСА В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРА - Бацин Н.С.1,2	25
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОЖЖЕЙ <i>S. CEREVISIAE</i> ДЛЯ СКРИНИНГА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСВЕРАТРОЛА) - Бейбалаева А.К., Абакарова А.А., Гасанов Р.З., Аливердиева Д.А.	26
СИНТЕЗ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ 2-ТИОКСО-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОПИРИМИДИН-5-КАРБОНИТРИЛОВ С ФЕНОЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ - Снастина О.В., Богомолов М.А., Кошелев В.Н.	27
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ АЛКИЛРЕЗОРЦИНОЛОВ В ЗЕРНЕ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С РАЗНОЙ ОКРАСКОЙ ЗЕРНА - Валиева А.И., Акулов А.Н., Румянцева Н.И.	28
ТВЕРДОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ 3,6-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛПИРОКАТЕХИНА - Вольева В.Б., Жорин В.А.*, Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В.	29
БИОГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ЗООГЛЕИ С ЭКСТРАКТАМИ ЗЕЛЕНОГО ЧАЯ - Воронина М.С., Игнатова Д.Ф., Рамазанов Р.Б.*	30
ДОЗОВЫЕ ЭФФЕКТЫ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ РЕСВЕРАТРОЛА И ТНЖ-ТИО: ПУТЬ К ОПТИМИЗАЦИИ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ - Герасимов Н.Ю., Неврова О.В., Жигачева И.В., Голощапов А.Н.	31
НЕТАРГЕТНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИОННЫХ ПУТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НАРИНГЕНИНА - Гоман В.Ф., Оличева В.В., Ильясов И.Р.	32
ПРОТЕОМНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТОВ ИЗОФЛАВОНА ФОРМОНОНЕТИНА НА ПРОТЕОМ МАКРОФАГОВ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК МОНОЦИТАРНОЙ ЛЕЙКЕМИИ ТНР-1 - Гурина А.К.1,2, Янчик Д.А.3, Цветкова Е.В.3, Мешалкина Д.А.4, Бабич О.О.5, Фролов А.А.1,5	33
АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ <i>GINKGO BILOBA</i> L. - Дитченко Т.И., Лосев Е.Л.	34
РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОРТО-ФТАЛАТЫ – СОСТАВ И ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ФУНКЦИИ - Еникеев А.Г.	35
НАТРИЙ АНФЕН ПРЕДОТВРАЩАЕТ ДИСФУНКЦИЮ МИТОХОНДРИЙ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДЫ - Жигачева И.В.1, Крикунова Н.И.1, Генерозова И.П.2	36
СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОДУКТАХ СУО – ОКИСЛЕНИЯ ЛИШАЙНИКОВ - Заварзина А.Г., Пушкарева Е.М.*, Беляев Н.А.*	37
ВЛИЯНИЕ ФЛАВОНОИДСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСОВ <i>SERRATULA</i>	38

CUPULIFORMIS NAKAI & KITAGAWA НА РАЗВИТИЕ КАРЦИНОМЫ ЛЕГКИХ ЛЬЮИС У МЫШЕЙ - Зибарева Л.Н., Ан Л.А.*, Рыбалкина О.Ю.*, Зуева Е.П.*, Рогова У.Р.	
СИНТЕЗ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ 2-ТИОГИДАНТОИНА С ФЕНОЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ - Иманова С.С., Уколова В.А., Снастина О.В.	39
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ РАСПРОСТРАНЕННЫХ И КУЛЬТИВИРОВАННЫХ В ГРУЗИИ - Кавтарадзе Н.Ш., Сагареишвили Т.Г., Шалашвили К.Г., Сутиашвили М.Г.	40
ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ НА ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ IN VITRO РАСТЕНИЙ РОДА HEDYSARUM - Кадырбаев М., Кожемякина Д.П., Никулина С.А., Бойко Е.В., Головацкая И.Ф., Зиннер Н.С.	41
ЭФФЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ ГИДРОКСИХАЛКОНОВ – АНАЛОГОВ ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ - Кадыров И.Н., Воробьев С.В., Кошелев В.Н.	42
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТА И ФРАКЦИЙ ИЗ URTICA URENS L., СОДЕРЖАЩИЕ ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ - Квицинадзе М., Сухишвили Н., Кавтарадзе Н., Гетиа М.	43
ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭКЗОГЕННОГО ГОМОКАСТАСТЕРОНА В УСЛОВИЯХ ГЕРБИЦИДНОГО СТРЕССА - Кем К.Р., Ламан Н.А.	44
СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ЗЕЛЕНОМ И БЕЛОМ ЧАЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ХРАНЕНИЯ - Климова Е.В., Платонова Н.Б.	45
ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ НА ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ ЦБК - Комаров А.А.	46
АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ФЕНИЛИМИНОМЕТИЛЬНЫХ И ЦИКЛОАМИНОМЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 4,6-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-1,2-ДИГИДРОКСИБЕНЗОЛА - Ксендзова Г.А.1, Островская Н.И.1, Сорокин В.Л.2	47
АНТИГЛИКИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ORTHILIA SECUNDA И RHODIOLA QUADRIFIDA - Лаврентьева И.А., Дерябина Е.А., Ларина В.В.	48
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА FABACEAE, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА УРАЛЕ - Лотоцкий С.О., Матыков Н.Е., Ермошин А.А.	49
ФЕНОЛЬНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: ВЫДЕЛЕНИЕ, ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И СИНТЕЗ НА ИХ ОСНОВЕ НОВЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ - Лузина О.А.	50
ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОДА:ОРГАНИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ НА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ И РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ КВЕРЦЕТИНА В СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ - Лысенко А.Г., Акованцева А.С., Фенин А.А.	51
СРАВНИТЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ВЭЖХ-DAD-ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В URTICA DIOICA L. И MELISSA OFFICINALIS L. - Мансуров Д.А., Хаитбаев А.Х., Тошов Х.С.	52
ЗЕЛЁНЫЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ О-(4-НИТРОБЕНЗОИЛ)ЭВГЕНОЛА И СПЕКТРАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ - Мансуров Д.А., Хаитбаев А.Х., Тошов Х.С.	53

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА SCROPHULARIACEAE JUSS., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО УРАЛА - Матыков Н.Е., Лотоцкий С.О., Ермошин А.А.	54
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МОНОФЕНОЛЬНЫЙ АНТИОКСИДАНТ ТС-13 ЭФФЕКТИВЕН ПРОТИВ ПОТЕРИ ВОЛОС, ИНДУЦИРОВАННОЙ ХИМИОТЕРАПИЕЙ - Меньшикова Е.Б., Серых А.Е., Ромах Л.П., Храпова М.В., Петрова Е.С., Чечушков А.В., Кандалинцева Н.В.*	55
АЛКИЛФЕНОЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ФЕНОКСИУКСУСНЫХ КИСЛОТ: СИНТЕЗ И АУКСИНОПОДОБНАЯ АКТИВНОСТЬ - Мизин Д.В., Воробьев С.В., Брейгина М.А.*, Кошелев В.Н.	56
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ОБЩИХ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА PELARGONIUM L'HER. - Москвичева В.В., Кунина В.А.	57
ОРГАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВЫРАЩИВАНИЯ ВЛИЯЕТ НА СИНТЕЗ АНТИОКСИДАНТОВ И ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ SOLANUM LYCOPERSICUM L. - Мотылева С.М., Винокур М.В., Ямилева Э.М.	58
ДЕТЕКЦИЯ НЕКОТОРЫХ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ HYPERICUM PERFORATUM - Мхитарян А.Г., Сагателян Г., Казарян Ш.А., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Оганесян А.А.	59
РЕСВЕРАТРОЛ И СТРУКТУРНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ МЕМБРАН: РОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ В МОДИФИКАЦИИ МИКРОВЯЗКОСТИ - Неврова О.В., Герасимов Н.Ю., Жигачева И.В., Генерозова И.П., Голощапов А.Н.	60
РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ В СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ И РАДИОПРОТЕКТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ ГИДРОКСИБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ - Сильченко А.Р., Лысенко А.Г., Николаева В.В., Фенин А.А.	61
КУМАРИНЫ FERULOPSIS HYSTRIX: СОСТАВ, СОДЕРЖАНИЕ, МОДИФИКАЦИИ ПЕУЦЕНИДИНА И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ - Николаев Ю.Н., Шульц Э.Э.*, Тараскин В.В.	62
ВЛИЯНИЕ КОНЪЮГИРОВАННЫХ ФОРМ ОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ С ХИТОЗАНОМ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ И КАЧЕСТВО ПЛОДОВ ОГУРЦА - Овчинников И.А., Калацкая Ж.Н., Николайчук В.В.*	63
ФЛАВОНОИДЫ КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕМБРАН - Ефимова С.С., Мартынюк В.А., Злодеева П.Д., Малыхина А.И., Шекунов Е.В., Архипов А.В., Ишманов Т.Ф., Остроумова О.С.	64
ПРОТИВОВИРУСНАЯ АКТИВНОСТЬ СИНТЕТИЧЕСКИХ ФЕНОЛОВ С ФРАГМЕНТАМИ ГЕТЕРОЦИКЛОВ В ОТНОШЕНИИ ВИРУСА ГРИППА А (H1N1) - Осипов Д.В., Красников П.Е., Осянин В.А.	65
ЛИОФИЛИЗАТ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИН-ГЛИЦИН - Панков Д.И., Терехов Р.П., Корочкина М.Д., Свотин А.А., Колесникова Д.Р., Рахимов А.А., Селиванова И.А.	66
СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МИКРОПОБЕГАХ ASTRAGALUS Cicer И ASTRAGALUS GLYCYPHYLLOS ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТИДИАЗУРОНА - Панова У.Л.1,2, Амброс Е.В.1	67
СОСТОЯНИЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО - Полякова Л.В., Кузнецова Н.Ф.	68



УЧАСТИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ В РЕГУЛЯЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ SOLANUM TUBEROSUM В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКЦИИ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА - Пузина Т.И., Макеева И.Ю., Кириллова И.Г.	69
2 – ГИДРОКСИФЕНИЛФОСФОНОВЫЕ КИСЛОТЫ: СИНТЕЗ. КОМПЛЕКСЫ МЕДИ(II). БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ - Рогачёва Ю.И.1,2*, Баулин Д.В.2, Цебрикова Г.С.2, Лапшина М.А.1, Николаева Н.С.1, Иванова Е.Н.3, Пятова И.С.3, Соловьев В.П.2, Илюхин А.Б.3, Цивадзе А.Ю.2	70
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПУТИ УТИЛИЗАЦИИ СТОКОВ ФЕНОЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В СУБ- И СВЕРКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ УСЛОВИЯХ - Вольева В.Б., Овсянникова М.Н., Рыжакова А.В., Аетов А.У.*, Усманов Р.А.*, Гумеров Ф.М.*, Варфоломеев С.Д.	71
ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА МЯТА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ - Казакова М.А., Куркин В.А., Савельева А.Е., Зайцева Е.Н., Цибина А.С.	72
МОДУЛЯЦИЯ БИОПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ У МУТАНТОВ ESCHERICHIA COLI ПО МЕТАБОЛИЗМУ ЦИСТЕИНА В ПРИСУТСТВИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ - Самойлова З.Ю., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н.	73
СИНТЕЗ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛА И ТИАЗОЛИДИНОНА, СОДЕРЖАЩИХ ФРАГМЕНТ ФЕНОЛА - Снастина О.В., Панкратова Е.С., Кошелев В.Н.	74
ЯМР 1H - ПРОФИЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СОЛОДКИ - Васильев В.Г., Соболева Н.Я., Селиванова И.А.	75
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛЬНЯНОМ МАСЛЕ - Сосновская А.А., Едимечева И.П., Ксендзова Г.А.	76
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО УДЕРЖИВАНИЯ ЗАМЕЩЕННЫХ ФЛАВОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ - Ставрианиди А.Н., Розанов И.А., Буряк А.К.	77
ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ЭПИГАЛЛОКАТЕХИН ГАЛЛАТА В ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ФИБРОЗНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ - Тараховский Ю.С., Гайдин С.Г.*, Ким Ю.А.*	78
ФАЗОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ БИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЛАВОНОИДОВ - Терехов Р.П., Свотин А.А., Панков Д.И., Корочкина М.Д., Кривошеева Е.А., Кривоzubова Е.В., Бергел К.И., Селиванова И.А.	79
ПРОФИЛЬ СТИЛЬБЕНОВ И ДРУГИХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ REYNOUTRIA JAPONICA - Торохова И.Н.1, Супрун А.Р.1,2	80
ГИПОЛИПИДЕМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РОЗМАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ ПОТЕНЦИАЛ В ТЕРАПИИ НАРУШЕНИЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА - Тумоян Дж.Г., Казарян Ш.А., Абелян Н.Н., Оганян С.А., Бабаян А.В., Оганесян А.А.	81
ВЛИЯНИЕ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОДВИЖНОСТЬ У БАКТЕРИЙ PRIESTIA MEGATERIUM - Зырянов А.А.1, Ушаков В.Ю.1,2, Смирнова Г.В.2, Октябрьский О.Н.2	82
МЕТАБОЛОМНЫЙ ПОДХОД КАК МЕТОД АНАЛИЗА ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНОЛЬНОГО РЯДА - Фролов А.А.	83
РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АДАПТОГЕНОВ - Фролова А.С., Федорова А.М., Милентьева И.С.	84
БИОАНТИОКСИДАНТЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ	85

ФЕНОЛОВ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРА – АКТИВНОСТЬ НА МОДЕЛИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ГЕМОЛИЗА ЭРИТРОЦИТОВ - Шевченко О.Г.	
ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ МИКРОЗЕЛЕНИ БОРАГО, ПАЖИТНИКА И ПОДСОЛНЕЧНИКА - Шерудило Е.Г., Шибаева Т.Г., Рубаева А.А., Лёвкин И.А.	86
О ВОЗМОЖНОМ ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ РАСТЕНИЙ - Шибаева Т.Г., Шерудило Е.Г., Рубаева А.А., Лёвкин И.А.	87
ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРИРОВАННЫХ ФЕНОЛОВ С ЛАКТАМОМЕТИЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ- СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ ПРИРОДНЫХ МЕТАБОЛИТОВ - Шириков Д.Н., Воробьев С.В., Кошелев В.Н.	88
АМИНОФЕНОЛ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫЕ В РЕГУЛИРОВАНИИ УРОВНЯ А- ГИДРОКСИАЛКИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ, ОКСИДА АЗОТА (II) И ЕГО АКТИВНЫХ ФОРМ - Овсянникова Е.М.1, Ксендзова Г.А.2, Ермак А.Д.1, Юркова И.Л.1,2	89
РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ РЖИ - Яковлева О.С., Осипова Л.В., Быковская И.А.	90
<b>СЕКЦИЯ 2 - Распространение, функциональная роль и метаболомика фенольных соединений: от цианобактерий до высших растений</b>	<b>91</b>
ROLES OF LICHEN PHENOLICS IN ABIOTIC STRESS TOLERANCE - Beckett R.P., Khuzwayo T.N.*, Ndhlovu N.T.*, Minibayeva F.V.	92
ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭНДОФИТОВ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И НАКОПЛЕНИЕ АНТОЦИАНОВ РАСТЕНИЯМИ БАЗИЛИКА - Авакумов А.Д., Махинова Е.Ю., Анисимов А.А.	93
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ THYMUS VULGARIS L. - Аникина Д.С.1,2, Широкова А.В.1,3, Шевкунов А.Б.1, Джатдоева С.А.1, Ружицкий А.О.1, Лунева В.Е.1, Радина В.Е.1, Кочкаров А.А.1	94
ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ЗЕЛЕННОЙ ЛОЗЫ СТОЛОВЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА - Берлева М.В., Миронова Е.А.	95
КВЕРЦЕТИН КАК ФИТОПРОТЕКТОР БОБОВ VICIA FABA L. ПРОТИВ ДЕЙСТВИЯ КАДМИЯ - Богданова Д.С., Крылова В.В., Шугаев А.Г.	96
ИЗУЧЕНИЕ L-ФЕНИЛАЛАНИН-АММОНИЙ-ЛИАЗНОЙ АКТИВНОСТИ У МИКРООРГАНИЗМОВ - Брагинец И.А., Василенко С.Л.	97
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОСАЛИПУРПОЗИДА В ЦВЕТКАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БЕССМЕРТНИКА МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР 1H - Васильев В.Г.1, Шеремета А.В.1, Бакова Н.Н.2, Холмуродова Д.К.3, Бобкова Н.В.4, Ткаченко Д.Д.4, Цицилин А.Н.5, Ордабаева С.К.6, Селиванова И.А.4	98
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОРНЕ ACHILLEA MILLEFOLIUM L. МЕТОДАМИ ГХ-МС И ИК-СПЕКТРОСКОПИИ - Елшібаева А.А., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К.*	99
ФЕНОЛЬНЫЙ ОБМЕН ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ И РИСА В УСЛОВИЯХ АНОКСИИ И ПОСТАНОКСИЧЕСКОЙ АЭРАЦИИ - Емельянов В.В., Уварова А.А.,	100

Бертова А.Д.

- ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ И ПОДХОДЫ К РЕГУЛЯЦИИ ИХ БИОСИНТЕЗА - Загоскина Н.В. 101
- ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОФИЛЯ ФЕНОЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ МОРСКОЙ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ *FURCELLARIA LUMBRICALIS* - Замяткина Е.Б., Яньшин Н.А., Тараховская Е.Р. 102
- РОЛЬ ФЛАВАНОВ В ОТВЕТЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК НА ЭКЗОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ - Зубова М.Ю., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В. 103
- ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЖЕЛУДЯХ ДУБА КРАСНОГО (*QUERCUS RUBRA* L.) ПРИ ПРОРАСТАНИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ - Зятева Е.С., Лебедев В.Г. 104
- ТРАНСКРИПТОМНО-МЕТАБОЛОМНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЛИ ФЛАВОНОИДОВ В ИНИЦИАЦИИ БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА И В ПРОЯВЛЕНИИ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ - Иванов П.А., Сулима А.С., Зорин Е.А., Тихонович И.А., Жуков В.А. 105
- ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА КОРЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ДАУРСКОЙ НА АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ ПРОРОСТКОВ СОИ ПРИ ГИПЕРТЕРМИИ - Иваченко Л.Е.1, Блинова А.А.1, Огурцов И.Б.2, Фокина Е.М.3, Кузнецова В.А.4 106
- ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АПИКАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ КОРНЯ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ЦИНКА ИЛИ МЕДИ В СУБСТРАТЕ - Игнатенко А.А., Игнатенко Р.В.\*, Казнина Н.М. 107
- ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ - Игнатенко Р.В., Ершова М.А., Чирва О.В., Игнатенко А.А. 108
- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОСТАВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВ *ROSACEAE* И *LAMIACEAE* - Карпова Е.А., Коцупий О.В., Асташенков А.Ю., Амброс Е.В. 109
- РОДОДЕНДРОНЫ *IN VIVO* И *IN VITRO*: МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ - Катанская В.М.1, Васильева О.Г.2, Костикова В.А.3, Храмова Е.П.3, Загоскина Н.В.1 110
- АНТОЦИАНЫ – СОЕДИНЕНИЯ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В СОРТАХ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) - Ким И.В., Клыков А.Г. 111
- ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM FRUITING BODIES OF TINDER FUNGI - Kiseleva I.S., Ermoshin A.A., Byzova M.A. 112
- РЕГУЛЯЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ КОРНЕЙ НА ФОНЕ УСИЛЕННОЙ ЛИГНИФИКАЦИИ - Кудоярова Г.Р., Веселов Д.С., Архипова Т.Н., Ахтямова З.А., Шарипова Г.В., Ахиярова Г.Р., Вафина Г.Х., Иванов Р.С. 113
- ПОТЕНЦИАЛЫ МЕТАБОЛИЗМА ЭКЗОГЕННОГО НАФТАЛИНА В РАСТЕНИЯХ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.) - Макарова Л.Е., Еникеев А.Г., Бизиков П.А., Ищенко А.А., Петрова И.Г. 114
- ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЯКУТСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ РЕДКОГО ВИДА *ADONIS SIBIRICA* PATRIN EX LEDEB. - Охлопкова Ж.М.1, Максимов Е.Е.1, Разгонова М.П.2,3 115
- БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭКСТРАКТОВ ОМЕЛЫ БЕЛОЙ (*VISCUM ALBUM* L.) И ИХ АНТИФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ - Паршина М.Н., Кондратюк Д.Р., 116

Масленников П.В.

- ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО (*HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.) - Михель И.М., Барашкова А.С., Рогожин Е.А.\* 117
- СРАВНЕНИЕ СОСТАВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ *CHAENOMELES JAPONICA* - Мотылева С.М.1,4, Утьянов Д.А.1,2, Комар-Темная Л.Д.1,3, Митрофанова И.В.1, Молканова О.И.1 118
- УЧАСТИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФЛАВОНОИДОВ В РИЗОСФЕРНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ - Муратова А.Ю.1, Панченко Л.В.1, Кузянов Д.А.2 119
- ИЗМЕНЕНИЯ В АКТИВНОСТИ МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ В ПРОРОСТКАХ СОИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИГИДРОКВЕРЦИТИНА - Огурцов И.Б., Иваченко Л.Е.\* 120
- НОВЫЕ АЦИЛИРОВАННЫЕ ФЛАВОН- И ФЛАВОНОЛ-О-ГЛИКОЗИДЫ В СЕМЕЙСТВЕ АРИСЕАЕ ИЗ ФЛОРЫ БУРЯТИИ - Оленников Д.Н.1, Кащенко Н.И.1, Шишмарева Т.М.1, Шишмарев В.М.1, Корнопольцева Т.В.1, Петров Е.В.1, Казанчян А.Н.2, Шапилов А.А.2, Чирикова Н.К.3 121
- ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГЛАЗАМИ БОТАНИКА-СИСТЕМАТИКА - Остроумова Т.А. 122
- КОМПЛЕКС ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОГО ВИДА *LILIUM PILOSIUSCULUM* (FREYN) MISCZ. - Охлопкова Ж.М.1, Кучарова Е.В.1, Разгонова М.П.2,3 123
- РОЛЬ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ *OLEA EUROPAEA* L. - Палий А.Е., Губанова Т.Б., Корсакова С.П., Палий И.Н., Мелкозёрова Е.А. 124
- СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И АНТОЦИАНОВ В ЛИСТЬЯХ И ПЛОДАХ *VACCINIUM VITIS-IDAEA* В УСЛОВИЯХ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ - Паршуков В.С., Дымова О.В. 125
- ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭКСТРАКТОВ ДВУХ ВИДОВ РОДА *ASTAEA* (*RHANUNCULACEAE*) И ИХ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ - Петрова Н.В.1, Черноносков А.А.2, Шалдаева Т.М.3, Коваль В.В.2, Костикова В.А.3, Эрст А.С.3 126
- ЭФФЕКТ СВЕТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ШТАММАХ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР ЧАЙНОГО РАСТЕНИЯ - Сартыкова С.А., Аксенова М.А.\*, Загоскина Н.В.\* 127
- ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ — УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ФОТОПРОТЕКТОРЫ РАСТЕНИЙ - Соловченко А.Е. 128
- ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ СОРТОВ СОИ (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.) ХАБАРОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ - Степанов А.С., Холодков А.А., Цимбалист Н.А.\* 129
- ОСОБЕННОСТИ БИОСИНТЕЗА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ДВУХ ШТАММАХ *IN VITRO* КУЛЬТУР *CAMELLIA SINENSIS* L. С РАЗЛИЧНЫМИ МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ - Темерова В.В., Катанская В.М., Аксенова М.А., Колачевская О.О., Загоскина Н.В. 130
- ПРОИЗВОДНЫЕ ГОССИПОЛА В КАЧЕСТВЕ ИНСЕКТИЦИДОВ ПРОТИВ ТУРКЕСТАНСКИХ ТЕРМИТОВ (*ANACANTHOTERMES TURKESTANICUS*) - 131

