



# УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ



Тезисы докладов  
VI Всероссийской научной конференции с международным участием

Иркутск, Большое Голоустное  
3–7 июля 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2170-4

УДК 581.1:573:574:579.26  
ББК 28.58  
У81

**Ответственный редактор**  
д-р биол. наук, проф. В. К. Войников

**Члены редакционной коллегии:**

д-р биол. наук, доц. О. И. Грабельных, канд. биол. наук, доц. Н. С. Забанова,  
д-р биол. наук, проф. Г. Б. Боровский, д-р биол. наук Л. Е. Макарова, д-р биол. наук,  
доц. Т. П. Побежимова, канд. биол. наук Т. В. Копытина, канд. биол. наук,  
доц. А. В. Третьякова, канд. биол. наук И. В. Любушкина, канд. биол. наук И. В. Уколова

**Устойчивость растений и микроорганизмов к неблагоприятным факторам среды : тезисы докладов VI Всероссийской научной конференции с международным участием. Иркутск, Большое Голоустное, 3–7 июля 2023 г. / СИФИБР СО РАН ; ФГБОУ ВО «ИГУ» ; [отв. ред. В. К. Войников]. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2023. – 1 электронный оптический диск (CD-ROM). – Заглавие с этикетки диска.**

<https://doi.org/978-5-9624-2170-4.2023.1-228>

**ISBN 978-5-9624-2170-4**

В издании приведены новейшие результаты российских и зарубежных ученых, посвященные современным исследованиям механизмов физиолого-биохимических защитных реакций и адаптации растительных и микробных организмов на воздействие абиотических и биотических факторов, изучаемых с привлечением генетических методов и классическими морфо-физиологическими и биохимическими методами. Приводятся данные по влиянию техногенного загрязнения на физиологические процессы растений и микроорганизмов. Представлены исследования механизмов растительно-микробных взаимодействий симбиотического и антагонистического характера. Особенно в большом объеме представлены работы, где внимание уделяется вопросам биотехнологии с использованием растений и микроорганизмов, разработке способов их культивирования для получения продуцируемых ими веществ, необходимых для медицины и промышленности, способов получения электроэнергии биоэлектрехимическим путем, консервации и хранения биологических объектов.

Предназначено для специалистов в области физиологии и биохимии стресса, молекулярной биологии, генетики и экологии, а также для студентов и аспирантов биологических специальностей высших учебных заведений.

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Иркутский государственный университет»

664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1; тел. +7 (3952) 51-19-00

Издательство ИГУ, 664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124

тел. +7 (3952) 52-18-53; e-mail: izdat@lawinstitute.ru


Подписано к использованию 29.06.2023. Тираж 15 экз. Обьем 25,5 Мб.

---

Тип компьютера, процессор, частота:	32-разрядный процессор, 1 ГГц или выше
Оперативная память (RAM):	256 МБ
Необходимо на винчестере:	320 МБ
Операционные системы:	ОС Microsoft® Windows® XP, 7, 8 или 8.1. ОС Mac OS X
Видеосистема:	Разрешение экрана 1024x768
Акустическая система:	Не требуется
Дополнительное оборудование:	Не требуется
Дополнительные программные средства:	Adobe Reader 6 или выше

© СИФИБР СО РАН, 2023

© ФГБОУ ВО «ИГУ», 2023



**УСТОЙЧИВОСТЬ  
РАСТЕНИЙ  
И МИКРООРГАНИЗМОВ  
К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ  
ФАКТОРАМ СРЕДЫ**

Тезисы докладов  
VI Всероссийской научной конференции с международным участием

Иркутск, Большое Голоустное  
3–7 июля 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2170-4

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Сибирский институт физиологии и биохимии растений  
Сибирского отделения Российской академии наук  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Иркутский государственный университет»  
Биолого-почвенный факультет  
Педагогический институт  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Заповедное Прибайкалье»  
Государственное бюджетное учреждение культуры  
Иркутская областная государственная универсальная научная библиотека  
им. И. И. Молчанова-Сибирского  
Общество физиологов растений России  
Вавиловское общество генетиков и селекционеров



# УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ

Тезисы докладов  
VI Всероссийской научной конференции  
с международным участием

Иркутск, Большое Голоустное  
3–7 июля 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2170-4

# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	14
СЕКЦИЯ 1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ СТРЕССА	
<b>Абильфазова Ю. С.</b> Реакция растений персика на неблагоприятные факторы влажных субтропиков юга России.....	17
<b>Авальбаев А. М., Юлдашев Р. А., Плотников А. А., Сафина И. И., Аллагулова Ч. Р.</b> Оценка засухоустойчивости различающихся по стратегии адаптации к засухе растений пшеницы на начальном этапе онтогенеза.....	18
<b>Аллагулова Ч. Р., Плотников А. А., Сафина И. И., Юлдашев Р. А., Авальбаев А. М.</b> Участие оксида азота в регуляции <i>TADH</i> гена дегидрина в разных сортах пшеницы при воздействии обезвоживания.....	19
<b>Бережная З. А., Мусин Х. Г., Кулуев Б. Р.</b> Влияние сверхэкспрессии генов <i>EXPs</i> и <i>XTHs</i> на антиоксидантную систему растений.....	20
<b>Бизиков П. А., Ищенко А. А., Макарова Л. Е., Петрова И. Г.</b> Изучение негативных аллелопатических соединений у растений гороха ( <i>Pisum sativum</i> L.).....	21
<b>Битаршвили С. В., Шестерикова Е. М., Подлукций М. С., Волкова П. Ю.</b> Метаболомное профилирование растений <i>Achillea millefolium</i> L., произрастающих в Чернобыльской зоне отчуждения.....	22
<b>Боровский Г. Б., Коротасева Н. Е., Шигарова А. М., Катгышев А. И., Федосеева И. В., Полякова Е. А., Федяева А. В., Савчин Д. В., Шишлова-Соколовская А. М., Урбанович О. Ю.</b> Влияние экспрессии гетерологичного гена <i>NDB2 Arabidopsis thaliana</i> на рост, устойчивость к низкой температуре и дыхательную активность <i>Nicotiana tabacum</i> .....	23
<b>Бочка В. В., Григорьев Ю. С.</b> Устойчивость роголистника погруженного ( <i>Ceratophyllum demersum</i> L.) к действию ионов цинка.....	24
<b>Валитова Ю. Н., Хабибрахманова В. Р., Уваева В. Л., Рахматуллина Д. Ф., Галеева Е. И., Трифонова Т. В., Минибаева Ф. В.</b> Изменение липидного состава лишайника <i>Peltigera canina</i> при действии неблагоприятных температур.....	25
<b>Гайнуллина К. П., Кулуев Б. Р., Давлетов Ф. А.</b> Роль гена транскрипционного фактора <i>ABI3</i> в формировании высокого содержания белка в семенах сортообразцов гороха, устойчивых к снижению урожайности в условиях засухи.....	26
<b>Гераськин С. А., Бондаренко В. С., Битаршвили С. В., Бондаренко Е. В., Васильев Д. В.</b> Генетические и эпигенетические эффекты в хронически облучаемых популяциях сосны обыкновенной.....	27
<b>Голово Т. К., Захожий И. Г., Дымова О. В.</b> Антоцианы, их свойства и функции в растениях.....	28
<b>Горина С. С., Огородникова А. В., Мухтарова Л. Ш., Топоркова Я. Ю.</b> Липоксигеназный каскад картофеля ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) в условиях абиотического стресса.....	29
<b>Грабелных О. И., Скрыбыкина С. Р., Степанов А. В., Корсукова А. В., Полякова Е. А., Забанова Н. С., Любушкина И. В., Побежимова Т. П.</b> Образование и детоксикация пероксида водорода в разных органах растений картофеля, экспрессирующих ген глюкозооксидазы <i>gox Penicillium funiculosum</i> .....	30
<b>Груина В. В., Спиридонова Е. В., Капустина И. С., Озолина Н. В.</b> Анализ состава фитостеринов тонопласта корнеплодов столовой свеклы <i>Beta vulgaris</i> при воздействии различных концентраций сульфата меди.....	31
<b>Егорова А. М.</b> Органоспецифичность синтеза липоксигеназ в растениях сои, огурца и картофеля.....	32

<b>Елькина А. В., Чукина Н. В.</b> Физиолого-биохимические характеристики орхидеи <i>Eriopactis palustris</i> , произрастающей в техногенно нарушенных экосистемах Среднего Урала.....	33
<b>Емельянов В. В.</b> Аноксия и постаноксия у растений: метаболизм и окислительный стресс .....	34
<b>Ершова А. Н., Бердникова О. С.</b> Свободнорадикальные процессы и активность антиоксидантных ферментов в растениях сои разных сортов в условиях дефицита кислорода.....	35
<b>Заикина Е. А., Кулуев Б. Р.</b> SNP-маркеры стрессоустойчивости в генах <i>TaDREB1</i> и <i>TaWRKY19</i> мягкой пшеницы .....	36
<b>Захарова Е. В.</b> Влияние УФ-В на прорастание пыльцы и рост пыльцевых трубок <i>Petunia hybrida L. in vivo</i> .....	37
<b>Ибрагимова Н. Н., Мокшина Н. Е.</b> Экспрессия генов транспортеров ауксина в волокнах льна при травиоцвете.....	38
<b>Казанцева В. В., Гончарук Е. А., Фесенко А. Н., Клыков А. Г., Загоскина Н. В.</b> Морфологические и биохимические характеристики семян <i>Fagopirum esculentum</i> из различных эколого-географических мест произрастания .....	39
<b>Калашникова Т. В., Брысова М. Н., Смирнова Г. В., Октябрьский О. Н.</b> Влияние мутаций в метаболизме цистеина на уровень глутатиона и толерантность <i>Escherichia coli</i> к ципрофлоксацину и хлорамфениколу .....	40
<b>Кашеварова Н. М., Хаова Е. А., Ткаченко А. Г.</b> Синтез цАМФ в клетках <i>Escherichia coli</i> регулируется сигнальными молекулами (p)ppGpp и индолом .....	41
<b>Кем К. Р., Ламан Н. А.</b> Влияние эпибрассинолида на содержание флавоноидов в проростках льна-долгунца и ярового ячменя в условиях химического стресса .....	42
<b>Копытина Т. В.</b> Субстратная специфичность рацемазы из проростков пшеницы <i>Triticum aestivum L.</i> .....	43
<b>Король М. Ю., Бабина Д. Д., Блинова Я. А., Празян А. А., Ханова А. С., Волкова П. Ю., Бондаренко Е. В.</b> Роль рецептора пероксида водорода в ответе <i>Arabidopsis</i> на комбинацию абиотических стрессоров.....	44
<b>Кулуев Б. Р., Михайлова Е. В., Галимова А. А., Мусин Х. Г., Баймухаметова Э. А., Кулуев А. Р., Заикина Е. А., Ибрагимова З. А.</b> Редактирование генов <i>MLO</i> , <i>Lpx1</i> , <i>Cer9</i> , <i>CKX1</i> и <i>Rht1</i> мягкой пшеницы с использованием системы CRISPR/Cas .....	45
<b>Ломоватская Л. А., Захарова О. В.</b> Чувствительность к цАМФ и Ca <sup>2+</sup> различных форм СОД из корней проростков гороха .....	46
<b>Малева М. Г., Борисова Г. Г., Синенко О. С., Собенин А. В.</b> Фотосинтетическая активность и содержание неэнзиматических антиоксидантов у чины весенней при полиметаллическом загрязнении почвы .....	47
<b>Матюнина В. Д., Чистоедова А. В., Маркова О. В., Гарипова С. Р.</b> Анализ рог-регулирующего эффекта обработки семян двух сортов фасоли разными дозами гетероауксина.....	48
<b>Озолина Н. В., Капустина И. С., Гурина В. В., Спиридонова Е. В., Нурминский В. Н.</b> Изменения липидного состава рафтовых структур при осмотических стрессах.....	49
<b>Осипова Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А., Федорова Е. А.</b> Влияние предобработки семян биофильными элементами на адаптацию ярового ячменя к абиотическому стрессу .....	50
<b>Павловская Н. Е., Андросова А. В., Горьков А. А., Горькова И. В.</b> Управление морозоустойчивостью пшеницы и земляники с помощью биопрепаратов.....	51

<b>Пермякова М. Д., Пшеничникова Т. А., Пермяков А. В., Осипова С. В., Константинов Д. К., Рудиковская Е. Г., Поморцев А. В.</b> Интрогрессия <i>Triticum timopheevii</i> в хромосоме 2В гексаплоидной пшеницы как пример эффективности стратегии адаптивной интрогрессии в селекции .....	52
<b>Плотников А. А., Сафина И. И., Юлдашев Р. А., Авальбаев А. М., Аллагулова Ч. Р.</b> Перспективы применения донора оксида азота для повышения устойчивости разных сортов пшеницы к условиям дефицита влаги .....	53
<b>Побежимова Т. П., Бережная Е. В., Полякова Е. А., Корсукова А. В., Забанова Н. С., Любушкина И. В., Дорофеев Н. В., Грабельных О. И.</b> Влияние тебуконазола и азоксистробина на физиологические параметры и устойчивость проростков пшеницы к водному дефициту .....	54
<b>Погорелов Д. И., Буракова И. Ю., Попов В. Н.</b> Изучение влияния различных классов пестицидов на скорость образования активных форм кислорода для цианиднечувствительного дыхания грибов .....	55
<b>Полякова Е. А., Федотова О. А., Грабельных О. И.</b> Функционирование «внешних» ротенон-нечувствительных НАД(Ф)Н-дегидрогеназ и образование активных форм кислорода в митохондриях и тканях яровой пшеницы при высоких температурах .....	56
<b>Празян А. А., Подлущий М. С., Шестерикова Е. М., Казакова Е. А., Битаршвили С. В., Волкова П. Ю.</b> Особенности транскриптома ячменя после воздействия протонного и бета-излучения .....	57
<b>Ренкова А. Г., Хабибрахманова В. Р., Гурьянов О. П., Бабаев В. М., Валитова Ю. Н., Мазина А. Б., Лексин И. Ю., Кулинченко М. В., Минибаева Ф. В.</b> Каротиноиды мха <i>Hylocomium splendens</i> : идентификация, гены биосинтеза, защитная роль при абиотическом стрессе .....	58
<b>Рудиковский А. В., Пермяков А. В., Музалевская О. В., Осипова С. В.</b> Флуоресценция хлорофилла как индикатор устойчивости пшеницы <i>Triticum aestivum</i> L. к умеренной пролонгированной почвенной засухе .....	59
<b>Саломийн К., Эргашев А.</b> Влияние экологических факторов на скорость и направленность метаболизма углерода – <sup>14</sup> C при фотосинтезе сельскохозяйственных растений .....	60
<b>Самойлова З. Ю., Музыка Н. Г., Смирнова Г. В.</b> Влияние уровня железа и цистина в среде на экспрессию гена <i>iucC</i> при действии ципрофлоксацина на бактерии <i>Escherichia coli</i> .....	61
<b>Серегин И. В., Иванова Т. В., Воронков А. С., Кожевникова А. Д., Схат Х.</b> Изменение состава жирных кислот при действии цинка и никеля у гипераккумулятора цинка <i>Arabidopsis halleri</i> и исключателя <i>Arabidopsis lyrata</i> .....	62
<b>Серегин И. В., Кожевникова А. Д., Схат Х.</b> Две стратегии накопления никеля у растений .....	63
<b>Сидоров Р. Ю., Ткаченко А. Г.</b> Характер ингибиторного воздействия DMNP на ферментативную кинетику алармонсинтеза <i>Mycolicibacterium smegmatis</i> .....	64
<b>Соловченко А. Е., Горелова О. А., Селях И. О., Семенова Л. Р., Шербаков П. Н., Васильева С. Г., Зайцев П. А., Шибзухова К. А., Чивкунова О. Б., Баулина О. И., Лукьянов А. А., Лобакова Е. С.</b> Токсичность ортофосфата для микроводорослей .....	65
<b>Соловьев А. Г., Лезжов А. А., Атабекова А. К.</b> Роль некодирующих РНК в ответе растений на биотические и абиотические стрессы .....	66
<b>Спиридонова Е. В., Капустина И. С., Гурина В. В., Озолина Н. В.</b> Жирнокислотный состав общих липидов тонопласта в условиях медного стресса .....	67
<b>Ставицкая З. О., Рудиковская Е. Г., Дударева Л. В., Рудиковский А. В., Осипова С. В., Катышев А. И., Федосеева И. В.</b> Участие ферментов рециклинга в поддержании высокого уровня аскорбиновой кислоты в тканях плодов яблони сибирской и ее гибридов .....	68