Тиялбаев З.1, Режепов К.Ж.1, Ходжаниязов Б.А.2, Алимбаева Ш.Б.,2 Хашимова М.Р.3	
АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ И СОДЕРЖАНИЕ ИЗОФЛАВОНОВ В СЕМЕНАХ И ПРОРОСТКАХ СОИ - Кузнецова В.А.1, Трофимцова И.А.2, Блинова А.А.2, Михайлова М.П.3	132
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ОЗДОРОВЛЕНИИ ОТ ВИРУСОВ И МИКРОРАЗМНОЖЕНИИ САДОВЫХ КУЛЬТУР - Упадышев М.Т.	133
ДИКОРАСТУЩИЕ И КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ РАСТЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ИСТОЧНИК АНТИОКСИДАНТНЫХ И ПРОТИВОГРИППОЗНЫХ СРЕДСТВ - Храмова Е.П., Лобанова И.Е., Шалдаева Т.М., Карпова Е.А., Проценко М.А.*, Филиппова Е.И.*, Макаревич Е.В.*, Шишкина Л.Н.*	134
КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММЫ ФЛАВОНОИДОВ В ПЛОДАХ СОФОРЫ ЯПОНСКОЙ (SORHORA JAPONICA L.) - Чередник М.К., Куркин В.А.	135
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР - Шеремета А.В., Васильев В.Г., Ивлев В.А.	136
ИЗМЕНЕНИЯ МЕТАБОЛОМА ПРИ ДЕФИЦИТЕ И ИЗБЫТКЕ КИСЛОРОДА: ЧТО МЫ ЗНАЕМ ПРО ФЕНОЛЫ? - Шишова М.Ф., Емельянов В.В.	137
НАКОПЛЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ БРОМИРОВАННЫХ ФЕНОЛОВ В ТАЛЛОМАХ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ VERTEBRATA FUSCOIDES В ПРИСУТСТВИИ КАТИОНОВ МЕДИ - Яньшин Н.А., Замяткина Е.Б., Тараховская Е.Р.	138
<b>СЕКЦИЯ 3 - Биогенез фенольных соединений: структура, гены, компартментация</b>	<b>139</b>
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВЕ АДАПТАЦИИ ARABIDOPSIS THALIANA К ПОВЫШЕННОМУ УРОВНЮ UV-B И СВЕТУ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ - Абрамова А.А., Пашковский П.П., Верещагин М.В., Креславский Вл.Д.*	140
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТРИХОМАХ ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ - Костюкова Ю.А., Агеева М.В., Румянцева Н.И.	141
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В СИНТЕЗ УФ-ИНДУЦИРУЕМЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИШАЙНИКЕ LOBARIA PULMONARIA - Лексин И.Ю., Минибаева Ф.В.	142
ФЕНОЛЬНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: СИНТЕЗ, ГЕННЫЕ КЛАСТЕРЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ - Минибаева Ф.В.	143
МЕТАБОЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДА ПОСРЕДСТВОМ РЕАКЦИЙ ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ - Никерова К.М., Галибина Н.А., Софронова И.Н., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Ершова М.А.	144
ИДЕНТИФИКАЦИЯ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ 3-ДЕГИДРОХИНАТАДЕГИДРАТАЗ/ШИКИМАТДЕГИДРОГЕНАЗ CORNUS SERICEA L. НА ОСНОВЕ DE NOVO СЕКВЕНИРОВАНИЯ ТРАНСКРИПТОМА - Никонорова Е.Р.*, Кроль Т.А., Балеев Д.Н.	145
ЭКСПРЕССИЯ СТРУКТУРНЫХ ГЕНОВ ФЕНИЛПРОПАНОИДНОГО И ФЛАВОНОИДНОГО ПУТЕЙ ВЫЯВЛЯЕТ ОСОБЕННОСТИ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ У ЧЕСНОКА (ALLIUM SATIVUM L.) - Филлюшин М.А.*, Щенникова А.В., Кочиева Е.З.	146



ТРОЙСТВЕННАЯ ПРИРОДА БЕЛОГО КЛЕВЕРА ( <i>TRIFOLIUM REPENS</i> L.) С ЯРКО-РОЗОВОЙ ОКРАСКОЙ СОЦВЕТИЙ - Шамустакимова А.О., Иванова А.А.	147
<b>СЕКЦИЯ 4 - Регуляция накопления фенольных соединений и метаболическая инженерия</b>	<b>148</b>
РЕГУЛЯЦИЯ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИХ ПРЕДШЕСТВЕННИКАМИ (НА ПРИМЕРЕ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР <i>CAMELLIA SINENSIS</i> ) - Аксенова М.А., Нечаева Т.Л., Загоскина Н.В.	149
НАКОПЛЕНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ РАЗНЫХ СОРТОВ КАПУСТЫ КЕЙЛ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МЕЛАФЕНА И ЦИРКОНА - Алмуграби Е., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.	150
МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ «БОРОДАТЫХ» КОРНЕЙ СОЛОДКИ УРАЛЬСКОЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С ПРИРОДНЫМИ ОБРАЗЦАМИ - Андрейчук Д.Д., Амброс Е.В., Коцупий О.В.	151
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ РОДА <i>CALLISTEMON</i> - Мирная Е.В., Белоус О.Г.	152
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВЕРЕСКОВЫХ РАСТЕНИЙ, НАКОПЛЕНИЕ В КАЛЛУСНЫХ И СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУРАХ - Березина Е.В., Рыбин Д.А., Сухова А.А., Сёмин А.А., Устинов В.А., Сергеева В.Д., Жаворонкова А.Е., Касьянова А.П., Брилкина А.А.	153
ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В СИНТЕЗЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ <i>CORNUS SERICEA</i> L. - Бондарев С.А., Середа А.А., Фаткулина Д.Б.*, Балеев Д.Н., Кроль Т.А., Никонорова Е.Р.	154
ПОДАВЛЕНИЕ ГЕНА <i>ATCHS</i> С ПОМОЩЬЮ ДЦРНК, КАК МЕХАНИЗМ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА ФЛАВОНОИДОВ У <i>ARABIDOPSIS</i> - Виноградова С.А.1, Супрун А.Р.1,2, Киселев К.В.1,2, Дубровина А.С.2	155
МЕЛАТОНИН РЕГУЛИРУЕТ НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЕ <i>LYCHNIS CHALCEDONICA</i> - Головацкая И.Ф., Попов Д.С., Прокопенко В., Кадырбаев М.К., Бойко Е.В., Лаптев Н.И.	156
РЕГУЛЯТОРНЫЙ ЭФФЕКТ ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА - Гончарук Е.А., Темерова В.В., Нечаева Т.Л., Габриэлян Д.А., Ивановский М.С.*, Живухина Е.А.*, Загоскина Н.В.	157
СИНТЕЗ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ФИТОХРОМНЫХ МУТАНТОВ РАСТЕНИЙ ТОМАТА ( <i>SOLANUM LICOPERSICUM</i> ) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ БЕЛЫМ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ И БЕЛЫМ СВЕТОДИОДНОМ СВЕТОМ - Жихрева А.В.1, Аксенова М.А.2, Верещагин М.В.3, Соболева А.В.1, Орлова А.А.1, Пашковский П.П.2, Фролов А.А.1	158
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СК-ОПОСРЕДОВАННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ ПРИ ИНВАЗИИ ГАЛЛОВОЙ НЕМАТОДОЙ <i>MELOIDOGYNE INCOGNITA</i> - Зиновьева С.В., Удалова Ж.В., Хасанов Ф.К.	159
ВЛИЯНИЕ СПЕКТРА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СИНТЕЗ КВЕРЦЕТИНА И СТЕВИОЛГЛИКОЗИДОВ В ЛИСТЬЯХ <i>STEVIA REBAUDIANA</i> - Иваницких А.С., Грянкина А.Е., Князева И.В., Смирнов А.А., Тараканов И.Г.	160

НАНОПРАЙМИНГ КАК СПОСОБ РЕГУЛЯЦИИ ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА У МИКРОЗЕЛЕНИ РАПИНЫ - Кочетков И.М., Жукова К.В., Ворошилов И.А., Венжик Ю.В.	161
ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МИКРОЗЕЛЕНИ СВЕЁКЛЫ В УСЛОВИЯХ БИХРОМАТИЧЕСКОГО LED ОСВЕЩЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМ СООТНОШЕНИЕМ КРАСНОГО И СИНЕГО ДИАПАЗОНОВ - Кугач В.А., Скуратович Т.А., Обуховская Л.В., Куделина Т.Н., Молчан О.В.	162
КРАТКОВРЕМЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АЛОЕ - Лапшин П.В., Живухина Е.А.*, Загоскина Н.В.	163
РЕГУЛЯТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ АЗОТА НА ОБРАЗОВАНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ФЛАВАН-3-ОЛОВ В ЛИСТЬЯХ <i>CAMELLIA SINENSIS</i> L. - Малюкова Л.С., Самарина Л.С.	164
ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТА <i>BACILLUS SUBTILIS</i> НА СОСТОЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ФЕНОЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА КОНТРАСТНЫХ ПО ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ - Масленникова Д.Р., Ласточкина О.В.	165
ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЕНИЯМИ НАПЕРСТЯНКИ ПУРПУРНОЙ - Махинова Е.Ю., Скороходова А.Н., Авакумов А.Д., Анисимов А.А.	166
ВЛИЯНИЕ НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ, ДОНОРА ОКСИДА АЗОТА, НА НАКОПЛЕНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В КУЛЬТУРЕ <i>CAMELLIA SINENSIS</i> L. - Нечаева Т.Л., Зубова М.Ю., Аксенова М.А., Загоскина Н.В.	167
ОЦЕНКА ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ СЕМЕЙСТВА <i>LUCAD</i> , КОНТРОЛИРУЮЩИХ СИНТЕЗ ЛИГНАНА В СЕМЕННОЙ ОБОЛОЧКЕ ЛЬНА ( <i>LINUM USITATISSIMUM</i> L.) - Никитинская Т.В., Кубрак С.В., Титок В.В.*	168
СОДЕРЖАНИЕ ОБЩИХ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ И ПОБЕГАХ ФЕЙХОА - Омарова З.М., Белоус О.Г.	169
ДУБИЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ХУРМЫ ВОСТОЧНОЙ - Омарова З.М., Белоус О.Г., Омаров М.Д.	170
СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУРАХ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ - Сёмин А.А., Устинов В.А., Жаворонкова А.Е., Березина Е.В., Брилкина А.А.	171
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ УЧАСТВУЮЩИХ В БИОСИНТЕЗЕ ТАННИНОВ НА ПРИМЕРЕ ПЯТИ ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ - Середа А.А., Бондарев С.А., Адамов Г.В., Балеев Д.Н., Никонорова Е.Р.	172
СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ В НАКОПЛЕНИИ ФЕНОЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ ИРИСА СИБИРСКОГО - Слепченко К.В., Белоус О.Г.	173
ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ И КАЗУАРИКТИНА НА ФЕРМЕНТЫ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И СИНТЕЗ ФНО-АЛЬФА, ИНДУЦИРОВАННЫЙ ЛПС, В ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА - Соколова Е.В., Адамов Г.В., Кроль Т.А., Шейченко О.П., Балеев Д.Н.	174
РЕГУЛЯЦИЯ ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА РАСТЕНИЙ ЭКЗОГЕННЫМИ РНК - Супрун А.Р.1,2, Киселев К.В.1,2, Дубровина А.С.2	175

ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ФИТОГОРМОНОВ И ОСВЕЩЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КУЛЬТУРАМИ КАЛЛУСНЫХ И СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК ГОЛУБИКИ ЩИТКОВОЙ - Сухова А.А., Сергеева В.Д., Березина Е.В., Брилкина А.А.	176
ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ И СЕМЯН СОИ GLYCINE MAX (L.) MERR. - Холодков А.А., Шепель О.Л., Степанова Т.А.*	177
ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ АНТОЦИАНОВ В ЛИСТЬЯХ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ - Чумак М.И., Белоус О.Г.	178
<b>СЕКЦИЯ 5 - Нано-, био-, аква- и фармтехнологии на основе фенольных соединений</b>	<b>179</b>
БУККАЛЬНЫЕ ПЛАСТЫРИ С МУКОАДГЕЗИВНЫМ СЛОЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ И ПРИРОДНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ КИСЛОТ - Белявская М.А., Хаинская Е.В., Дубашинская Н.В.*, Скорик Ю.А.*, Гилевская К.С.	180
ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛИЗАТОВ ФЛАВОНОИДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ АНТИОКСИДАНТОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ - Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н.	181
ДЕСТРУКЦИЯ ФЕНОЛА И ПИРОКАТЕХИНА МИКРОБНЫМИ КЛЕТКАМИ НОВОГО ИЗОЛЯТА РОДА RHODOSPOCCUS - Быков А.Г., Хохлова Г.В., Плеханова Ю.В., Решетиллов А.Н., Вайнштейн М.Б.	182
СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОНЬЮГАТОВ ПОЛИСАХАРИДОВ С ФЕНОЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ - Гилевская К.С., Хаинская Е.В.	183
ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНИЛПРОПАНОВОГО РЯДА ЧЕРЕЗ ИХ ДЕРИВАТЫ - Голубцова М.А., Савватеев А.М., Жевлакова А.К.	184
МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОЧИЩЕННЫХ МИКРОНИЗИРОВАННЫХ ФЛАВОНОИДНЫХ ФРАКЦИЙ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ ГОРЯЧЕГО РАСПЛАВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БИОДОСТУПНОСТИ - Данилова А.А., Флисюк Е.В.	185
ПРОПАРГИЛСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ РЕМАНТАДИНА, 4-АМИНОАНТИПИРИНА И СТРЕПТОЦИДА, СВЯЗАННЫЕ ПРИ ПОМОЩИ ГИДРОКСИБЕНЗАЛЬДЕГИДНЫХ ЛИНКЕРОВ - Дикусар Е.А., Маргун Е.Н., Акишина Е.А., Ковальская С.С., Поткин В.И.	186
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ТРАВЫ МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ КАК ИСТОЧНИКА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ - Епифанова А.И., Куркина А.В., Куркин В.А.	187
ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ РУТИНА И НЧ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (Fe3O4) - Казарян Ш.А., Рштуни Л.Р., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Бабаян А.В., Оганесян А.А.	188
КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОФИЛЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БИОНЕФТИ - Канатьева А.Ю., Кузнецов П.С., Борисов Р.С., Дементьев К.И.	189

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ХЛОРИНА Е6 И ТРИТОНА Х-100 ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ - Клименко И.В.1, Лобанов А.В.1,2	190
ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ФЕНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПОРФИРИНА С ПРОИЗВОДНЫМИ В – ЦИКЛОДЕКСТРИНА - Нерсесян Э.С.1, Клименко И.В.1, Лобанов А.В.1,2	191
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ БИОСЕНСОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛА - Кувичкина Т.Н., Решетиллов А.Н.	192
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРАВЫ ХРИЗАНТЕМЫ УВЕНЧАННОЙ - Магомедова Л.И., Сайбель О.Л.	193
БЕЗЗАТРАВОЧНЫЙ СИНТЕЗ ЗОЛОТЫХ НАНОСТЕРЖНЕЙ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ ПАВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОФОБНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ КУРКУМИНА И КВЕРЦЕТИНА - Мацур В.А., Зиновьев Т.В.*, Дементьева О.В.	194
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И СЕЛЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ КРАПИВЫ, И ИХ РОЛЬ В ИЗМЕНЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА - Носов И.О., Рожицын С.И., Антропова И.Г.	195
ВКЛАД ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗЕЛЕНЬ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА - Оганян К.В., Адамян Н., Казарян Ш.А., Тумоян Дж.Г., Оганян С.А., Оганесян А.А.	196
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ОСИМУМ АРАРАТУМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АНТИМИКРОБНЫХ НАНОФАРМТЕХНОЛОГИЙ - Оганян С.А., Казарян Ш.А., Рштуни Л.Р., Тумоян Дж.Г., Бабаян А.В., Оганесян А.А.	197
ПОЛИФЕНОЛЫ РОДА SPIRAEA КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФИТОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ АГЕНТЫ - Орлова А.А.1, Соболева А.В.1, Цветкова Е.В.2,3, Силинская С.А.1, Есаулкова Я.Л.4, Веклих Т.Н.5, Зарубаев В.В.4, Акбердин И.Р.6, Колмыков С.К.6, Костикова В.А.7, Фролов А.А.1	198
ИННОВАЦИОННЫЕ ПИЩЕВЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ ПОЛИФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ С ГИПОЛИПИДЕМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ: ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ - Петров Н.А., Сидорова Ю.С.	199
МЕЛАНИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА И КОНОПЛИ: ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА - Прутенская Е.А., Ущаповский В.И.*	200
ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ФЕЛЛАМУРИНА В КИСЛОЙ СРЕДЕ - Радимич А.И., Адамов Г.В., Гуленков А.С., Сайбель О.Л.	201
ВЫДЕЛЕНИЕ СОФОРАФЛАВОНОЛОЗИДА ИЗ ПЛОДОВ СОФОРЫ ЯПОНСКОЙ - Сайбель О.Л., Радимич А.И.	202
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛОРОГЛЮЦИНА ПРИ КЛОНАЛЬНОМ МИКРОРАЗМНОЖЕНИИ ЧАЯ - Серебрякова Ж.С.	203
НОВЫЕ СВОЙСТВА ПРЕПАРАТОВ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РАСТЕНИЯ МААКИЯ АМУРСКАЯ - Федореев С.А., Мищенко Н.П., Тарбеева Д.В., Крылова Н.В.*, Щелканов М.Ю.*	204
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛИФЕНОЛОВ МОРСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТРЕССЕ - Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф.	205

КОНЬЮГАТЫ ПОЛИСАХАРИДОВ С ФЕНОЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ МАТРИЦЫ-НОСИТЕЛИ ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ ВИТАМИНОВ ГРУППЫ В - Хаинская Е.В., Гилевская К.С.	206
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА И L-ЛИЗИНА В КОМПОЗИЦИЯХ - Свотин А.А., Ходячих А.А., Терехов Р.П., Селиванова И.А.	207
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СТРУКТУР, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССАХ КАРБОНИЗАЦИИ МОНОСАХАРИДОВ В ПРИСУТСТВИИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ АГЕНТОВ - Черепанов И.С., Егорова А.И., Белков А.А.	208
ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА: ОТ СИНТЕЗА К СОЗДАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ - Якимов Л.С.	209
НОВЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РУТИНА И КВЕРЦЕТИНА - Яковишин Л.А., Ратников В.Д.	210
ФАРМАКОДИНАМИКА И ФАРМАКОКИНЕТИКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ФЕНОЛЬНОГО АНТИОКСИДАНТА В КАЧЕСТВЕ ГЕПАТОПРОТЕКТОРА - Яновская Е.А., Фрелих Г.А., Лакеев А.П., Цуран Д.В., Смольякова В.И., Чернышева Г.А.	211
<b>ЗАГОЛОВКИ РАБОТ ПО РАЗДЕЛАМ:</b>	212
<b>УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ</b>	226



## УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Alimbayeva Sh.B., 16, 17, 18  
 Asylbekova A.A., 15  
 Beckett R.P., 92  
 Byzova M.A., 112  
 Ermoshin A.A., 112  
 Jalmakhanbetova R.I., 15  
 Keldibekova R.N., 15  
 Khodzhanizayov B.A., 17, 18  
 Khuzwayo T.N., 92  
 Khashimova M., 18  
 Kiseleva I.S., 112  
 Makhmudov L.U., 17  
 Minibayeva F.V., 92  
 Mukusheva G.K., 15  
 Ndhlovu N.T., 92  
 Rezhnev K.Zh., 16, 17, 18  
 Tilyabaev Z., 18  
 Zhumagaliyeva Zh.Zh., 15  
 Абакарова А.А., 26  
 Абелян Н.Н., 81  
 Абрамова А.А., 140  
 Авакумов А.Д., 93, 166  
 Агеева М.В., 141  
 Агзамова М.А., 19  
 Адамов Г.В., 172, 174, 201  
 Адамян Н., 196  
 Аетов А.У., 71  
 Акбердин И.Р., 198  
 Акишина Е.А., 186  
 Акованцева А.С., 51  
 Аксенова М.А., 127, 130, 149, 158, 167  
 Акулов А.Н., 28  
 Аливердиева Д.А., 26  
 Алимбаева Ш.Б., 131  
 Алмуграби Е., 150  
 Амброс Е.В., 67, 109, 151  
 Ан Л.А., 38  
 Андрейчук Д.Д., 151  
 Аникина Д.С., 94  
 Анисимов А.А., 93, 166  
 Антропова И.Г., 195  
 Арустамян М.М., 20  
 Архипов А.В., 64  
 Архипова Т.Н., 113  
 Асташенков А.Ю., 109  
 Афошин Н.В., 7  
 Ахиярова Г.Р., 113  
 Ахтямова З.А., 113  
 Бабаян А.В., 81, 188, 197  
 Бабич О.О., 24, 33  
 Бакова Н.Н., 98  
 Балакина А.С., 21  
 Балеев Д.Н., 145, 154, 172, 174  
 Барашкова А.С., 117  
 Батова Ю.В., 22  
 Баулин В.Е., 23  
 Баулин Д.В., 70  
 Бахтиярова А.Х., 24  
 Бацин Н.С., 25  
 Бейбалаева А.К., 26  
 Белков А.А., 208  
 Белоус О.Г., 152, 169, 170, 173, 178  
 Белявская М.А., 180  
 Беляев Н.А., 37  
 Бергел К.И., 79  
 Березина Е.В., 153, 171, 176  
 Берлева М.В., 95  
 Бертова А.Д., 100  
 Бизиков П.А., 114  
 Блинова А.А., 106, 132  
 Бобкова Н.В., 98  
 Богданова Д.С., 96  
 Богомоллов М.А., 27  
 Бойко Е.В., 41, 156  
 Болотов В.М., 181  
 Бондарев С.А., 154, 172  
 Борисов Р.С., 189  
 Брагинцев И.А., 97  
 Брейгина М.А., 56  
 Брилкина А.А., 153, 171, 176  
 Буряк А.К., 77  
 Быков А.Г., 182  
 Быковская И.А., 90  
 Вайнштейн М.Б., 182  
 Валиева А.И., 28  
 Варфоломеев С.Д., 71  
 Василенко С.Л., 97  
 Васильев В.Г., 75, 98, 136  
 Васильева О.Г., 110  
 Вафина Г.Х., 113  
 Веклих Т.Н., 198  
 Венжик Ю.В., 161  
 Верещагин М.В., 140, 158  
 Веселов Д.С., 113  
 Виноградова С.А., 155  
 Винокур М.В., 58  
 Волъева В.Б., 29, 71  
 Воробьев С.В., 42, 56, 88  
 Воронина М.С., 30  
 Ворошилов И.А., 161  
 Габриэлян Д.А., 157  
 Гайдин С.Г., 78  
 Галибина Н.А., 7, 144  
 Гасанов Р.З., 26  
 Генерозова И.П., 36, 60  
 Герасимов Н.Ю., 31, 60  
 Гетиа М., 43  
 Гилевская К.С., 180, 183, 206  
 Головацкая И.Ф., 41, 156  
 Голощапов А.Н., 31, 60  
 Голубцова М.А., 184  
 Гоман В.Ф., 32  
 Гончарук Е.А., 157  
 Грянкина А.Е., 160  
 Губанова Т.Б., 124  
 Гуленков А.С., 201  
 Гумеров Ф.М., 71  
 Гурина А.К., 33  
 Данилова А.А., 185  
 Дементьев К.И., 189  
 Дементьева О.В., 194  
 Дерябина Е.А., 48  
 Джалмаханбетова Р.И., 99  
 Джатдоева С.А., 94  
 Дикусар Е.А., 186  
 Дитченко Т.И., 34  
 Дубашинская Н.В., 180  
 Дубровина А.С., 155, 175  
 Дымова О.В., 125  
 Дышлюк Л.С., 24  
 Егорова А.И., 208  
 Едимечева И.П., 76  
 Елшібаева А.А., 99  
 Емельянов В.В., 100, 137  
 Еникеев А.Г., 35, 114  
 Епифанова А.И., 187  
 Ермак А.Д., 89  
 Ермошин А.А., 49, 54  
 Ершова М.А., 108, 144  
 Есаулкова Я.Л., 198  
 Ефимова С.С., 64