Сундырева М. А., Луцкий Е. О., Мишко А. Е., Лободина Е. В. Прайминг винограда <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , заселяющими вегетативные органы, снижает развитие мильды .....	69
Сутормина Л. В., Безматерных К. В., Смирнова Г. В., Октябрьский О. Н. Изменение уровня цистеина при действии антибиотиков хлорамфеникола и ципрофлоксацина на <i>Escherichia coli</i> , растущую на богатой и минимальной средах .....	70
Таскина К. Б., Казнина Н. М. Влияние засоления на всхожесть семян и начальный рост проростков некоторых дикорастущих и культурных злаков .....	71
Татарнинова Т. Д., Перк А. А., Пономарев А. Г., Васильева И. В. Дегидрины в устойчивости <i>Larix cajanderi</i> Maug. к экстремальному климату Центральной Якутии .....	72
Топоркова Я. Ю., Смирнова Е. О., Огородникова А. В., Парфирова О. И., Петрова О. Е., Горшков В. Ю. Изменения в функционировании липоксигеназного каскада при инфицировании растений табака <i>Pectobacterium atrosepticum</i> .....	73
Тюленев А. В., Габова А. О., Ушаков В. Ю., Смирнова Г. В. Real-time мониторинг продукции H <sub>2</sub> S в штаммах <i>Escherichia coli</i> , мутантных по метаболизму цистеина .....	74
Тякин А. В., Сидоренко А. Д., Землянская Е. В. Поиск новых регуляторов транскрипционного ответа на салициловую кислоту путем анализа транскриптомных данных <i>Arabidopsis thaliana</i> L. ....	75
Уколова И. В., Боровский Г. Б. Нативная организация фосфорилирующей системы в митохондриях растений с различной жизненной стратегией .....	76
Хамидов Х. Н., Якубова М. М., Юлдошев Х. Функционирование акцепторных центров, регулирующих продуктивность хлопчатника .....	77
Хаова Е. А., Ткаченко А. Г. Влияние полиаминов и индола на экспрессию факторов гибризации рибосом у <i>Escherichia coli</i> на трансляционном уровне .....	78
Холопцева Е. С., Казнина Н. М., Батова Ю. В. Влияние разных концентраций цинка на физиолого-биохимические показатели горчицы сарептской .....	79
Цыганов И. В., Ткаченко А. Г. Влияние активности алармон синтетаз микобактерий на уровни полифосфатов в присутствии антибиотиков .....	80
Швец Д. Ю., Бережнева З. А., Мусин Х. Г., Гиниятуллина Г. Р., Кулуев Б. Р. Физиолого-биохимическая характеристика корней трансгенных растений <i>Nicotiana tabacum</i> , несущих rol-гены штамма 15834 <i>Agrobacterium rhizogenes</i> .....	81
Шестерикова Е. М., Битаршвили С. В., Празян А. А., Волкова П. Ю. Сравнительный анализ транскрипционной активности генов в популяциях многолетних травянистых растений, произрастающих в Чернобыльской зоне отчуждения .....	82
Юлдашев Р. А., Авальбаев А. М., Аллагулова Ч. Р., Плотников А. А., Сафина И. И., Герасимов Н. А., Ласточкина О. В., Галимова А. А., Кулуев Б. Р., Каримов И. К., Исмагилов К. Р., Шакирзянов А. Х., Дмитриев А. М. Аллельный состав генов <i>vrn-1</i> у различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов яровой мягкой пшеницы .....	83
Якубова М. М., Хамрабаева З. М., Содикзода М. С. Вариабельность биохимических процессов пшеницы в условиях почвенной засухи .....	84
Krutovsky K. V. Dendrogenomics – a new interdisciplinary field to study genetic adaptation to biotic and abiotic stresses .....	85

## СЕКЦИЯ 2. БИОРАЗНООБРАЗИЕ, СТРУКТУРА И ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Васильева У. А., Кириченко К. А., Тимофеев М. А., Грабельных О. И. Содержание продуктов перекисного окисления липидов у <i>D. arnoldii</i> и <i>D. baicalensis</i> в летне-осенний период .....	87
---	----



<b>Волошина Т. В., Мачкаева Е. М.</b> Особенности водного режима, роста и продуктивности изучаемых лекарственных растений в связи с произрастанием в аридных условиях.....	88
<b>Волчатова Е. В., Безрукова Е. В., Решетова С. А., Кербер Е. В.</b> Изменение фиторазнообразия бассейна озера Ильчир за последние 6500 лет.....	89
<b>Воронин В. И., Сизых А. П., Осколков В. А., Гриценюк А. П.</b> Развитие растительности на фоне влияний природно-антропогенных факторов в последние десятилетия в Байкальском регионе.....	90
<b>Гамова Н. С.</b> Функциональные признаки весенника <i>Eranthis</i> в Южном Прибайкалье (на примере Байкальского заповедника) .....	91
<b>Гончарова И. А., Скрипальщикова Л. Н., Барченков А. П.</b> Динамика напочвенного покрова в антропогенно нарушенных сосняках .....	92
<b>Калугина О. В., Афанасьева Л. В., Михайлова Т. А.</b> Анатомо-морфологические особенности хвои <i>Pinus sylvestris</i> при воздействии выбросов крупного алюминиевого завода .....	93
<b>Костикова В. А., Иметхенова О. В., Шалдаева Т. М., Кукушкина Т. А.</b> Содержание вторичных метаболитов и антиоксидантная активность экстрактов из надземных органов <i>Spiraea aquilegifolia</i> , произрастающей в Республике Бурятия .....	94
<b>Кулакова Н. В., Верховина А. В.</b> Молекулярно-филогенетическое исследование <i>Astragalus angarensis</i> (Fabaceae).....	95
<b>Макаревич П. Р., Ларионов В. В., Олейник А. А., Ващенко П. С.</b> Распространение чужеродных видов пелагических микроводорослей в Баренцевом море как следствие глобальных изменений климата .....	96
<b>Максимов Т. Х., Максимов А. П., Петров Р. Е., Карсанаев С. В.</b> Репрезентативные экосистемы криолитозоны в изменяющемся климате .....	97
<b>Михайлова Т. А., Шергина О. В., Чеснаков Д. А.</b> Воздействие аэрозольных частиц на жизненное состояние городских древесных растений.....	98
<b>Морозова Т. И., Воронин В. И.</b> Трансформация энтомо-и микокомплексов при разных видах повреждения леса .....	99
<b>Некляев С. Э., Ларина Г. Е., Серая Л. Г.</b> Особенности микогенного ксилोलиза хвойных пород в зоне смешанных (хвойно-широколиственных) лесов.....	100
<b>Нелюбина П. Е., Павличенко В. В., Швецова Н. А., Протопопова М. В.</b> Влияние позднекайнозойских климатических изменений на формирование современной филогеографической структуры <i>Anemone altaica</i> (Ranunculaceae) на хр. Хамар-Дабан .....	101
<b>Новикова С. В., Орешкова Н. В., Шаров В. В., Семериков В. Л., Крутовский К. В.</b> Генетическая адаптация популяций лиственницы сибирской ( <i>Larix sibirica</i> Ledeb.) к гетерогенной среде.....	102
<b>Пахарькова Н. В., Гётте И. Г., Масенцова И. В., Позднякова Е. Е., Калабина А. А.</b> Влияние изменения климата на смещение границы леса в кедрово-пихтовых лесах Западного Саяна: экофизиологические особенности <i>Pinus sibirica</i> и <i>Abies sibirica</i> .....	103
<b>Пищимко О. И.</b> Количество устьичных аппаратов на листе <i>Betula pendula</i> Roth в условиях городской и сельской среды .....	104
<b>Платова Н. Г., Толочек Р. В., Иноземцев К. О., Шуршаков В. А.</b> Влияние облучения ускоренными ионами гелия на прорастание семян салата и хромосомные aberrации в корневой меристеме проростков .....	105
<b>Протопопова М. В., Павличенко В. В., Нелюбина П. Е.</b> Филогеографическая структура рода <i>Eranthis</i> (Ranunculaceae) на территории Южной Сибири как отражение глобальных климатических изменений .....	106

<b>Романова И. М., Граскова И. А.</b> Физиологические изменения в тканях хвои сосны обыкновенной в течение вегетационного периода.....	107
<b>Семёнова Н. В., Дударева Л. В.</b> Жирнокислотный состав хвои некоторых видов рода Ель ( <i>Picea</i> ) в период активного роста хвои.....	108
<b>Скрипальщикова Л. Н., Гончарова И. А., Барченко А. П., Стасова В. В.</b> Анализ устойчивости антропогенно нарушенных березовых и сосновых фитоценозов.....	109
<b>Тальских А. И., Копанина А. В., Власова И. И.</b> Тенденции структурного отклика березы плосколистной по макропризнакам стволов в вулканических ландшафтах и на морских побережьях Сахалина и Курильских островов.....	110
<b>Тупикова Г. С., Егорова И. Н., Шергина О. В., Казановский С. Г.</b> Почвенно-альгологические особенности горных и настоящих степей окрестностей с. Б. Голоустное.....	111
<b>Ханова А. С., Крылова П. С., Подлущий М. С., Шестерикова Е. М., Бондаренко Е. В.</b> Оценка влияния ионизирующего излучения на морфофизиологические параметры проростков <i>Lupinus albus</i> L. и <i>Lupinus luteus</i> L.....	112
<b>Хасанова Г. Р., Ямалов С. М.</b> Ксерофитные сегетальные сообщества Южного Урала.....	113
<b>Шабанова Е. В., Дорогина О. В., Агафонов А. В.</b> Репродуктивные взаимоотношения между представителями таксонов, морфологически близких к <i>Elymus caninus</i> (Poaceae: Triticeae).....	114
<b>Юданова С. С., Дорогина О. В., Васильева О. Ю.</b> Морфологический анализ и идентификация по ISSR-маркерам сортов роз из садовых групп Грандифлора и розы Кордеса.....	115

### СЕКЦИЯ 3. РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫЕ АССОЦИАЦИИ

<b>Береш А. А., Алейнова О. А., Нитяговский Н. Н., Супрун А. Р., Ананьев А. А., Киселёв К. В.</b> Эндوفитное сообщество сортов винограда Приморского края России.....	117
<b>Бондаренко-Борисова И. В., Митина Л. В.</b> Изучение полевой устойчивости представителей рода <i>Clematis</i> Dill. ex L. к микозам в коллекции Донецкого ботанического сада (ДБС).....	118
<b>Бычкова А. А., Сидоров А. В., Трофименко В. Р., Зайцева Ю. В., Маракаев О. А.</b> Влияние ауксин-продуцирующего штамма <i>Pseudomonas</i> sp. GEOT18 на рост и развитие яровой пшеницы.....	119
<b>Валиева В. А., Пусенкова Л. И.</b> Влияние эндوفитных бактерий на ростовые показатели и содержание фотосинтетических пигментов растений картофеля в вегетационном опыте.....	120
<b>Васильев И. А., Кривенко Д. А., Петрушин И. С., Маркова Ю. А.</b> Микробиом эндемичных растений Приольхонья <i>Hedysarum zundukii</i> и <i>Oxytropis triphylla</i> (Fabaceae) как источник микроорганизмов перспективных для сельского хозяйства.....	121
<b>Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю.</b> <i>Brachypodium dystachion</i> как модельное растение для оценки патогенности грибов – продуцентов Т-2 и НТ-2 токсинов.....	122
<b>Григориади А. С., Фархутдинов Р. Г., Зобкова Н. В.</b> Реакция микробного сообщества ризосферы растений-фиторемедиантов на нефтяное загрязнение и применение биопрепаратов.....	123
<b>Днепровская А. А., Алейнова О. А., Нитяговский Н. Н., Супрун А. Р., Ананьев А. А., Киселёв К. В.</b> Биоразнообразие эндوفитных бактерий и грибов дикорастущего винограда <i>Vitis amurensis</i> Rupr. и <i>Vitis coignetiae</i> Pulliat ex Planch., произрастающих на Дальнем Востоке России.....	124

<b>Зиннатова Э. Р., Семенова О. В.</b> Формирование исследовательских навыков учащихся в ходе изучения микробных ассоциаций почв городских рекультивируемых территорий .....	125
<b>Каюмов А. Р., Богачев М. И., Тишин Д. В., Гараев Б. И., Имаев Р. Г., Маркелова М. И.</b> Воздействие колонии серой цапли ( <i>Ardea cinerea</i> L.) на биогеохимию почвы и растительность: естественный долгосрочный эксперимент в сосновой посадке .....	126
<b>Китаева А. Б., Цыганов В. Е.</b> Гормональный ответ симбиотических клубеньков гороха посевного ( <i>Pisum sativum</i> L.) на действие повышенной температуры – ключевого стресс-фактора глобального изменения климата .....	127
<b>Козлова А. С., Шпатова Т. В., Масленникова В. С., Бедарева Е. В., Табанюхов К. А., Дубовский И. М., Штерншис М. В.</b> Бактерии рода <i>Bacillus</i> в повышении устойчивости растений смородины к микозам .....	128
<b>Кононенко Г. П., Буркин А. А.</b> Низкомолекулярные метаболиты микромицетов в эврибионтных растениях побережья Белого моря .....	129
<b>Кузнецова В. Е., Матвеева Е. А., Беловежец Л. А.</b> Перспективы использования выделенных в Восточной Сибири грибов рода <i>Trichoderma</i> против фитопатогенов .....	130
<b>Куркина М. В., Евдокимова В. А.</b> Микробиом клевера розового ( <i>Trifolium hybridum</i> ) в условиях обработки растений акарицидными препаратами .....	131
<b>Макарова Л. Е., Ломоватская Л. А., Гончарова А. М., Макаров С. С.</b> О роли N-фенил-2-нафтиламина и фталатов в ризосфере растений гороха ( <i>Pisum sativum</i> L.) .....	132
<b>Малева М. Г., Борисова Г. Г., Воропаева О. В., Чукина Н. В., Тугбаева А. С., Трипти.</b> Биоудобрение на основе PGP-ризобактерий <i>Buttiauxella noackiae</i> и биочара повышает устойчивость рапса к действию меди и способствует его биофортификации .....	133
<b>Маркова О. В., Гаршинова С. Р.</b> Сорт-штаммовая специфичность взаимодействия <i>Bacillus subtilis</i> растениями <i>Phaseolus vulgaris</i> L. при солевом стрессе .....	134
<b>Масленникова В. С., Бедарева Е. В., Дубовский И. М.</b> Влияние <i>Bacillus thuringiensis</i> на ростовые и физиологические процессы растений <i>Solanum tuberosum</i> L. при грибном патогенезе .....	135
<b>Мирошникова К. А., Литовка Ю. А., Павлов И. Н.</b> Влияние фитопатогенного гриба <i>Porodaedalea niemelaei</i> на микробиом лиственницы ( <i>Larix sibirica</i> Ledeb.), произрастающей в условиях Арктики .....	136
<b>Мирская Г. В., Хомяков Ю. В., Вертебный В. Е., Дубовицкая В. И., Пищик В. Н.</b> Влияние <i>Paenibacillus nicotianae</i> на продуктивность и качество карликовых сортов томата ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) в условиях интенсивной светокультуры .....	137
<b>Мориц А. С., Петрушин И. С., Маркова Ю. А.</b> Влияние <i>Rhodococcus qingshengii</i> VKM Ас-2784 D на эндо- и ризосферные микроорганизмы, выделенные из растений <i>Solanum tuberosum</i> сорта Луговской .....	138
<b>Нитяговский Н. Н., Алейнова О. А., Ананьев А. А., Супрун А. Р., Киселёв К. В.</b> Распространение возбудителя ложной мучнистой росы <i>Plasmopara viticola</i> среди винограда Дальнего Востока России .....	139
<b>Овсенко О. Л., Чайковская Л. А., Баранская М. И.</b> Влияние микробного препарата на миграцию свища в ризосфере и растениях озимой пшеницы .....	140
<b>Орина А. С., Гаврилова О. П., Трубин И. И., Гагкаева Т. Ю.</b> Разнообразие грибов рода <i>Fusarium</i> , ассоциированных с сухой гнилью картофеля .....	141
<b>Парфирова О. И., Петрова О. Е., Гоголева Н. Е., Гоголев Ю. В., Горшков В. Ю.</b> Роль сидерофора энтеробактерина в вирулентности и стрессоустойчивости пектобактерий .....	142

<b>Перфильева А. И.</b> Нанопрайминг семян сои <i>Glycine max</i> (L.) с применением нанобиокмозитов селена и марганца в матрице арабиногалактана .....	143
<b>Пусенкова Л. И., Гарипова С. Р., Ласточкина О. В., Валиева В. М.</b> Влияние эндофитных бактерий <i>Bacillus subtilis</i> на физиолого-биохимические показатели устойчивости клубней картофеля в поствегетационный период .....	144
<b>Серова Т. А., Китаева А. Б., Кусакин П. Г., Цыганов В. Е.</b> Анализ старения симбиотических клубеньков гороха посевного ( <i>Pisum sativum</i> L.), индуцированного повышенной температурой в сочетании с обработкой гиббереллином и ингибитором синтеза этилена .....	145
<b>Ткаченко О. В., Евсеева Н. В., Каргаполова К. Ю., Денисова А. Ю., Куликов А. А., Позднякова Н. Н., Бурыгин Г. Л.</b> Влияние ризобактерий на адаптационный потенциал микроклонов картофеля .....	146
<b>Феоктистова А. В., Тимергалин М. Д., Рамеев Т. В., Четвериков С. П.</b> Влияние <i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2,4-D и гумусовых кислот на рост, хлорофилл и азотный статус растений пшеницы в условиях засухи .....	147
<b>Чернова В. С., Ибрагимова С. А.</b> Ростостимулирующее действие ризосферных бактерий на проростки пшеницы .....	148
<b>Чистоедова А. В., Матюнина В. Д., Маркова О. В., Шпирная И. А., Гарипова С. Р.</b> Анализ активности антиоксидантных ферментов в ответ на инокуляцию двух сортов фасоли разными дозами эндофитных бактерий .....	149
<b>Шапошников А. И., Лебединский М. И., Шахназарова В. Ю., Вишневская Н. А., Бородина Е. В., Сырова Д. С., Ковалева О. Н., Струнникова О. К.</b> Роль ризосферной бактерии <i>Pseudomonas fluorescens</i> 2137 в активации защитных реакций ячменя при фузариозе .....	150

#### СЕКЦИЯ 4. БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

<b>Аксенова М. А., Зубова М. Ю., Загоскина Н. В.</b> Действие различной интенсивности света на каллусную культуру <i>Camellia sinensis</i> .....	152
<b>Алейнова О. А., Нитяговский Н. Н., Супрун А. Р., Ананьев А. А., Киселёв К. В.</b> Перспективы использования эндофитов винограда Дальнего Востока России .....	153
<b>Амброс Е. В., Крупович Е. С., Колмогоров Ю. П., Трофимова Е. Г., Гусев И. С., Гольденберг Б. Г.</b> Модуляция роста и аккумуляции химических элементов в растениях <i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> в условиях <i>in vivo</i> под действием хелатов кремния .....	154
<b>Ананьев А. А., Алейнова О. А., Нитяговский Н. Н., Супрун А. Р., Киселёв К. В.</b> Антимикробная активность эндофитных микроорганизмов дикорастущего винограда <i>Vitis amurensis</i> Rupr. ....	155
<b>Антонова Е. Е., Егоров Ю. А., Охлопкова Ж. М.</b> Получение первичной суспензионной культуры клеток <i>Dracocephalum rpalmatum</i> Steph. ....	156
<b>Бабина Д. Д., Блинова Я. А., Король М. Ю., Ханова А. С., Празян А. А., Бондаренко Е. В.</b> Получение растений регенерантов ячменя отечественного сорта Леон .....	157
<b>Баймухаметова Э. А., Мусин Х. Г., Кулуев Б. Р.</b> Создание генно-инженерной конструкции для Crispr/Cas редактирования гена убиквитин-лигазы <i>TaCer9</i> мягкой пшеницы .....	158
<b>Батукаев А. А., Куркиев К. У., Палаева Д. О.</b> Микроклонально размножение <i>in vitro</i> перспективных сортов винограда .....	159
<b>Бельшенко А. Ю., Моргунова М. М., Малыгина Е. В., Дмитриева М. Е., Имидоева Н. А., Шелковникова В. Н., Власова А. А., Тельнова Т. Ю., Аксёнов-Грибанов Д. В.</b> Водный мох <i>Vesicularia dubyana</i> Broth. как источник нейроактивных природных соединений .....	160

<b>Блинова Я. А., Бабина Д. Д., Ханова А. С., Король М. Ю., Макаренко Е. С., Казакова Е. А., Бондаренко Е. В.</b> Оптимизация процессов андрогенеза в культуре пыльников ячменя сорта «Леон» .....	161
<b>Васильева С. Г., Лобакова Е. С., Шибзухова К. А., Горелова О. А., Чивкунова О. Б., Соловченко А. Е.</b> Повышение толерантности к стрессовым условиям и продукции полиненасыщенных жирных кислот зеленой микроводоросли <i>Lo-bosphaera</i> при иммобилизации.....	162
<b>Габриелян Д. А., Синетова М. А., Габель Б. В., Габриелян А. К., Маркелова А. Г., Леусенко П. А., Щербакowa Н. В., Лось Д. А.</b> Полупромышленное культивирование микроводорослей и цианобактерий в плоскостных фотобиореакторах.....	163
<b>Гаврилова Е. А., Карасева О. С., Монир Я. М., Ежкова А. М., Ежков В. О., Никитина Е. В., Яруллина Д. Р., Каюмов А. Р.</b> Разработка синбиотического препарата на основе пробиотических лактобактерий и его оценка на перепелах .....	164
<b>Галимова А. А., Кулужев Б. Р.</b> Редактирование гена цитоксинаксидазы/дегидрогеназы ТаСКХ-1 мягкой пшеницы для повышения устойчивости к абиотическим стрессам.....	165
<b>Гвоздикова А. М., Поливанова О. Б., Давыдова О. К.</b> Определение влияния биогенных наноматериалов на накопление в каллусных культурах <i>O. basilicum</i> вторичных метаболитов.....	166
<b>Дорожук О. В., Калацкая Ж. Н., Ламан Н. А., Величко Н. И., Мандрик-Литвинкович М. Н.</b> Влияние <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> в комплексе с фитогормонами на продуктивность и качество продукции зеленых культур в условиях водного дефицита .....	167
<b>Дудина Ю. А., Калашникова Е. А., Киракoсян Р. Н.</b> Изучение влияния спектрального состава света на биомассу различных штаммов <i>Chlorella vulgaris</i> .....	168
<b>Дунаева С. Е., Тихонова О. А., Орлова С. Ю., Гавриленко Т. А.</b> Использование биотехнологических подходов для сохранения образцов ягодных и плодовых культур в коллекции ВИР.....	169
<b>Дымова О. В., Паршуков В. С., Новаковская И. В.</b> Криофильная микроводоросль <i>Chloromonas reticulata</i> как потенциальный источник первичных и вторичных каротиноидов .....	170
<b>Елисафенко Т. В., Железниченко Т. В.</b> Размножение <i>Saposhnikovia divaricata</i> (Turcz.) Schischkin <i>ex situ</i> и <i>in vitro</i> .....	171
<b>Жданова И. В.</b> Длительное хранение эксплантов лаванды и лавандина <i>in vitro</i> .....	172
<b>Закарчевский С. А., Чеснокова А. Н., Посёлкина А. О., Жданова Г. О., Стом Д. И.</b> Влияние источников углерода на электрогенерацию микробного топливного элемента на основе <i>Micrococcus luteus</i> .....	173
<b>Зубова М. Ю., Нечаева Т. Л., Загоскина Н. В.</b> Регуляция накопления флаванолов в культуре чайного растения в условиях действия света разной интенсивности .....	174
<b>Иванова Н. Н., Цюпка В. А., Корзина Н. В.</b> Жизнеспособность эксплантов хризантемы садовой при депонировании в генобанке <i>in vitro</i> .....	175
<b>Икконен Е. Н., Пустовойтов К., Никерова К. М., Чаженина С. Ю., Николаева Н. Н., Тетерюк Л. В., Сибелев О. С., Федоров А. А., Васюков В. М., Бондарева В. В., Малов Д. Н., Чувашов А. В., Сетин В. Н.</b> Содержание, морфология и состав аморфного кремнезема перикарпия плодов у представителей семейства Boraginaceae .....	176
<b>Исламова Н. А., Бухарина И. Л.</b> Исследование металлрезистентности <i>Fusarium equiseti</i> и <i>Cylindrocarpum magnusianum</i> и инокулированных ими растений для разработки технологии повышения устойчивости растений .....	177
<b>Исупова А. А., Бухарина И. Л.</b> Устойчивость фитомелиорантов, инокулированных эндотрофными микромицетами, к различным концентрациям нефти в субстрате .....	178

<b>Касторнов А. А., Петров С. А., Субботин А. М.</b> Влияние микроорганизмов палеозоосистем рода <i>Bacillus</i> на цитогенетические характеристики <i>Allium cepa</i> .....	179
<b>Катышева Н. Б., Поморцев А. В., Дорофеев Н. В., Зорина С. Ю., Журавкова А. С., Соколова Л. Г., Катышев А. И.</b> Оценка продолжительности вегетационного периода и продуктивности полученных методом искусственной гибридизации сортообразцов сои в условиях Иркутской области.....	180
<b>Киргизова И. В., Калашникова Е. А., Гаджимурадова А. М.</b> Характеристика соматклонов, полученных при длительном культивировании каллусной ткани картофеля <i>in vitro</i> .....	181
<b>Коновалов С. Н., Бобкова В. В., Анохина Т. О., Бьядовский И. А.</b> Эффективность инокуляции штаммами ризосферных бактерий растений-регенерантов клоновых подвоев яблони при адаптации к условиям <i>ex vitro</i> .....	182
<b>Корзина Н. В., Иванова Н. Н., Лесникова-Седошенко Н. П., Жданова И. В., Челомбит С. В.</b> Влияние наночастиц серебра на ризогенез розы садовой <i>in vitro</i> .....	183
<b>Коротаева Н. Е., Шмаков В. Н.</b> Влияние водного дефицита на содержание анти-стрессовых белков в каллусных культурах сосны обыкновенной .....	184
<b>Купряшина М. А., Пономарева Е. Г., Чернова А. С.</b> Применение иммобилизации азоспиррилл в Са-альгинатный гидрогель для обесцвечивания синтетических красителей .....	185
<b>Лукьянов А. А., Васильева С. Г., Щербаков П. Н., Чивкунова О. Б., Зайцев П. А., Соловченко А. Е.</b> Толерантность к высоким концентрациям цефтриаксона и увеличение эффективности его изъятия при иммобилизации зеленой микродоросли <i>Lobosphaera</i> .....	186
<b>Любушкина И. В., Полякова М. С., Поморцев А. В., Кириченко К. А., Корсукова А. В., Забанова Н. С., Побежимова Т. П., Грабельных О. И., Дударева Л. В., Войников В. К.</b> Длительность низкотемпературной предобработки донорных растений озимой пшеницы как фактор регуляции частоты эмбриогенеза в культуре изолированных пыльников .....	187
<b>Маградзе Е. И., Гурьянова А. С.</b> Влияние бактериального удобрения на основе молочной сыворотки на количество азотобактеров в почве .....	188
<b>Минич А. С., Минич И. Б., Чурсина Н. Л., Васильев С. Е., Финичева А. А.</b> Применение технологии предпосевной обработки семян водой, активированной плазмой, для повышения продуктивности <i>Raphanus sativus</i> .....	189
<b>Минкина Ю. В.</b> Рост мужского гаметофита петунии в культуре <i>in vitro</i> .....	190
<b>Мурзина С. А., Репкина Н. С., Воронин В. П., Давидович О. И., Давидович Н. А.</b> Влияние солености среды на жирнокислотный профиль водоросли <i>Nitzschia sp. termaloides</i> .....	191
<b>Мусин Х. Г., Баймухаметова Э. А., Гумерова Г. Р., Федяев В. В., Кулуев Б. Р.</b> Волосовидные корни – модельный объект для изучения молекулярных механизмов стрессоустойчивости растений .....	192
<b>Нестерова Е. Ю., Сыромятников М. Ю., Петрова А. А., Морозова П. Д., Попов В. Н.</b> Разработка ПЦР-ПДРФ метода идентификации видовой принадлежности бактерий рода <i>Bacillus</i> и грибов рода <i>Trichoderma</i> в биопрепаратах .....	193
<b>Нурминская Ю. В., Рекославская Н. И., Столбиков А. С.</b> Стратегия безопасности при создании трансгенных растений табака, экспрессирующих генетическую кассету с геном <i>ugt</i> из кукурузы ( <i>Zea mays</i> ), RdRP вируса мозаики огурца ( <i>Cucumber mosaic virus</i> ) при использовании генов папилломавируса ВПЧ16 E2 и ВПЧ45 L1 (как индукторов синтеза антител) .....	194