- Жаворонкова А.Е., 153, 171  
 Жевлакова А.К., 184  
 Живухина Е.А., 157, 163  
 Жигачева И.В., 31, 36, 60  
 Жихрева А.В., 158  
 Жорин В.А., 29  
 Жуков В.А., 105  
 Жукова К.В., 161  
 Заварзина А.Г., 37  
 Загоскина Н.В., 10, 101, 103, 110, 127, 130, 149, 157, 163, 167  
 Зайцева Е.Н., 72  
 Замяткина Е.Б., 102, 138  
 Зарубаев В.В., 198  
 Зибарева Л.Н., 38  
 Зиннер Н.С., 41  
 Зиновьев Т.В., 194  
 Зиновьева С.В., 159  
 Злодеева П.Д., 64  
 Зорин Е.А., 105  
 Зубова М.Ю., 103, 167  
 Зуева Е.П., 38  
 Зырянов А.А., 82  
 Зятева Е.С., 104  
 Иваницких А.С., 160  
 Иванов П.А., 105  
 Иванов Р.С., 113  
 Иванова А.А., 147  
 Иванова Е.Н., 70  
 Иванова И.С., 23  
 Ивановский М.С., 157  
 Иваченко Л.Е., 106, 120  
 Ивлев В.А., 136  
 Игнатенко А.А., 107, 108  
 Игнатенко Р.В., 107, 108  
 Игнатова Д.Ф., 30  
 Икконен Е.Н., 22  
 Ильясов И.Р., 32  
 Илюхин А.Б., 23, 70  
 Иманова С.С., 39  
 Ишманов Т.Ф., 64  
 Ищенко А.А., 114  
 Кавтарадзе Н., 43  
 Кавтарадзе Н.Ш., 40  
 Кадырбаев М., 41  
 Кадырбаев М.К., 156  
 Кадыров И.Н., 42  
 Казакова М.А., 72  
 Казанчян А.Н., 121  
 Казарян Ш.А., 20, 59, 81, 188, 196, 197  
 Казнина Н.М., 107  
 Калацкая Ж.Н., 63  
 Канатьева А.Ю., 189  
 Кандалинцева Н.В., 55  
 Карпова Е.А., 109, 134  
 Касьянова А.П., 153  
 Катанская В.М., 110, 130  
 Кащенко Н.И., 121  
 Квицинадзе М., 43  
 Кем К.Р., 44  
 Ким И.В., 111  
 Ким Ю.А., 78  
 Кириллова И.Г., 69  
 Киселев К.В., 155, 175  
 Клименко И.В., 190, 191  
 Климова Е.В., 45  
 Клыков А.Г., 111  
 Князева И.В., 160  
 Коваль В.В., 126  
 Ковальская С.С., 186  
 Кожемякина Д.П., 41  
 Колачевская О.О., 130  
 Колесникова Д.Р., 66  
 Колмыков С.К., 198  
 Комаров А.А., 46  
 Комарова Е.В., 181  
 Комар-Темная Л.Д., 118  
 Кондратюк Д.Р., 116  
 Корженевский М.А., 7, 144  
 Корнопольцева Т.В., 121  
 Корочкина М.Д., 66, 79  
 Корсакова С.П., 124  
 Костикова В.А., 110, 126, 198  
 Костюкова Ю.А., 141  
 Коцупий О.В., 109, 151  
 Кочетков И.М., 161  
 Кочиева Е.З., 146  
 Кочкаров А.А., 94  
 Кошелев В.Н., 27, 42, 56, 74, 88  
 Красников П.Е., 65  
 Креславский Вл.Д., 140  
 Кривозубова Е.В., 79  
 Кривошеева Е.А., 79  
 Крикунова Н.И., 36  
 Кроль Т.А., 145, 154, 174  
 Крылова В.В., 96  
 Крылова Н.В., 204  
 Ксендзова Г.А., 47, 76, 89  
 Кубрак С.В., 168  
 Кувичкина Т.Н., 192  
 Кугач В.А., 162  
 Куделина Т.Н., 162  
 Кудоярова Г.Р., 113  
 Кузнецов П.С., 189  
 Кузнецова В.А., 106, 132  
 Кузнецова Н.Ф., 68  
 Кузянов Д.А., 119  
 Кунина В.А., 57  
 Куркин В.А., 8, 11, 72, 135, 187  
 Куркина А.В., 187  
 Кучарова Е.В., 123  
 Кушнерова Н.Ф., 205  
 Лаврентьева И.А., 48  
 Лакеев А.П., 211  
 Ламан Н.А., 44  
 Лаптев Н.И., 156  
 Лапшин П.В., 163  
 Лапшина М.А., 23, 70  
 Ларина В.В., 48  
 Ласточкина О.В., 165  
 Лебедев В.Г., 104  
 Лёвкин И.А., 86, 87  
 Лексин И.Ю., 142  
 Лобанов А.В., 190, 191  
 Лобанова И.Е., 134  
 Лосев Е.Л., 34  
 Лотоцкий С.О., 49, 54  
 Лузина О.А., 50  
 Лунева В.Е., 94  
 Лысенко А.Г., 51, 61  
 Магомедова Л.И., 193  
 Макаревич Е.В., 134  
 Макарова Л.Е., 114  
 Макеева И.Ю., 69  
 Максимов Е.Е., 115  
 Малыхина А.И., 64  
 Малюкова Л.С., 164  
 Мансуров Д.А., 52, 53  
 Маргун Е.Н., 186  
 Мартынюк В.А., 64  
 Масленников П.В., 116  
 Масленникова Д.Р., 165  
 Матыков Н.Е., 49, 54  
 Махинова Е.Ю., 93, 166  
 Мацур В.А., 194  
 Мелкозёрова Е.А., 124  
 Меньщикова Е.Б., 55  
 Мешалкина Д.А., 33

- Мизин Д.В., 56  
 Милентьева И.С., 84  
 Минибаева Ф.В., 142, 143  
 Мирная Е.В., 152  
 Миронова Е.А., 95  
 Митрофанова И.В., 118  
 Михайлова М.П., 132  
 Михель И.М., 117  
 Мищенко Н.П., 204  
 Молканова О.И., 118  
 Молчан О.В., 162  
 Москвичева В.В., 57  
 Мостякова А.А., 150  
 Мотылева С.М., 58, 118  
 Мощенская Ю.Л., 7, 144  
 Мукушева Г.К., 99  
 Муратова А.Ю., 119  
 Мурашко Е.А., 24  
 Мхитарян А.Г., 59  
 Неврова О.В., 31, 60  
 Нерсисян Э.С., 191  
 Нечаева Т.Л., 103, 149, 157, 167  
 Никерова К.М., 7, 144  
 Никитинская Т.В., 168  
 Николаев Ю.Н., 62  
 Николаева В.В., 61  
 Николаева Н.С., 23, 70  
 Николайчук В.В., 63  
 Никонорова Е.Р., 145, 154, 172  
 Никулина С.А., 41  
 Носов И.О., 195  
 Обуховская Л.В., 162  
 Овсянникова Е.М., 89  
 Овсянникова М.Н., 29, 71  
 Овчинников И.А., 63  
 Оганесян А.А., 20, 59, 81, 188, 196, 197  
 Оганян К.В., 196  
 Оганян С.А., 20, 59, 81, 188, 196, 197  
 Огурцов И.Б., 106, 120  
 Октябрьский О.Н., 73, 82  
 Оленников Д.Н., 121  
 Оличева В.В., 32  
 Оманова У.М., 19  
 Омаров М.Д., 170  
 Омарова З.М., 169, 170  
 Ордабаева С.К., 98  
 Орлова А.А., 24, 158, 198  
 Осипов Д.В., 65  
 Осипова Л.В., 90  
 Островская Н.И., 47  
 Остроумова О.С., 64  
 Остроумова Т.А., 122  
 Осянин В.А., 65  
 Охлопкова Ж.М., 115, 123  
 Палий А.Е., 124  
 Палий И.Н., 124  
 Панков Д.И., 66, 79  
 Панкратова Е.С., 74  
 Панова У.Л., 67  
 Панченко Л.В., 119  
 Паршина М.Н., 116  
 Паршуков В.С., 125  
 Пашковский П.П., 140, 158  
 Петров Е.В., 121  
 Петров Н.А., 199  
 Петрова Е.С., 55  
 Петрова И.Г., 114  
 Петрова Н.В., 126  
 Платонова Н.Б., 45  
 Плеханова Ю.В., 182  
 Полякова Л.В., 68  
 Померанец А.К., 7  
 Попов Д.С., 156  
 Поткин В.И., 186  
 Прокопенко В., 156  
 Проценко М.А., 134  
 Прутенская Е.А., 200  
 Пузина Т.И., 69  
 Пушкарева Е.М., 37  
 Пятова Е.Н., 23  
 Пятова И.С., 70  
 Радимич А.И., 201, 202  
 Радина В.Е., 94  
 Разгонова М.П., 115, 123  
 Рамазанов Р.Б., 30  
 Ратников В.Д., 210  
 Рахимов А.А., 66  
 Режепов К.Ж., 131  
 Репкина Н.С., 22  
 Решетилов А.Н., 182, 192  
 Рогачёва Ю.И., 23, 70  
 Рогова У.Р., 38  
 Рогожин Е.А., 117  
 Рожицын С.И., 195  
 Розанов И.А., 77  
 Ромах Л.П., 55  
 Рубаева А.А., 86, 87  
 Ружицкий А.О., 94  
 Румянцева Н.И., 28, 141  
 Рштуни Л.Р., 188, 197  
 Рыбалкина О.Ю., 38  
 Рыбин Д.А., 153  
 Рыжакова А.В., 29, 71  
 Савватеев А.М., 184  
 Саввин П.Н., 181  
 Савельева А.Е., 72  
 Сагарейшвили Т.Г., 40  
 Сагателян Г., 59  
 Сайбель О.Л., 193, 201, 202  
 Самарина Л.С., 164  
 Самойлова З.Ю., 73  
 Сартыкова С.А., 127  
 Свотин А.А., 66, 79, 207  
 Селиванова И.А., 12, 66, 75, 79, 98, 207  
 Сёмин А.А., 153, 171  
 Сергеева В.Д., 153, 176  
 Серебрякова Ж.С., 203  
 Серeda А.А., 154, 172  
 Серкова А.А., 7  
 Серых А.Е., 55  
 Сидорова Ю.С., 199  
 Силинская С.А., 24, 198  
 Сильченко А.Р., 61  
 Скорик Ю.А., 180  
 Скороходова А.Н., 166  
 Скуратович Т.А., 162  
 Слепченко К.В., 173  
 Смирнов А.А., 160  
 Смирнова Г.В., 73, 82  
 Смольякова В.И., 211  
 Снастина О.В., 27, 39, 74  
 Соболева А.В., 158, 198  
 Соболева Н.Я., 75  
 Соколова Е.В., 174  
 Соловченко А.Е., 128  
 Соловьев В.П., 23, 70  
 Сорокин В.Л., 47  
 Сосновская А.А., 76  
 Софронова И.Н., 144  
 Ставрианиди А.Н., 77  
 Степанов А.С., 129  
 Степанова Т.А., 177  
 Сулима А.С., 105  
 Супрун А.Р., 80, 155, 175  
 Сутиашвили М.Г., 40  
 Сухишвили Н., 43  
 Сухова А.А., 153, 176  
 Тараканов И.Г., 160  
 Тараскин В.В., 62