<b>Осипова С. В., Пермяков А. В., Константинов Д. К., Щукина Л. В., Рудиковская Е. Г., Пермякова М. Д., Пшеничникова Т. А.</b> Верификация локусов количественных признаков, ассоциированных с засухоустойчивостью мягкой пшеницы, на хромосоме 2A .....	195
<b>Павличенко В. В., Протопопова М. В.</b> Фенотипические эффекты генетической трансформации тополя берлинского геном <i>AtGA20ox1</i> .....	196
<b>Поморцев А. В., Дорофеев Н. В., Зорина С. Ю., Журавкова А. С., Катышева Н. Б., Соколова Л. Г.</b> Скрининг селекционных линий озимой ржи в почвенно-климатических условиях Восточной Сибири .....	197
<b>Репкина Н. С., Казнина Н. М.</b> Перспективы практического применения двух представителей семейства <i>Brassicaceae</i> при выращивании в условиях загрязнения цинком .....	198
<b>Саратовских Е. А., Штамм Е. В., Абилев С. К.</b> Фотохимические способы снижения токсической и генотоксической нагрузки на почвенную биоту и растения, возникающей при применении пестицидов .....	199
<b>Смирнова Е. О., Гараева Д. И., Ланцова Н. В., Топоркова Я. Ю.</b> Антибактериальные свойства некоторых оксипиринов – продуктов функционирования неклассических цитохромов P450 .....	200
<b>Соколова Л. Г., Зорина С. Ю., Дорофеев Н. В., Поморцев А. В., Катышева Н. Б.</b> Отклик почвенного микробного комплекса на использование глифосата при подъеме залежи .....	201
<b>Терентьева С. Г., Кучарова Е. В., Охлопкова Ж. М.</b> Особенности микроклонального размножения <i>Lilium pilosiusculum</i> (Freyn) Misch. ....	202
<b>Третьякова А. В., Малыгина Е. В.</b> Особенности и перспективы преподавания дисциплины «Биотехнология растений» в Иркутском Госуниверситете .....	203
<b>Филинова Н. В., Мясникова В. С., Беловежец Л. А.</b> Применение композиционных составов на основе альгината натрия для предпосевной обработки семян хвойных .....	204
<b>Фролов М., Шульга Е. Ю., Исламов Б. Р., Афордоањи Д. М., Валидов Ш. З.</b> Ферментативная характеристика бактериальных изолятов ризосферы культурных растений для применения в биотехнологии .....	205
<b>Халилуев М. Р., Богоутдинова Л. Р., Баранова Е. Н.</b> Простой и эффективный методологический подход для сравнительной оценки генотипов томата по солеустойчивости на ранних этапах развития <i>in vitro</i> .....	206
<b>Челомбит С. В.</b> Влияние регуляторов роста на индукцию побегообразования <i>Ficus carica</i> L. <i>in vitro</i> .....	207
<b>Шатерников А. Н., Цивилева О. М., Евсеева Н. В.</b> Влияние препаратов грибного происхождения на физиолого-биохимические параметры растений <i>Triticum aestivum</i> L. ....	208
<b>Шевелева И. С., Голованова Т. И.</b> Жизнеспособность и оптимальные сроки хранения пыльцы представителей рода <i>Pinus pumila</i> .....	209
<b>Gherg M., Ciorchina N., Tabara M.</b> <i>In vitro</i> culture in conservation rare plant species from the Amaryllidaceae family .....	210
<b>Perelomov L. V., Sizova O. I., Mukhtorov L. G., Tretyakova A. V., Gertsen M. M., Atroshchenko Yu. M.</b> Metal-tolerant organisms of municipal sewage sludge .....	211
<b>Rekoslavskaya N. I., [Stolbikov A. S.]</b> Stress induced morphology of cancer Hela cells by the “early” proteins of papillomavirus type16 E2, E6, E7 and therapeutic L-amino acid oxidase and D-amino acid oxidase: Does Hela cells form biofilms on the surface of mice lung cancer tumors? .....	212
<b>Авторский указатель</b> .....	213
<b>Информация о спонсорах</b> .....	219

## ПРЕДИСЛОВИЕ

VI Всероссийская конференция «Устойчивость растений и микроорганизмов к неблагоприятным факторам среды», проводимая на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН), является продолжением серии конференций, начало которых было положено в 1976 г.

Инициаторами проведения такой конференции, получившей в тот период статус Всесоюзной, были первый директор СИФИБР СО РАН – член-корреспондент академии наук СССР, доктор биологических наук Федор Эдуардович Реймерс и заведующая лабораторией физиологии устойчивости растений, кандидат биологических наук Октябрина Павловна Родченко.



Октябрина Павловна Родченко (крайняя справа в нижнем ряду) и сотрудники ее лаборатории на первом Всесоюзном совещании «Физиолого-биохимические и экологические аспекты устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды» (20–26 сентября 1976 г., г. Иркутск)

Своей тематикой конференции всегда привлекали очень много известных ученых со всего Советского Союза. Среди них были Т. И. Трунова, П. С. Мишустин, С. Н. Дроздов, А. И. Коровин, М. М. Тюрина, В. С. Сааков, Т. В. Чиркова, Т. Н. Пустовойтова, Л. А. Игнатъев, О. А. Зауралов, В. В. Полевой, В. И. Кефели, О. И. Колоша, О. Е. Шведова, Н. В. Шевчук (Украина), Х. И. Мийдла (Эстония). Вместе с тем и сам город Иркутск всегда вызывал интерес своей богатой историей, в которой оставили свой след декабристы и многие исторические личности, благодаря которым развивалась территория Российской Империи, становилась богаче культурная жизнь и научная жизнь нашего региона (Г. И. Шелехов, П. С. Лебедев-Ласточкин, М. В. Сибиряков и др.).

Конференции собирали много участников, представлялось большое количество интересных докладов, которые сопровождались активной дискуссией. Организация таких научных собраний происходила периодически, через каждые два года и в течение



12 лет. Затем последовал длительный «перестроечный» перерыв, который продлился до 2007 г., после чего проведение конференций по проблемам устойчивости растений было возобновлено, теперь уже в статусе Всероссийских. И снова наши конференции стали привлекательными для ученых, занимающихся вопросами физиологии устойчивости растений, а также микроорганизмов. Уровень исследований значительно вырос, появились новые методы исследований, современное оборудование. Участниками этих конференций являются не только ученые из России, но и из стран СНГ и дальнего зарубежья.

И тогда, и сейчас все конференции традиционно завершались экскурсионной поездкой на озеро Байкал – голубую жемчужину планеты, гордость России. В этом году конференция впервые проводится непосредственно на берегу нашего прекрасного озера, в поселке Большое Голоустное, расположенном в 120 км к юго-востоку от Иркутска. Ее целью является представление и обсуждение результатов исследований по наиболее современным проблемам жизнедеятельности растений и микроорганизмов, включая их взаимодействия в экосистемах.

Надеемся, что целительная энергия уникального озера Байкал и общение в научном кругу единомышленников послужат всем нашим участникам стимулом для дальнейших научных достижений и открытий!

*С наилучшими пожеланиями,  
Оргкомитет конференции*

The background of the entire page is a close-up photograph of water ripples, creating a complex, organic pattern of light and dark blue tones. The ripples are concentric and overlapping, giving a sense of movement and depth. A semi-transparent white horizontal band is positioned across the middle of the image, serving as a background for the text.

СЕКЦІЯ 1

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ  
ФИЗИОЛОГИЯ  
СТРЕССА**

## РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ПЕРСИКА НА НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ФАКТОРЫ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ ЮГА РОССИИ

Ю. С. Абильфазова

ФИЦ СНЦ РАН, Сочи, Россия

Citrus\_Sochi@mail.ru

*Persica vulgaris* L. (Mill.) является культурой, которая выращивается в последнее время повсеместно. Наш субтропический регион является уникальным для исследований и выращиваемые на побережье Краснодарского края сорта персика особо требовательны к температурному режиму до начала цветения и в момент созревания плодов, а для морфогенеза цветковым почкам необходимо определенное количество температур в пределах 7,2 °С, которые нарушаются с изменением погодных условий влажных субтропиков (теплая зима в январе-феврале, холодная весна в марте-апреле с морозящими продолжительными дождями; повышенные температуры воздуха, провоцирующие несвоевременное пробуждение почек растений; возвратные холода, способствующие ухудшению морфогенеза цветковых почек, что отражается на качестве плодов и урожае). Кроме того, с середины июня по август, в период созревания плодов повышается температура до +28 °С и выше, выпадает мизерное количество осадков, что приводит к дефициту влаги, снижению иммунной системы, болезням, ухудшению вкусовых качеств плодов. Локальные изменения климатических условий в субтропиках России обязывают ученых подбирать для данного региона наиболее устойчивые сорта персика, отличающиеся экологической пластичностью. В связи с этим с 2014 г. проводятся лабораторные исследования для диагностики сортовой устойчивости персика к изменениям условий среды в отделе физиологии и биохимии растений Субтропического научного центра (г. Сочи). Опыт заложен в открытом грунте, площадь составляет 0,5 га на высоте 50–70 м над у. м. Схема посадки 5×2 м, чашеобразная форма обрезки. Изучения физиолого-биохимических процессов проводятся на модельных деревьях различных сортов персика: *Mjerkrest*, *Diksired*, *Big Top*, *Mainred*, *Maria Serena*, *Redhaven*, *Slavutich*, *Veteran*, *Larisa*, *Osenij sjurpriz* классическими методами: водный дефицит, оводненность листовых пластинок, толщина листа, вододерживающая способность, характеризующими функциональное состояние растений персика. Индикаторным органом являются физиологически зрелые листья персика. Полученные данные свидетельствуют об ответной реакции культуры на нарушения водно-термического режима субтропической зоны. Результаты исследований установлено, что повышение температуры воздуха способствовало высокой отрицательной корреляции ( $r = -0,9$ ) между величиной водного дефицита и толщиной листа. Локальные изменения климата за время исследований приводили к повышению водного дефицита до 20 %, потере тургора, снижению толщины листа до 0,16 мм, снижению вододерживающей способности листьев до 50 % у малоустойчивых сортов *Big Top*, *Maria Serena*, *Slavutich*, *Veteran*, *Osenij sjurpriz*. Выявлено, что лидерами по устойчивости к нарушениям гидротермического режима юга России отмечены сорта *Redhaven*, *Mjerkrest*, *Diksired*, *Mainred*, *Larisa*, что свидетельствует о их высокой жизнеспособности.

Исследование выполнено по теме Гос. задания FGRW-2022-0012 (№ гос. регистрации 121120700353-5).

## ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ОНТОГЕНЕЗА

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

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия  
avalbaev@yahoo.com

Засуха относится к числу наиболее распространенных стрессов, приводящих к нарушению всех звеньев метаболизма и потере продуктивности культурных растений, в том числе и пшеницы. Как известно, одной из наиболее критичных фаз в развитии растений является ранний этап онтогенеза, во время которого растения наиболее чувствительны к действию неблагоприятных факторов, особенно дефициту влаги. Мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – одна из наиболее распространенных в мире и России ценных сельскохозяйственных культур, у которой в ходе естественного и искусственного отборов на территории России сформировались две существенно отличающихся по стратегии адаптации к засухе экологические группы – лесостепной западносибирский и степной волжский экотипы. Особенно характерно различие этих экотипов в начальную фазу развития растений, что связано с разными эколого-географическими условиями их произрастания. Для регионов Западной Сибири характерна весенняя засуха, в связи с чем растения пшеницы лесостепного западносибирского экотипа отличаются замедленным ростом на начальном этапе онтогенеза. В юго-восточных районах европейской части России, в частности в Поволжье, засуха наблюдается позднее, и сорта степного волжского экотипа наоборот интенсивно растут в начале вегетации с целью максимально развить разветвленную сеть корней к моменту наступления летней засухи. Нами была проведена сравнительная оценка засухоустойчивости растений пшеницы сортов Зауральская жемчужина (ЗЖ, лесостепной западносибирский экотип) и Экада 70 (Э-70, степной волжский экотип) в начальную фазу их онтогенеза. Засухоустойчивость растений оценивалась по прорастающей способности семян и по длине главного корня 3-суточных проростков в растворах 4, 8 и 12 % сахарозы, моделирующих засуху. В ходе экспериментов выявлено, что имитирующие засуху растворы сахарозы подавляли прорастание семян обоих экотипов пшеницы, причем процент прорастания семян снижался с увеличением концентрации сахарозы. Особо стоит отметить то, что процесс подавления прорастания семян на растворах сахарозы был выражен гораздо сильнее у сорта ЗЖ – представителя лесостепного западносибирского экотипа. В то же время в условиях обезвоживания происходило и ингибирование длины главного корня 3-суточных проростков пшеницы обоих экотипов. Однако, на растворах сахарозы у растений сорта Э-70 – представителя степного волжского экотипа – рост главного корня тормозился существенно меньше в отличие от проростков сорта ЗЖ. Таким образом, можно констатировать, что для различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы характерно различие в засухоустойчивости на начальном этапе их развития – растения степного волжского экотипа более устойчивы в этот период в сравнении с представителями лесостепного западносибирского экотипа.

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

## УЧАСТИЕ ОКСИДА АЗОТА В РЕГУЛЯЦИИ *TADHN* ГЕНА ДЕГИДРИНА В РАЗНЫХ СОРТАХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

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

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*allagulova-chulpan@rambler.ru*

Оксид азота (NO) является сигнальной молекулой, вовлекаемой в регуляцию нормального развития растений и их адаптации к стрессовым факторам среды, среди которых наиболее распространена засуха. Важную роль в развитии засухоустойчивости растений играют белки дегидрины, принадлежащие к семейству LEA (late embryogenesis abundant), которые, накапливаясь на поздних стадиях созревания семян, участвуют в поддержании жизнеспособности зародышевых структур в фазу их обезвоживания. Усиление синтеза дегидринов выявляется в тканях вегетирующих растений в условиях водного стресса. При этом дегидрины выполняют множественные защитные функции, обусловленные их шаперонной, антиоксидантной и ион-связывающей активностью. Учитывая способность NO повышать устойчивость растений к дефициту влаги, можно предположить, что важный вклад в спектр его защитного действия могут вносить дегидрины. Поэтому данная работа была посвящена анализу транскрипционной активности клонированного нами ранее *TADHN* гена дегидрина в NO-обработанных проростках пшеницы *Triticum aestivum* L. двух сортов, различающихся по засухоустойчивости: Салават Юлаев (СЮ – неустойчивый сорт) и Экада-70 (Э-70 – устойчивый сорт) при воздействии обезвоживания (ПЭГ 12 %). Для NO-предобработки использовали нитропруссид натрия (SNP – sodium nitroprusside) в концентрации 200 мкМ, эффективной в стимуляции роста пшеницы и его защите при обезвоживании. Стрессовая обработка увеличивала транскрипционную активность *TADHN* гена дегидрина в проростках обоих сортов, особенно Э-70. В этих растениях максимальные уровни накопления *TADHN* транскриптов, достигающие примерно 3-кратного значения от уровня контроля, выявлялись к 6 ч опыта и поддерживались на том же повышенном уровне до 9 ч стресса. Тогда как в растениях сорта СЮ к 6 ч опыта содержание транскриптов гена дегидрина возрастало не более чем вдвое, хотя к 9 ч стресса оно повышалось почти в 2,5 раза. NO-предобработанные и подвергнутые обезвоживанию растения характеризовались дополнительным увеличением уровня накопления транскриптов *TADHN* гена более чем на 30 % для обоих сортов к 9 ч опыта, так что их содержание достигало примерно 3- и 4-кратного значения от уровня контроля в растениях СЮ и Э-70, соответственно. Полученные результаты могут указывать на вовлечение *TADHN* гена дегидрина в спектр NO-индуцированных защитных реакций в разных сортах пшеницы при воздействии обезвоживания.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00196, <https://rscf.ru/project/22-24-00196/>.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Аллагулова Ч. Р. Участие оксида азота в регуляции развития растений и их устойчивости к дефициту влаги / Ч. Р. Аллагулова, Р. А. Юлдашев, А. М. Авальбаев // Физиология растений. – 2023. – Т. 70, № 2. – С. 115–132.

Современные представления о механизмах образования оксида азота в растениях / Ч. Р. Аллагулова, А. М. Авальбаев, А. Р. Лубянова., О. В. Ласточкина, Ф. М. Шакирова // Физиология растений. – 2022. – Т. 69, № 4. – С. 339–351.

## ВЛИЯНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ *EXPs* И *XTHs* НА АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ РАСТЕНИЙ

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

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*berezhneva-z@yandex.ru*

Экспансины (*EXPs*) и ксилоглюканэндотрансгликозилазы (*XTHs*) играют важную роль в обеспечении роста корней при нормальных условиях и при действии абиотических стресс-факторов, таких как засуха, гипотермия, засоление и влияние тяжелых металлов. *EXPs* – это неферментативные белки, индуцирующие обратимое разрушение водородных связей между гликанами и микрофибриллами целлюлозы, а *XTHs* – гидролитические ферменты, локализующиеся в апопласте и осуществляющие реакции трансгликозилирования и расщепления связующих гликанов. Оба процесса приводят к разрыхлению клеточной стенки и способствуют росту клеток растяжением. Кроме того, и *EXPs*, и *XTHs* могут оказывать положительное влияние на антиоксидантную систему растений. Ранее нами были созданы трансгенные растения *Nicotiana tabacum* L. со сверхэкспрессией генов экспансинов *NiEXPA1*, *NiEXPA5* и ксилоглюканэндотрансгликозилаз *NiEXGT*, *PttXTH1*. Целью данной работы являлась оценка состояния компонентов антиоксидантной системы корней этих трансгенных растений при нормальных условиях и загрязнении кадмием. После 10 дней проращивания трансгенных растений на селективной среде с гигромицином проростки с одинаковыми размерами корней переносили на вертикально-ориентированные чашки Петри со средой МС при нормальных условиях и с добавлением ацетата кадмия в концентрации 200 мкМ. По истечению 10 дней эксперимента были определены активности ферментов супероксиддисмутаза, гваяколпероксидазы, аскорбатпероксидазы, каталазы, глутатион-S-трансферазы, а также содержания количества водорастворимых сахаров, окисленного и восстановленного глутатиона, малонового диальдегида, пролина. Также определяли общую антиоксидантную способность и содержание общего растворимого белка. При влиянии кадмия увеличение содержания общего растворимого белка и общей антиоксидантной способности были выявлены в корнях трансгенных растений с геном *PttXTH1*, остальные трансгены не оказали существенного влияния на эти параметры. Содержание малонового диальдегида и активность каталазы при нормальных условиях и влиянии кадмия было выше в корнях трансгенных растений с генами *XTHs* по сравнению с диким типом, а растения с генами *EXPs* не показали существенных различий по сравнению с диким типом по обоим параметрам. Активность аскорбатпероксидазы при нормальных условиях была выше в корнях всех изучаемых трансгенных растений по сравнению с диким типом. Активность гваяколпероксидазы была выше у трансгенных растений *NiEXPA5* и *NiEXGT* по сравнению с диким типом при нормальных условиях. Активность супероксиддисмутаза при влиянии кадмия в корнях всех изучаемых генов находилась на уровне или ниже дикого типа. Активность глутатион-S-трансферазы была выше в корнях трансгенных растений с генами *EXPs* и *NiEXGT* по сравнению с диким типом при нормальных условиях и при влиянии кадмия. В трансгенных растениях с генами *EXPs* содержание окисленного и восстановленного глутатиона было на уровне дикого типа при нормальных условиях и ниже при влиянии кадмия. Полученные данные позволяют говорить об участии генов *EXPs* и *XTHs* в обеспечении роста корней растений, в том числе, при действии кадмия, посредством влияния не только на структуры клеточной стенки, но и на компоненты антиоксидантной системы.

**ИЗУЧЕНИЕ НЕГАТИВНЫХ АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ У РАСТЕНИЙ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.)****П. А. Бизиков, А. А. Ищенко, Л. Е. Макарова, И. Г. Петрова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

bizikov.piotr@mail.ru

N-фенил-2-нафтиламин (N-ФНА) и фталаты – известные соединения, синтезируемые в химической промышленности. Их относят к веществам негативного действия на живые организмы. В то же время, N-ФНА обнаружен в растениях, фталаты – в растениях и в бактериях. В настоящее время в научной литературе отсутствуют данные о путях синтеза N-ФНА и фталатов в растительных клетках. Эти соединения обнаружены в тканях корней и в корневых экссудатах у бобовых культур. Применяв экзогенную обработку корней растений гороха посевного (*Pisum sativum* L.) раствором нафталина, мы показали, что данное соединение в клетках этого растения может служить в качестве предшественника синтеза N-ФНА и фталатов. Цель представляемых исследований – выяснение вероятных локусов биосинтеза N-ФНА и фталатов и выяснение возможности их влияния на формирование бобово-ризобияльного симбиоза. В работе использовали, в качестве исходного растительного материала, 2-суточные этиолированные проростки гороха сорта Торсдаг, на которые в течение одних суток воздействовали  $10^{-4}$ M раствором нафталина или бактериями *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* (RCAM 1022). Контролем служили проростки, произраставшие на воде. По окончании экспозиций корни промывали дистиллированной водой и нарезали на участки: на расстоянии 0–2–7–20–25 мм от кончика корня и гипокотиль (5 мм отрезок, считая от семени). Из фиксированных 95%-ным этанолом отрезков корней последовательно при помощи 80 % этанола и этилацетата получали экстракты, в которых методом ВЭЖХ определили содержание N-ФНА, диэтил-, дибутил- и бис (2-этил-гексил) фталатов. При воздействии нафталина на проростки гороха в их корнях определены наиболее вероятные зоны синтеза N-ФНА и фталатов. Характер распределения концентрации N-ФНА и фталатов вдоль корня через 1 сут. после инокуляции бактериями *Rhizobium* позволяет оценить возможность их участия в регуляции симбиотических взаимодействий в зонах, различающихся по чувствительности к этим бактериям.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Роль аллелопатических соединений в регуляции и формировании бобово-ризобияльного симбиоза / Л. Е. Макарова, В. И. Смирнов, Л. В. Клыба, И. Г. Петрова, Л. В. Дударева // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 4. – С. 394–403.

Нафталин необходимый метаболит для образования N-фенил-2-нафтиламина и фталатов в растениях гороха (*Pisum sativum* L.) / Л. Е. Макарова, А. А. Ищенко, П. А. Бизиков, И. Г. Петрова, Т. В. Копытина // Химия растительного сырья. – 2023. – № 1. – С. 127–133. doi: 10.14258/jcrpm.20230111760

## МЕТАБОЛОМНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ РАСТЕНИЙ *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

**С. В. Битаршвили<sup>1</sup>, Е. М. Шестерикова<sup>1</sup>, М. С. Подлукский<sup>1</sup>, П. Ю. Волкова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

<sup>2</sup> Независимый исследователь, Бельгия, Гел

*bitarishvili.s@gmail.com*

Радионуклидное загрязнение территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, до сих пор остается серьезной экологической проблемой. Популяции растений, долгое время обитающие на этих территориях, представляют уникальную возможность для изучения последствий хронического облучения и механизмов адаптации к ионизирующему излучению. В рамках комплексного исследования ответных реакций травянистых растений на ионизирующее облучение и для выявления биохимических детерминант адаптации к долгосрочному хроническому облучению был выполнен метаболомный анализ листьев тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), произрастающего в Чернобыльской зоне отчуждения.

Проботбор был проведен в июне 2021 г. на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в Гомельской области Республики Беларусь, в 30-километровой зоне отчуждения. Листья отбирали с двух контрольных участков Ломыш и Бабчин с фоновым уровнем радиации и трех загрязненных – Масыны, Кулажин и Радин, характеризующимися высокими уровнями радиоактивного загрязнения (3–7 мкЗв/ч). Сразу после отбора растения фиксировали в жидком азоте и впоследствии лиофилизировали. Метаболомный анализ был проведен при помощи метода газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на приборе Agilent 7890A с масс-спектрометрическим модулем Agilent 5975C. Разделение осуществлялось на капиллярной колонке Rxi-5SilMS, Restek. Обработка данных ГХ-МС анализа проведена с помощью программы AMDIS 32, статистическая обработка и визуализация данных с помощью платформы Metaboanalyst 5.0.

В результате ГХ-МС анализа было выявлено около 750 соединений, после предварительной фильтрации, основанного на проверке качества определения, для дальнейшего исследования оставили 186 метаболитов. С помощью подходов мультивариантной статистики и иерархической кластеризации показана вариабельность метаболитных профилей в образцах *A. Millefolium*. Однофакторный дисперсионный анализ ANOVA с апостериорным тестом Фишера выявил 30 соединений, концентрации которых статистически значимо отличались в образцах с контрольных и загрязненных участков. В результате анализа метаболических путей показана вовлеченность биосинтеза аминокислот-тРНК и биосинтеза аминокислот в ответ *A. Millefolium* на многолетнее хроническое облучение. Полученные результаты вносят вклад в понимание механизмов адаптации растений к длительным антропогенным воздействиям и обоснованию новых принципов экологического регулирования.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-74-11004.*



**ВЛИЯНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕТЕРОЛОГИЧНОГО ГЕНА *NDB2 ARABIDOPSIS THALIANA* НА РОСТ, УСТОЙЧИВОСТЬ К НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ДЫХАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ *NICOTIANA TABACUM***

**Г. Б. Боровский<sup>1</sup>, Н. Е. Коротаева<sup>1</sup>, А. М. Шигарова<sup>1</sup>, А. И. Катышев<sup>1</sup>,  
И. В. Федосеева<sup>1</sup>, Е. А. Полякова<sup>1</sup>, А. В. Федяева<sup>1,2</sup>, Д. В. Савчин<sup>3</sup>,  
А. М. Шишлова-Соколовская<sup>3</sup>, О. Ю. Урбанович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ «ИЦиГ СО РАН», Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*borovskii@sifibr.irk.ru*

Повышению защитных свойств растений по отношению к неблагоприятным факторам внешней среды способствует умеренное увеличение концентрации эндогенных АФК в растительной ткани, которые являются сигнальными молекулами для запуска ряда защитных механизмов. Митохондрии являются одной из главных мишеней окислительного повреждения при стрессе, с другой стороны, они остаются одним из наиболее важных источников АФК. В регуляции уровня генерации АФК при стрессах у растений существенный вклад вносят альтернативные ферменты дыхательной цепи, в том числе альтернативные NAD(P)H-дегидрогеназы. С помощью агробактериальной трансформации и последующего отбора получены линии табака (*Nicotiana tabacum* L.) с высокой экспрессией гена *AtNDB2* (*NDB2* из *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.). Типичная по внешнему виду и величине экспрессии *AtNDB2* линия 13S была исследована по ростовым показателям и параметрам дыхательной активности при оптимальной (25 °C) и субоптимальной (20°C) температурах в сравнении с исходной разновидностью *N. tabacum*. Результаты показали, что в условиях субоптимальной температуры в растениях линии 13S наблюдалось усиление общего и альтернативного дыхания и снижение генерации супероксидного аниона. Скорость роста у растений с усиленной экспрессией *AtNDB2* по сравнению с контрольными была снижена, особенно при температуре ниже температурного оптимума. Устойчивость к отрицательным температурам у контрольных и трансгенных растений не отличалась.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00097, <https://rscf.ru/project/23-24-00097/>.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Анализ экспрессии генов в клетках суспензионной культуры *Arabidopsis thaliana* с пониженной экспрессией гена *NDB2* / И. В. Федосеева, А. И. Катышев, А. В. Федяева, А. В. Степанов, Г. Б. Боровский // *Siberian journal of life sciences and agriculture*. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 185–201. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-185-201

Влияние экспрессии гетерологичного гена *NDB2 Arabidopsis thaliana* на рост и дыхательную активность *Nicotiana tabacum* / Н. Е. Коротаева, А. М. Шигарова, А. И. Катышев, И. В. Федосеева, А. В. Федяева, Д. В. Савчин, А. М. Шишлова-Соколовская, О. Ю. Урбанович, Г. Б. Боровский // *Физиология растений*. – 2023. – Т. 70, № 5. – С. 467–471. doi: 10.31857/S0015330323600031

## УСТОЙЧИВОСТЬ РОГОЛИСТНИКА ПОГРУЖЕННОГО (*CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L.) К ДЕЙСТВИЮ ИОНОВ ЦИНКА

**В. В. Бочка, Ю. С. Григорьев**

СФУ, Красноярск, Россия  
valeria.bochka@yandex.ru

Роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.) – многолетнее травянистое водное растение, использующееся для фиторемедиации. Виды, использующиеся для очистки вод от соединений тяжелых металлов, прежде всего, должны быть устойчивыми к ним.