- Тараховская Е.Р., 102, 138  
Тараховский Ю.С., 78  
Тарбеева Д.В., 204  
Тарелкина Т.В., 7  
Темерова В.В., 130, 157  
Терехов Р.П., 66, 79, 207  
Тилябаев З., 131  
Тимофеева О.А., 150  
Титок В.В., 168  
Тихонович И.А., 105  
Ткаченко Д.Д., 98  
Торохова И.Н., 80  
Тошов Х.С., 52, 53  
Трофимцова И.А., 132  
Тумоян Дж.Г., 20, 59, 81, 188, 196, 197  
Тутельян В.А., 21  
Уварова А.А., 100  
Удалова Ж.В., 159  
Уколова В.А., 39  
Упадышев М.Т., 133  
Усманов Р.А., 71  
Устинов В.А., 153, 171  
Утьянов Д.А., 118  
Ушаков В.Ю., 82  
Ущиповский В.И., 200  
Фаткулина Д.Б., 154  
Федореев С.А., 204  
Федорова А.М., 84  
Фенин А.А., 51, 61  
Филиппова Е.И., 134  
Филлюшин М.А., 146  
Флисюк Е.В., 185  
Фокина Е.М., 106  
Фоменко С.Е., 205  
Фрелих Г.А., 211  
Фролов А.А., 24, 33, 83, 158, 198  
Фролова А.С., 84  
Хаинская Е.В., 180, 183, 206  
Хаитбаев А.Х., 52, 53  
Хасанов Ф.К., 159  
Хашимова М.Р., 131  
Ходжаниязов Б.А., 131  
Ходячих А.А., 207  
Холмуродова Д.К., 98  
Холодков А.А., 129, 177  
Хохлова Г.В., 182  
Храмова Е.П., 13, 110, 134  
Храпова М.В., 55  
Цветкова Е.В., 33, 198  
Цебрикова Г.С., 23, 70  
Цибина А.С., 72  
Цивадзе А.Ю., 23, 70  
Цимбалист Н.А., 129  
Цицилин А.Н., 98  
Цуран Д.В., 211  
Чередник М.К., 135  
Черепанов И.С., 208  
Черноносков А.А., 126  
Чернышева Г.А., 211  
Чечушков А.В., 55  
Чирва О.В., 108  
Чирикова Н.К., 121  
Чумак М.И., 178  
Шалашвили К.Г., 40  
Шалдаева Т.М., 126, 134  
Шамилов А.А., 121  
Шамустакимова А.О., 147  
Шарипова Г.В., 113  
Шевкунов А.Б., 94  
Шевченко О.Г., 85  
Шейченко О.П., 174  
Шекунов Е.В., 64  
Шепель О.Л., 177  
Шеремета А.В., 98, 136  
Шерудило Е.Г., 86, 87  
Шиббаева Т.Г., 86, 87  
Шириков Д.Н., 88  
Широкова А.В., 94  
Шишкина Л.Н., 134  
Шишмарев В.М., 121  
Шишмарева Т.М., 121  
Шишова М.Ф., 137  
Шугаев А.Г., 96  
Шульц Э.Э., 62  
Щелканов М.Ю., 204  
Щенникова А.В., 146  
Эрст А.С., 126  
Юркова И.Л., 89  
Якимова Л.С., 209  
Яковишин Л.А., 210  
Яковлева О.С., 90  
Ямилева Э.М., 58  
Яновская Е.А., 211  
Янчик Д.А., 33  
Яньшин Н.А., 102, 138

ISBN 978-5-00270-203-9

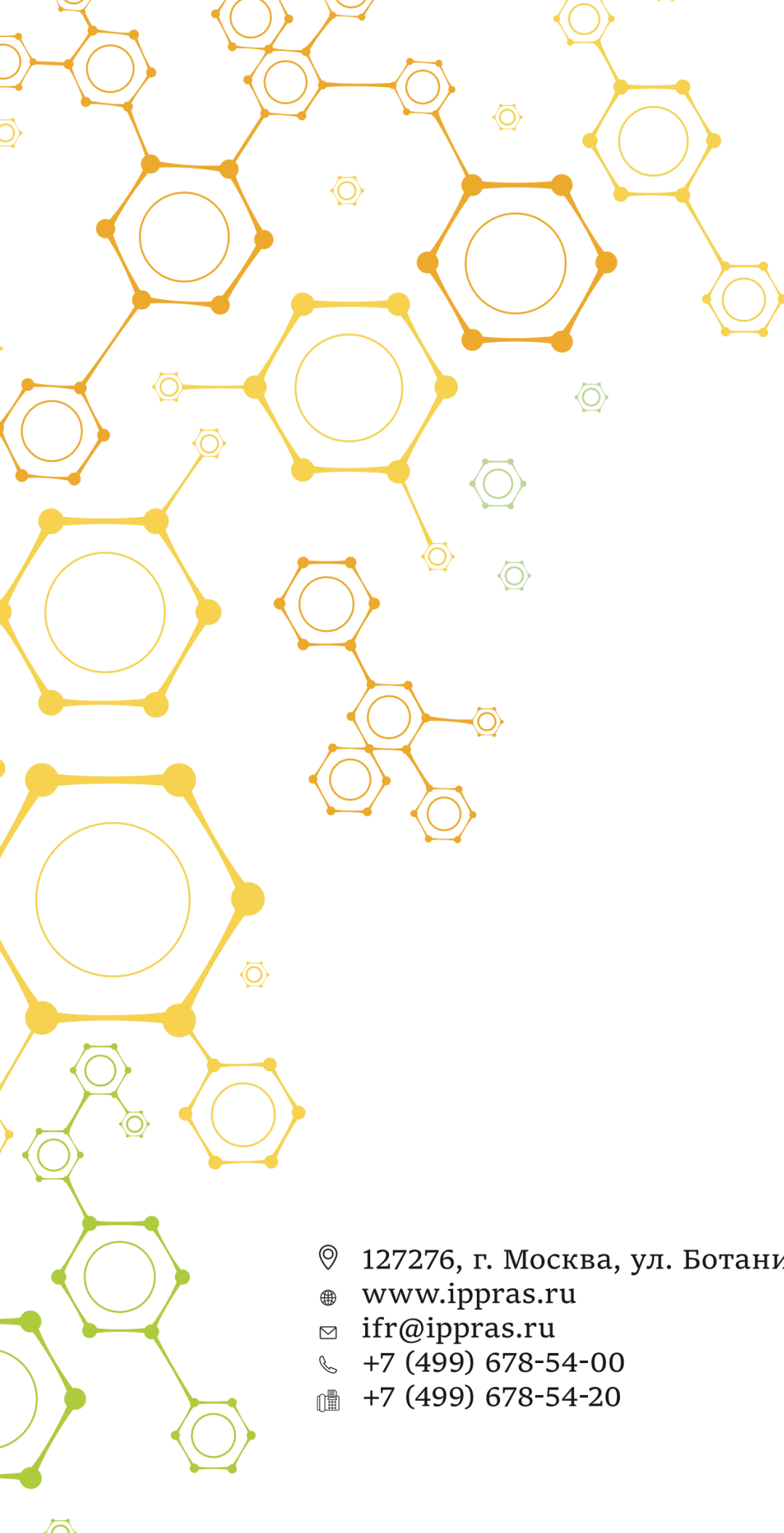


**ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ:  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ: МАТЕРИАЛЫ  
ДОКЛАДОВ XII ВСЕРОССИЙСКОГО СИМПОЗИУМА С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
(МОСКВА, 13-17 ОКТЯБРЯ 2025 Г.)**

Оригинал макет – П.В. Лапшин

Издательство «Перо»  
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, ком. 105  
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36  
Подписано к использованию 06.10.2025.  
Объем 4,72 Мбайт. Электрон. текстовые данные. Заказ 1040.





📍 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 35  
🌐 [www.ippras.ru](http://www.ippras.ru)  
✉ [ifr@ippras.ru](mailto:ifr@ippras.ru)  
☎ +7 (499) 678-54-00  
📠 +7 (499) 678-54-20