Была исследована устойчивость *C. demersum* к действию ионов цинка в концентрациях 0,6–5 мг/л. Эксперименты проводились в трех повторностях. Применялась 20 % среда Штейнберга, которая разливалась по флаконам культиватора УЭР-03 объемом 50 мл. В каждый флакон помещалась верхушечная часть растения, имеющая четыре мутовки. Образцы экспонировались в течение 7 сут. в климатостате В4 при температуре 23 °С. Для контроля состояния растений проводилось измерение одновременно массы и длины, поскольку токсическое воздействие ионов тяжелых металлов на рост растений может проявляться увеличением длины в результате стимуляции процессов растяжения при невысоких темпах прироста массы.

На седьмые сутки экспозиции в контрольном варианте абсолютный прирост массы растений составил 40 %. При внесении в среду ионов цинка в концентрациях 0,6–1 мг/л наблюдалась стимуляция нарастания биомассы по отношению к контролю, тогда как при более высоких концентрациях (2–5 мг/л) прирост длины подавлялся. Наибольшее увеличение массы показали растения при концентрации 1 мг/л, который на 20 % превышал контрольный вариант. Наименьшее прорастание массы имело место при концентрации цинка 3 мг/л, что на 12 % было ниже, чем в среде без токсиканта.

Одновременно с увеличением массы в период световой экспозиции наблюдалось увеличение длины образцов роголистника. В контрольном варианте на седьмые сутки этот прирост составил 25 %. В присутствии ионов цинка в концентрациях до 0,9 мг/л показатели прироста длины растения были выше контроля. Наибольшее превышение составило 15 % при концентрации 0,7 мг/л. Концентрации ионов цинка 1 мг/л и выше вызывали угнетение процессов роста, который при 4 мг/л был на 14 % ниже контрольного варианта.

Снижение прироста массы и длины при концентрациях цинка 1 мг/л и выше, наблюдаемое уже после первых суток эксперимента, может быть вызвано токсическим воздействием данного металла. При этом, несмотря на снижение темпов прироста, растения не имели внешних признаков повреждения.

Таким образом, все изученные концентрации ионов цинка не являются предельными для *C. demersum*. Концентрации 0,6–0,9 мг/л оказывают стимулирующее воздействие на прирост как массы, так и длины растения, свыше 1 мг/л – приводят к их снижению. В дальнейшем планируется изучить аккумуляционную способность растений в отношении ионов цинка.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Бочка В. В. Устойчивость роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.) к воздействию ионов меди и цинка / В. В. Бочка // Инновационные тенденции развития российской науки : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2022. – С. 74–78.

**ИЗМЕНЕНИЕ ЛИПИДНОГО СОСТАВА ЛИШАЙНИКА *PELTIGERA CANINA* ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ТЕМПЕРАТУР****Ю. Н. Валитова, В. Р. Хабибрахманова, В. Л. Уваева, Д. Ф. Рахматуллина,  
Е. И. Галеева, Т. В. Трифонова, Ф. В. Минибаева**

КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

yulavalitova@mail.ru

Организмы-экстремофилы способны выживать в экстремальных условиях, чрезвычайно неблагоприятных для других организмов, посредством уникальных механизмов устойчивости. К таким организмам относятся лишайники – симбиотические ассоциации грибов (микобионт) и водорослей и/или цианобактерий (фотобионты). Высокая стрессовая устойчивость лишайников обусловлена, среди прочих факторов, наличием в их организме большого количества вторичных метаболитов, среди которых присутствуют разнообразные по структуре терпены, фенолы, необычные жирные кислоты, а также стерины. Несмотря на очевидную важность, биохимические механизмы стрессовой устойчивости лишайников, опосредованные изменениями стеринового профиля, изучены недостаточно полно и не систематизированы. Известно, что лишайники обладают достаточно уникальным и разнообразным стериновым составом, отличающимся от такового у грибов и водорослей. Пельтигеровые лишайники являются обособленным отделом лишайников, которых относят к отдельной ветви лишайникового сообщества. В отличие от остальных лишайников, для них характерны высокие темпы роста и индексы метаболической активности. В настоящей работе были исследованы стресс-индуцированные изменения физиологического состояния лишайника *Peltigera canina* (дыхание, фотосинтез, индекс мембранной стабильности, уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ)), а также изменения его липидного состава при действии низкой отрицательной ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и повышенной ( $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температур. Обнаружено, что воздействие на лишайник пониженной температуры приводило к снижению параметров флуоресценции хлорофилла. В первый час воздействия низкой температуры наблюдалась стимуляция дыхания, которая постепенно снижалась к 3 ч инкубации. Повышенная температура оказала подавляющее действие на параметры флуоресценции хлорофилла, а также значительно ингибировала дыхание. Воздействие неблагоприятных температур на талломы лишайника приводило к снижению индекса мембранной стабильности и повышению уровня ПОЛ. Относительное содержание стеринов в лишайнике слегка повышалось при действии отрицательной температуры и оставалось неизменным при нагревании. Уровень содержания терпеноидов не изменялся при действии неблагоприятных температур. Содержание сквалена практически не изменялось при действии холода и слегка снижалось при тепловой обработке. Наблюдалось небольшое снижение уровня содержания эфиров стеринов при действии неблагоприятных температур. Абсолютное содержание стеринов и уровень сквалена практически не изменялись при действии неблагоприятных температур, в то время как содержание тритерпенов и относительное содержание жирных кислот значительно снижались. Напротив, при действии низкой отрицательной температуры происходило значительное увеличение относительного содержания триглицеридов. Таким образом, терморегуляция физиологического состояния лишайника *P. canina*, во многом, определяется изменением липидного профиля.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00362.

## РОЛЬ ГЕНА ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА *ABI3* В ФОРМИРОВАНИИ ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В СЕМЕНАХ СОРТООБРАЗЦОВ ГОРОХА, УСТОЙЧИВЫХ К СНИЖЕНИЮ УРОЖАЙНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

**К. П. Гайнуллина**<sup>1,2</sup>, **Б. Р. Кулуев**<sup>1</sup>, **Ф. А. Давлетов**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup> ОС «Уфимская» УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>3</sup> Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

karina28021985@yandex.ru

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) – основная зернобобовая культура в России, которая служит ценным источником растительного протеина. Повышение белковой продуктивности и урожайности гороха является важной задачей современной селекции. Известно, что у ряда представителей семейства Бобовые (*Medicago truncatula* Gaertn., *Glycine max* L. Merr. и некоторых других) в регуляции созревания семян, сопровождающегося биосинтезом и накоплением в них запасных питательных веществ, в том числе белков, задействован ген транскрипционного фактора *ABI3*, однако его роль в данном процессе остается малоизученной. Для формирования стабильно высоких урожаев зерна гороха важную роль играет засухоустойчивость возделываемых в производстве сортов, поэтому важно вести селекцию в направлении улучшения данного признака. Целью исследования стал анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *ABI3* у высокобелковых сортобразцов гороха посевного, устойчивых к засухе. Опыты проводились в 2020–2022 гг. По влагообеспеченности 2020, 2022 гг. характеризовались как достаточно влажные (ГТК = 1,20; 1,30 соответственно), 2021 г. был острозасушливым (ГТК = 0,40). Объектом исследования послужили 40 сортобразцов гороха посевного из коллекции генетических ресурсов зернобобовых культур ВИР. Оценку на засухоустойчивость проводили методом контрастных лет (В. К. Абрамов, А. И. Корнев, 1984 г.). Содержание протеина в семенах определяли по методу Брэдфорда. Подбор праймеров и сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей осуществляли с помощью программ PrimerSelect и MegAlign. Секвенирование проводили по методу Сэнгера. Было отобрано 13 наиболее высокобелковых сортобразцов с содержанием протеина в семенах  $23,2 \pm 0,3$ – $25,5 \pm 0,6$  %. В 2021 г. в условиях засухи у них был проведен анализ снижения урожайности. В результате были выделены 2 высокопродуктивные и одновременно засухоустойчивые формы – Чишминский 229 и Аксайский усатый 55, у которых было отмечено наименьшее снижение массы семян с растения (1,2 и 7,5 % соответственно) в засушливый 2021 г. Сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *ABI3* у данных сортов с представителем группы низкобелковых сортобразцов – сортом Фараон – выявил у них ряд однонуклеотидных замен: Т→С, А→Т, С→G, Т→С, А→Т в позициях 861, 864, 1133, 1152, 1349 п.н. соответственно. Полученные нами результаты могут свидетельствовать о взаимосвязи мутаций в гене *ABI3* с накоплением протеина в семенах гороха. Сортобразцы Чишминский 229, Аксайский усатый 55 рекомендуется использовать в селекции как источник высокой белковой продуктивности, урожайности и засухоустойчивости.

Исследование выполнено при поддержке гранта АН РБ № 22-14-20049 (соглашение № 1 от 06.06.2022).

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧАЕМЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

**С. А. Гераскин, В. С. Бондаренко, С. В. Битаршвили, Е. В. Бондаренко, Д. В. Васильев**

ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

*stgeraskin@gmail.com*

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

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-16-00004.*

### **Основные публикации авторов по теме доклада**

Scots pine as a promising indicator organism for biomonitoring of the polluted environment: A case study on chronically irradiated populations / S. Geraskin, P. Volkova, D. Vasiliyev, N. Dikareva, A. Oudalova, E. Kazakova, E. Makarenko, G. Duarte, A. Kuzmenkov // *Mutation Research.* – 2019. Vol. 842. – P. 3–13. doi: 10.1016/j.mrgentox.2018.12.011

Comparative analysis of epigenetic variability in two pine species exposed to chronic radiation in the Chernobyl and Fukushima affected zones / V. Bondarenko, S. Geraskin, E. Bondarenko, V. Yoschenko, S. Bondarenko, A. Khanova, D. Garbaruk, K. Nanba // *Environmental Pollution.* – 2023. – Vol. 330. – Art. 121799. doi 10.1016/j.envpol.2023.121799

## АНТОЦИАНЫ, ИХ СВОЙСТВА И ФУНКЦИИ В РАСТЕНИЯХ

**Т. К. Головко, И. Г. Захожий, О. В. Дымова**

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия  
golovko@ib.komisc.ru

Растения синтезируют множество разнообразных веществ – продуктов вторичного метаболизма. Наиболее распространены фенольные соединения, включающие многочисленную группу флавоноидов, куда входят водорастворимые пигменты – антоцианы (АЦ). Изучены биохимические пути, идентифицированы многие гены и транскрипционные факторы, участвующие в их синтезе. Ферменты биосинтеза АЦ локализованы в эндоплазматическом ретикулуме и образуют мультиферментный комплекс (флавоноидный метаболит). О присутствии АЦ сигнализирует специфическая окраска лепестков цветков, эпидермы листьев, клеток мезофилла, паренхимы проводящих пучков и сочных околоплодников, кожицы плодов, наружных слоев зерновки злаков. Содержание АЦ видоспецифично, экспрессия синтеза зависит от условий среды и находится под контролем факторов онтогенетического развития. Чаще всего АЦ появляются, когда процессы развития делают растения более чувствительными к внешним условиям. АЦ отводят ряд функций, основной считается экологическая (опыление, распространение семян, защита от патогенов и насекомых). АЦ способны также трансформировать количество и качество поступающего к хлоропластам солнечного света, конкурировать с фотосинтетическими пигментами за свет, особенно при низком содержании хлорофиллов, характерном для развивающихся и стареющих листьев. По нашим данным, концентрация АЦ в листьях растений таежной зоны варьировала в зависимости от таксономического положения, фазы развития и условий произрастания в широких пределах, от 0,01 до 2,7 мг/г сухой массы. Наименьшим содержанием АЦ характеризовались листоотбеленные бриофиты и голосеменные. Концентрация АЦ в листьях цветковых на порядок выше, причем больше АЦ накапливали растения хорошо освещаемых и прогреваемых местообитаний. У зимне-зеленого вида *Ajuga reptans* максимум содержания АЦ был отмечен у перезимовавших листьев на фоне уменьшения количества хлорофиллов и распада части пигмент-белковых комплексов. Листья факультативного САМ вида *Hylotelephium triphyllum* накапливали значительное количество АЦ в период генеративного развития растений. Сильно окрашенные листья отличались более низким уровнем липопероксидации и вовлечения альтернативного дыхания. По-видимому, метаболическая цена синтеза АЦ ниже преимуществ, получаемых растением при их накоплении. Полученные данные свидетельствуют о фотозащитной и антиоксидантной роли АЦ, их участия в оптимизации баланса между поступлением световой энергии и потребностями фотосинтеза, отражают физиологический статус растений и могут служить сенсором их состояния. АЦ используются человеком в качестве природных пищевых красителей. Сведения о пользе для здоровья богатой АЦ пищи стимулируют разработку технологий производства и хранения растительной продукции с повышенным содержанием этих соединений. В условиях теплиц нами была доказана возможность повышения содержания АЦ в листьях зимней линии салата на 25–30 % путем кратковременного облучения растений УФ-В радиацией.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания «Фотосинтез, дыхание и биоэнергетика растений и фототрофных организмов (физиолого-биохимические, молекулярно-генетические и экологические аспекты)» (№ гос. регистрации 122040600021-4).*

## ЛИПОКСИГЕНАЗНЫЙ КАСКАД КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM tuberosum* L.) В УСЛОВИЯХ АБИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА

**С. С. Горина, А. В. Огородникова, Л. Ш. Мухтарова, Я. Ю. Топоркова**

КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

gsvetlana87@gmail.com

Успешная колонизация растениями различных экологических ниш и адаптация к неблагоприятным условиям обеспечивается наличием широкого спектра метаболитов, одними из которых являются окисленные производные полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) – оксипирины. Биосинтез оксипиринов, происходящий при участии липоксигеназы (ЛОГ) с последующим ферментативным преобразованием синтезированных гидроперекисей жирных кислот, получил название липоксигеназного пути. Ключевыми ферментами этого пути, наряду с липоксигеназами, являются ферменты СYP74 (алленоксидсинтазы (АОС), дивинилэфирсинтазы (ДЭС), гидропероксидлиазы (ГПЛ) и эпоксиалкогольсинтазы (ЭАС)), разделяющие каскад на несколько ветвей, приводящих к биосинтезу жасмонатов, дивиниловых эфиров, летучих альдегидов, гидроперокси-, гидрокси-, оксо- и эпокси-производных жирных кислот и др. Наличие региоспецифичности окисления ПНЖК, разделяет липоксигеназный путь на 9- и 13-ветви. Наиболее известными оксипиринами являются жасмонаты – продукты 13-ветви ЛОГ каскада.

В ходе наших исследований была проанализирована динамика экспрессии генов ферментов ЛОГ каскада картофеля и активность соответствующих ферментов при влиянии абиотических факторов: засоления, воздействия гербицидов и темноты. Наряду с этим в тех же условиях проводился анализ профилей экспрессии маркерных генов салицилат-, АБК-, этилен-, ауксин- и гиббереллин-зависимых сигнальных систем. Мы обнаружили, что, как и в работах, посвященных биотическому стрессу (инфицированию), происходит активация 9-ЛОГ пути, однако дальнейшие превращения образуемых 9-гидроперекисей происходят не при участии ДЭС, а при участии 9-АОС и 9-ЭАС. Анализ профилей оксипиринов, выполненный методом газовой хромато-масс-спектрометрии, показал, что после воздействия на растения паракватом, также как и при выдерживании растений в темноте, происходит накопление 9-гидроперекиси линолевой кислоты (9-ГПОД), и образуемых из нее кетолов и эпоксиспиртов. Таким образом, ЛОГ на разные типы стрессовых факторов могут отзываться сходным образом, о чем свидетельствует накопление 9-ГПОД и при абиотическом стрессе, и при инфицировании, тогда как ниже расположенные ферменты СYP74 уже формируют различный пул оксипиринов, необходимый в данной ситуации. Интересно, что в ходе экспериментов, продукты 13-ЛОГ пути не были обнаружены.

*Биоинформационный анализ и культивирование картофеля проводились при финансовой поддержке Гос. задания Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук». Исследования липоксигеназного каскада проводились за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00397.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Gene expression analysis of potato (*Solanum tuberosum* L.) lipoxygenase cascade and oxylipin signature under abiotic stress / S. Gorina, A. Ogorodnikova, L. Mukhtarova, Y. Toporkova // Plants (Basel). – 2022. – Vol. 11 (5). doi: 10.3390/plants11050683

## ОБРАЗОВАНИЕ И ДЕТОКСИКАЦИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В РАЗНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕН ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ *GOX* *PENICILLIUM FUNICULOSUM*

**О. И. Грабельных**<sup>1,2</sup>, **С. Р. Скрыбыкина**<sup>2</sup>, **А. В. Степанов**<sup>1</sup>, **А. В. Корсукова**<sup>1</sup>,  
**Е. А. Полякова**<sup>1</sup>, **Н. С. Забанова**<sup>1,2</sup>, **И. В. Любушкина**<sup>1,2</sup>, **Т. П. Побежимова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

*grolga@sifibr.irk.ru*

Глюкозооксидаза катализирует реакцию окисления глюкозы до β-D-глюконо-δ-лактона и сопряженное восстановление молекулярного кислорода до пероксида водорода. Проведены сравнительный анализ зависимости содержания пероксида водорода от активности глюкозооксидазы (GOX) в разных органах растений картофеля (листьях, стеблях и корнях) и оценка активности данного фермента и содержание пероксида водорода в среде выращивания растений картофеля, экспрессирующих ген *gox*. Также изучена активность каталазы и гваяколовой пероксидазы, как возможного механизма детоксикации пероксида водорода. Использовали растения картофеля дикого типа, растения, трансформированные вектором без целевого гена и векторными конструкциями, несущими нативный и модифицированный ген *gox* *Penicillium funiculosum* (Савчин и др., 2011, 2015).

Показано, что несмотря на активность GOX, содержание пероксида водорода в листьях и стеблях у трансформантов не было повышено. Обнаружено, что при выращивании на жидкой среде происходит выход пероксида водорода в питательную среду, небольшое увеличение концентрации которого в среде на начальном этапе роста растений вызывает стимуляцию роста корней, а при дальнейшем повышении концентрации – ингибирование. В корнях всех трансгенных линий картофеля содержание пероксида водорода было увеличенным, по сравнению с диким типом, при этом концентрация пероксида водорода в корнях и его содержание в питательной среде находились в прямой зависимости от активности GOX. Отмечается вариабельность значений анализируемых параметров в образцах индивидуальных растений. Полученные данные указывают, что в нейтрализации пероксида водорода, образуемого GOX, принимает участие каталаза.

*Авторы благодарят Урбанович О. Ю. за предоставленные линии картофеля.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Biological effects of potato plants transformation with glucose oxidase gene and their resistance to hyperthermia / O. I. Grabelnykh, O. A. Borovik, I. V. Lyubushkina, K. Z. Gamburg, A. V. Fedyaeva, I. V. Fedoseeva, A. V. Stepanov, E. G. Rikhvanov, D. V. Sauchyn, O. Yu. Urbanovich, G.B. Borovskii // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – 2017. – Vol. 13, N 1. – P. 5–14.

Genetic transformation with *GOX* gene from *Penicillium funiculosum* as a mean for the increase of potato resistance to the extremal temperatures / O. I. Grabelnykh, K. Z. Gamburg, A. V. Stepanov, A. V. Korsukova, O. A. Fedotova, E. A. Polyakova, N. S. Zabanova, G. B. Borovskii // Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology (PlantGen2021): The 6th International Scientific Conference (June 14–18, 2021, Novosibirsk, Russia); Abstracts / Eds. A. V. Kochetov, E. A. Salina. Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; – Novosibirsk: ICG SB RAS, 2021. – P. 85. doi: 10.18699/PlantGen2021-069



## АНАЛИЗ СОСТАВА ФИТОСТЕРИНОВ ТОНОПЛАСТА КОРНЕПЛОДОВ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ *BETA VULGARIS* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СУЛЬФАТА МЕДИ

**В. В. Гурина, Е. В. Спиридонова, И. С. Капустина, Н. В. Озолина**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*nichka.g@bk.ru*

Один из способов детоксикации у растений направлен на изоляцию ионов тяжелых металлов и их комплексов в вакуоль. Мембраны клеток первыми подвергаются действию стрессовых факторов. Фитостерины, как важный компонент клеточной мембраны, принимают участие не только в стабилизации мембран, в регуляции активности протонных помп, но имеют и сигнальную функцию за счет своей роли в организации микродоменов, которые в свою очередь обеспечивают процесс аутофагии.

Целью работы было исследовать изменения в содержании стеринах вакуолярной мембраны происходящих в условиях стресса, вызванного ионами меди.

Использовались два способа воздействия меди: первый непосредственно на везикулы тонопласта и второй на ткани корнеплода. Были подобраны и оценены различные концентрации ионов меди, оказывающие влияние на растения. В результате применялись две концентрации ионов меди: 100 мкМ и 500 мкМ, которыми воздействовали на везикулы тонопласта в течение 30 мин и на кусочки корнеплодов 1 см<sup>3</sup> в течении 16 ч. Для определения стеринах проводили экстракцию общих липидов из тонопласта методом Фолча. Обнаружение и выделение стеринах компонентов осуществляли с помощью метода ТСХ. Далее стеринах силилировали. Образовавшиеся триметилсилильные производные стеринах были проанализированы с помощью хромато-масс-спектрометра GC–MS 7000/7890A TripleQuad, Agilent Technologies (США). Идентификацию стеринах проводили путем сравнения их времен удержания со стандартами, а также использовали библиотеки масс-спектров NIST08 и WILEY7. Относительное содержание компонентов смеси было вычислено из соотношения площадей хроматографических пиков.

Среди свободных стеринах было обнаружено 13 соединений, а среди эфирных стеринах – 12. Суммарное содержание  $\Delta^5$ -стеринах при обработке тканей корнеплода ионами меди среди свободных стеринах уменьшалось на 10 % при 500 мкМ, а сумма стеринах без двойной связи увеличивалась. Однако в эфирах стеринах наблюдались другие изменения при обработке тканей корнеплода ионами меди: сумма стеринах без двойной связи снижалась при обеих концентрациях, а при 100 мкМ суммарное количество стеринах без двойной связи увеличивалось. При воздействии ионов меди на тонопласт среди эфирных стеринах сумма  $\Delta^5$ -стеринах снижалась приблизительно на 20 %, тем не менее сумма стеринах без двойной связи возрастала примерно на 30 %. В целом можно отметить, что при воздействии 500 мкМ ионов меди непосредственно на тонопласт и при 100 мкМ на ткани корнеплода изменения в составе стеринах были более выражены.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00208, <https://rscf.ru/project/23-26-00208/>.*

## ОРГАНОСПЕЦИФИЧНОСТЬ СИНТЕЗА ЛИПОКСИГЕНАЗ В РАСТЕНИЯХ СОИ, ОГУРЦА И КАРТОФЕЛЯ

**А. М. Егорова**

КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*egorova@kibb.knc.ru*

Основным источником оксилипинов у растений является липоксигеназный каскад, начинающийся с образования гидроперекисей жирных кислот при участии липоксигеназ (LOX). Оксилипины участвуют во взаимоотношениях растений с патогенами и факторами окружающей среды. Жасмоновая и азелаиновая кислоты образуются в ходе липоксигеназного каскада и играют важнейшую роль в фитоиммунитете. LOX в растениях представлены многочисленными изоформами. В зависимости от экспрессируемой в тех или иных тканях LOX зависит спектр образующихся оксилипинов. В связи с этим «инвентаризация» LOX в различных органах растений может помочь в понимании направленности липоксигеназного каскада в различных органах растений.

Общие белки выделялись из растительной ткани и разделялись методом одномерного SDS-PAGE электрофореза, полученные гели окрашивали Кумасси G-250. Анализировали область геля в районе 90–110 кДа для поиска липоксигеназ. Для этого вырезали полосы геля, подвергали трипсинолизу и анализировали методом ESI-MS масс-спектрометре MicroTOF-Q (Брукер Дальтоникс, Германия) с предварительным разделением полученной смеси пептидов на системе нано-VЭЖХ Ultimate 3000 (Dionex, США) с использованием аналитической колонки Acclaim Pepmap, C18, 15 см (Thermo Fisher, США).

Анализ образцов, полученных из огурца, позволил идентифицировать 9S-LOX (Q42705) в листьях и 13S-LOX (Q9AYQ0) в стеблях, 9S-LOX (Q42705) и 13S-LOX (Q2Q0A7) в корнях. Проанализированные нами органы огурца отличаются низким содержанием и разнообразием LOX. Все идентифицированные LOX огурца различны, что говорит в пользу органоспецифичности их экспрессии и синтеза.

Анализ образцов сои также позволил идентифицировать 5 изоформ 9S-LOX в листьях и стеблях – P38417, Q43446, Q42780, Q43440, Q43438. Отличие между листьями и стеблями заключается в белке P38417, который, по всей вероятности, мажорным среди LOX листьев. В корнях сои был идентифицирован один белок Q43438, который синтезируется и в листьях, и в стеблях. Таким образом, листья и стебли сои отличаются большим разнообразием и содержанием LOX по сравнению с корнями.

У растений картофеля были проанализированы листья, стебли, корни и клубни. В листьях был идентифицирован 13S-LOX (O24370). В корнях четыре изоформы 9S-LOX – Q43190, Q9SC16, O24376, O49150. Наибольшее разнообразие и количество LOX из проанализированных нами органов картофеля было выявлено в молодых клубнях. Были идентифицированы 6 изоформ – Q9SC16, P37831, O24379, Q43190, O49150, O24376. Четыре из них совпадали с изоформами, выявленными в корнях, и две из них были специфичны для клубней – P37831 и O24379.

На примере проанализированных образцов из разных растений и их органов можно предположить, что конститутивная экспрессия экспрессируемых и синтезируемых в них изоформ LOX различается, что может приводить к разнонаправленному образованию конечных продуктов этого каскада.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00397.*

**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРХИДЕИ  
*EPIPACTIS PALUSTRIS*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ТЕХНОГЕННО  
НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕГО УРАЛА****А. В. Елькина, Н. В. Чукина**ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
*Elkina200@yandex.ru*

Значительный рост антропогенной деятельности приводит к исчезновению естественных ареалов растений семейства *Orchidaceae*. Вследствие этого некоторые виды орхидей колонизируют техногенно нарушенные местообитания. Однако исследования физиолого-биохимических характеристик, которые помогают данным растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям нарушенных экосистем, в настоящее время немногочисленны.

Объект исследования – *Epipactis palustris* (L.) Crantz (дремлик болотный), вид, занесенный в Красную книгу Свердловской области и имеющий статус «уязвимый» (II категория). Это длиннокорневищный травянистый многолетник, предпочитающий сырые и светлые местообитания: болота, заболоченные леса и луга, колонизирующий также территории промышленных отвалов.

Известно, что различные неблагоприятные факторы среды способны вызывать окислительный стресс в организме растений, ответной реакцией на который является усиление синтеза антиоксидантных соединений. Цель настоящего исследования – сравнительный анализ содержания низкомолекулярных антиоксидантов и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листьях орхидей *E. palustris*, произрастающих в естественном фитоценозе и в трансформированных местообитаниях.

Растительный материал отбирали в июле 2022 г. из естественного фитоценоза – заболоченный берег озера Багаряк и нарушенных местообитаний – золоотвалы Нижнетуринской и Рефтинской государственной районной электростанции (ГРЭС), (Свердловская область, Россия). Измерение содержания продуктов ПОЛ и неферментативных антиоксидантов (фенолов, флавоноидов, аскорбата и пролина) в листьях растений проводили спектрофотометрически по стандартным методикам.

Зольные субстраты, как известно, обладают рядом неблагоприятных для растений физико-химических параметров: низкой влагоемкостью, слабой теплопроводностью, несбалансированностью микро- и макроэлементного состава.

По результатам проведенного анализа выявлено, что содержание продуктов ПОЛ в листьях *E. palustris*, произрастающих во всех исследованных местообитаниях, достоверно не отличалось. Растения с нарушенных участков содержали в среднем в 1,4 раза больше фенольных соединений, чем растения из естественного фитоценоза. При этом доля флавоноидов в фоновом участке и на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС составляла 36 и 38 %, соответственно, и возростала до 48 % на золоотвале Рефтинской ГРЭС. В листьях орхидей, произрастающих на техногенных субстратах, накапливалось в среднем в 1,5 раза больше аскорбиновой кислоты и в 2 раза больше пролина по сравнению с растениями из естественного местообитания.

Таким образом, на основании представленных данных, можно предположить, что увеличение синтеза изученных низкомолекулярных антиоксидантов является адаптивной реакцией *E. palustris* на стрессовые факторы. По-видимому, активация антиоксидантной защиты способствует натурализации данного вида орхидей в неблагоприятных условиях золоотвалов.

## АНОКСИЯ И ПОСТАНОКСИЯ У РАСТЕНИЙ: МЕТАБОЛИЗМ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС

**В. В. Емельянов**

СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

*bootika@mail.ru*

Одним из неблагоприятных факторов, действующих на растения, является дефицит кислорода, за которым обычно следует восстановление аэробных условий, в результате чего растения оказываются в условиях постаноксического окисления. Метаболическое профилирование с помощью GC-MS выявило значительные изменения в метаболомах исследованных растений при недостатке кислорода. У пшеницы (неустойчивое растение) аноксия приводила к уменьшению спектра дисахаридов и накоплению пирувата, лактата, пролина и ГАМК. У риса (устойчивое растение) накапливались сукцинат, фумарат, пролин, ГАМК и аланин, а также эфиры жирных кислот, что может быть следствием активации липидного обмена. Сукцинат, аланин и ГАМК являются важными анаэробными метаболитами, образующимися в анаэробных путях реокисления НАД(Ф)Н. Перераспределение значимости сахаров и органических кислот выявлено у обоих растений, что определялось активацией гликолиза, брожений и альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н. Краткосрочная реоксигенация почти не оказывала воздействия на метаболомы, особенно при продолжительных сроках аноксии. Длительная реаэрация способствовала сдвигам метаболомов в сторону нормы, особенно у риса. Уровень сложных сахаров, аминокислот, стероидов и жирных кислот возрастал, а анаэробных метаболитов – уменьшался. Сходные с рисом изменения метаболома были продемонстрированы и для дикорастущих растений-гидрофитов, обитающих в условиях дефицита кислорода. При действии постаноксии аккумуляция  $H_2O_2$ , перекисидация липидов и карбонилирование белков у пшеницы стимулировались в большей степени, чем у риса. Под влиянием аноксии и реаэрации наблюдалось быстрое повышение активности каталазы, а также внутри- и внеклеточных гваяколпероксидаз у риса. Ферменты аскорбат-глутатионового цикла также эффективно функционировали у риса в условиях постаноксии. У пшеницы стимуляции каталазы не происходило, а пероксидаза активировалась только в побегах после краткосрочной аноксии и продолжительной реаэрации. Ферменты аскорбат-глутатионового цикла инактивировались. Стимуляция антиоксидантных ферментов у риса сопровождалась усилением экспрессии соответствующих генов. Протеомный анализ методами двумерной гелевой протеомики с последующим трипсинолизом и MALDI-TOF-MS выявил, что аноксический и постаноксический протеомы у риса группировались вместе, отдельно от нормоксии. Это позволяет заключить, что постаноксия не является самостоятельным стрессором, но ее следует считать продолжением воздействия (последствием) аноксии.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00484.*

### Основные публикации автора по тематике доклада

Chirkova T. The study of plant adaptation to oxygen deficiency in Saint Petersburg University / T. Chirkova, V. Yemelyanov // Biological Communications. – 2018. – Vol. 63, N 1. – P. 17–31. doi: 10.21638/spbu03.2018.104

Шиков А. Е. Постаноксия у растений: причины, последствия и возможные механизмы / А. Е. Шиков, Т. В. Чиркова, В. В. Емельянов // Физиология растений. – 2020. – Т. 67, № 1. – С. 50–66. doi: 10.31857/S0015330320010200

## СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ СОИ РАЗНЫХ СОРТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА

**А. Н. Ершова, О. С. Бердникова**

ФГБОУ ВО «ВГПУ», Воронеж, Россия

*profershova@mail.ru*

В естественных условиях на растения, включая и сельскохозяйственные культуры, действуют неблагоприятные факторы, связанные с переувлажнением или затоплением почв. При гипоксии в клетках растений усиливаются процессы свободнорадикального окисления (СРО), накапливаются различные типы АФК, способные повреждать клеточные структуры. Однако особенности реакции растений к действию стрессовых факторов на уровне сортов изучены крайне мало. В связи с этим исследовали скорость СРО разных сортов сои в условиях кратковременной гипоксии.

Объектом исследования служили проростки сои сортов «Белгородская-7», «Кобза», «Воронежская-31», «Писанка» и «Вышиванка», выращенные на свету методом гидропоники. Надземную часть проростков помещали в затемненные вакуум-эксикаторы, через которые пропускали разные газовые среды (3–24 ч). Скорость СРО определяли методом хемилюминесценции, содержание пероксида водорода, наиболее стабильной формы АФК, ферментативным методом с использованием пероксидазы и рассчитывали на мг белка. Активность СОД рассчитывали по скорости окисления NADH в присутствии нитросинего тетразолия и ФМС, пероксидазу спектрофотометрически с использованием *o*-дианизидина и выражали в единицах ФЕ/мг белка мин<sup>-1</sup>.

Установлено, что в клетках сои сорта «Воронежская-31» показатели СРО в условиях гипоксии возрастали к концу опыта на 70–80 %. У сорта «Кобза» скорость СРО увеличивалась на 20 %, а сортов «Белгородская-7», «Писанка» и «Вышиванка» оставалась на уровне контроля. Полученные данные были подтверждены исследованием динамики накопления пероксида водорода. В растениях сорта «Воронежская-31» содержание пероксида возрастало как при действии гипоксии, так и СО<sub>2</sub> среды в 1,5–2 раза в течение всего опыта, а сои сорта «Кобза» – на 15–20 %. В растениях сорта «Белгородская-7» содержание пероксида было снижено как в условиях гипоксии, так и СО<sub>2</sub> среды на 30–40 %, а сортах «Писанка» и «Вышиванка» после падения, возрастало до уровня контрольных растений. Активность антиоксидантного фермента пероксидазы растений сорта «Писанка» после снижения возрастала в 1,5 раза, а у сорта «Вышиванка» оставалась на уровне аэрируемых растений. Активность СОД в проростках сорта «Вышиванка» повышалась к 24 ч гипоксии на 40–50 % и в 2,5 раза у сорта «Писанка», что позволяло контролировать скорость СРО.

Проведенные исследования свидетельствуют о метаболических особенностях реакции разных сортов сои к условиям гипоксии на уровне процессов СРО и активности антиоксидантных ферментов, а, следовательно, устойчивости. Наиболее устойчивыми к гипоксии в этом случае можно считать сорта сои «Белгородская-7», «Вышиванка» и «Писанка», а наименее устойчивым являлся сорт «Воронежская-31», промежуточное положение занимал сорт «Кобза». Полученные результаты необходимо учитывать при изучении механизмов адаптации культурных растений к стрессам. Их можно использовать при подборе сортов к определенным условиям выращивания и в селекционной работе, наряду с другими биохимическими показателями.

## SNP-МАРКЕРЫ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ В ГЕНАХ *TADREB1* И *TAWRKY19* МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

**Е. А. Заикина, Б. Р. Кулуев**

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*evisheva@yandex.ru*

Абиотические стрессовые факторы, такие как холод и засуха, оказывают отрицательное влияние на рост и урожайность пшеницы. Понимание молекулярных механизмов, лежащих в основе стрессоустойчивости пшеницы, имеет большое значение для создания устойчивых сортов. Поиск SNP-маркеров стрессоустойчивости может быть полезным инструментом в современной селекции пшеницы. Целью работы был поиск SNP в генах *TaDREB1* и *TaWRKY19* в сортах и линиях мягкой пшеницы, используемых в селекционной работе в Предуральской степной зоне. Для экспериментов взяты следующие сорта мягкой пшеницы: Алабаская, Екатерина, Аэлита, Новоершовская, Безенчукская 380, Калач 60, Московская 39, Тулайковская 108, Омская 36, Архат, а также линии БНИИСХ УФИЦ РАН – Л65737, Л68551, Л65752, Л68347, Л43466, Л43706, которые еще не получили статуса «сорт». По параметру «зимостойкость» нами были оценены озимые сорта, а по параметру «засухоустойчивость» яровые сорта мягкой пшеницы. Оценку производили по стандартной методике в питомнике конкурсного сортоиспытания в течение 5 лет в Чишминском селекционном центре БНИИСХ УФИЦ РАН. ДНК из листьев пшеницы выделяли стандартным СТАВ методом. Далее подбিরали праймеры, амплифицировали фрагменты открытых рамок считывания исследуемых генов и определяли нуклеотидные последовательности методом автоматического капиллярного секвенирования. В результате выравнивания 16 полученных консенсусных последовательностей гена *TaDREB1* с референсной последовательностью GenBank AF303376.1 было выявлено 12 однонуклеотидных замен в позициях: 755 (G/T), 804 (G/C), 805 (A/G), 821 (T/A), 848 (A/C), 866 (A/T), 894 (G/A), 901 (A/C), 904 (C/A), 920 (C/G), 958 (T/G), 972 (A/T) п.н. Из всех выявленных SNPs, замена в положении 866 была, вероятно, связана с параметром «зимостойкость». Так из 16 сортов и линий в опыте было 10 озимых и 6 яровых. У всех озимых сортов с высокой зимостойкостью в позиции 866 располагался аденин (A), а у образцов с низкой зимостойкостью – тимин (T). У яровых образцов, как с высокой, так и низкой засухоустойчивостью, в данной позиции находился тимин (T). Исходя из этих данных, мы делаем вывод о возможной связи замены 866 (A/T) в гене *TaDREB1* именно с высокой зимостойкостью, но не засухоустойчивостью. В остальных выявленных вариантах SNPs явно не были связаны с засухоустойчивостью и зимостойкостью. При выравнивании секвенированных последовательностей гена *TaWRKY19* с референсной последовательностью GenBank EU665430.1 было обнаружено 5 однонуклеотидных замен в положениях: 587(A/G), 609 (C/T), 656 (A/G), 672 (T/C), 765 (C/T) п.н. Из всех выявленных SNPs, замена в положении 587 была, вероятно, связана с засухоустойчивостью и зимостойкостью. Так, в положении 587 гуанин (G) был характерен для трех озимых образцов с низкой зимостойкостью, тогда как для четырех образцов с высокой зимостойкостью в этом положении был аденин (A). В образце с низкой засухоустойчивостью в положении 587 также был гуанин (G), тогда как у всех засухоустойчивых образцов в этом положении был аденин (A). Таким образом, для каждого из генов *TaWRKY19* и *TaDREB1* были выявлены только по одному предполагаемому SNP-маркеру, потенциально связанные с устойчивостью к засухе и зимостойкостью.

**ВЛИЯНИЕ УФ-В НА ПРОРАСТАНИЕ ПЫЛЬЦЫ И РОСТ ПЫЛЬЦЕВЫХ ТРУБОК *PETUNIA HYBRIDA* E. VILM. *IN VIVO*****Е. В. Захарова**

ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

zakharova\_ekater@mail.ru

Ультрафиолетовая радиация (УФ) является мощным стрессовым фактором для живых систем, так как вызывает разнообразные фотохимические превращения. Уровень УФ-В, достигающий поверхности Земли увеличивается из-за антропогенного воздействия. В связи с этим исследование механизмов действия УФ на физиологические процессы, в частности, на опыление сельскохозяйственных и дикорастущих растений, приобретает большое значение.

Основная задача нашего исследования заключалась в установлении эффекта действия УФ-В на прорастание пыльцы и рост пыльцевых трубок петунии – объекта исследования регуляторных механизмов прогамной фазы оплодотворения – *in vivo*.

Исследования выполнены с использованием растений петунии из лабораторной коллекции, которые выращивали в условиях оранжереи при естественном освещении. Для работы брали по 2 мг пыльцы каждого образца, помещали в чашку Петри диаметром 4 см. Для исключения экранирования кисточкой наносили пыльцу в чашку Петри, разбивали в монослой, закрывали пленкой, облучали УФ-В. Пыльцу облучали эритемными лампами ЛЭ-30 с интенсивностью УФ-В 5 Вт/м<sup>2</sup>. Дозы УФ-В от 1,5 до 18 кДж/м<sup>2</sup> регулировали продолжительностью облучения.

Эксперименты проводились на системе пыльца-пестик *in vivo* после самонесовместимого (СН), и перекрестного совместимого (ПС) опылений. Предварительно обработанную УФ пыльцу кисточкой наносили на рыльце пестика. Контролем в данном опыте служили цветки, на рыльца пестиков которых наносили не обработанную УФ пыльцу. Сбор и фиксацию материала (опыленных пестиков) производили через 2, 4, 6 и 24 ч после опыления. Помимо контролирования завязываемости семян проводили визуализацию роста пыльцевых трубок (ПТ) в тканях пестика методом флуоресцентной микроскопии (окрашивание ПТ анилиновым голубым).

В ходе эксперимента установлено, что в маленьких дозах облучения (5 мин) УФ затормаживает рост ПТ на первых часах опыления, но к 24 ч их рост сравним с контролем (завязываемость семян не происходит, как при СН, так и при ПС опылениях). Доза облучения 15 мин приводила к значительной стимуляции (в 2 и более раз) роста ПТ на протяжении 24 ч опыления, но завязывания семян снова не происходило. Начиная с 30 мин обработки УФ наблюдается разница между ростом ПТ при ПС и СН опылениями. Данная обработка стимулирует рост ПС пыльцевых трубок в первые часы опыления, в время как СН пыльцевые трубки ингибировались. После 45 мин обработки УФ, стимуляции не наблюдается, рост ПТ происходит на уровне контроля, семена не завязываются. Обработка УФ 60 мин сильно ингибировала прорастание семян и рост ПТ как при ПС опылении, так и при СН.

Таким образом, несмотря на то, что пыльца растений представляет собой довольно стабильную систему с двумя оболочками, защищенную от воздействия окружающей среды, она чувствительна к воздействию УФ радиации и облучение сильно влияет на прорастание пыльцы и рост ПТ *in vivo*, что обуславливает процесс завязывания семян.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания ФГУМ-2022-0003.*

## ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ ТРАНСПОРТЕРОВ АУКСИНА В ВОЛОКНАХ ЛЬНА ПРИ ГРАВИОТВЕТЕ

**Н. Н. Ибрагимова, Н. Е. Мокшина**

КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*nibra@yandex.ru*

Растения находятся под постоянным действием абиотических и биотических факторов, в том числе и неблагоприятных. Взаимодействующие и скоординированные действия переносчиков ауксина (ИУК) в растениях лежат в основе гибкой сети, которая мобилизует ИУК в ответ на многие изменения окружающей среды. Это касается и тропизмов растений, которые зависят от пространственно-временного контроля асимметричного роста органов, что обычно включает дифференциальное изменение размера клеток в разных частях органа. Независимо от задействованных механизмов, активность фитогормона ауксина имеет решающее значение для всех тропизмов, в том числе и гравитропизма. Дифференциальное распределение ауксина с участием белков-переносчиков ауксина при гравитропизме является важной областью как фундаментальных, так и прикладных исследований, связанных с полеганием растений.

Ключевым элементом в функционировании ауксина является его строго регулируемое распределение с помощью специализированной транспортной системы. Переносчики ауксина семейства PIN образуют основную часть этой системы, контролируя направление и количество транспорта во многих клетках. Что касается возможных изменений в экспрессии генов белков PIN, то соответствующие данные в настоящее время ограничены несколькими модельными видами. Кроме семейства PIN (PIN-FORMED) транспорт ауксина осуществляется другими типами белков: AUX/LAX (AUXIN-INSENSITIVE1/LIKE AUX1), ABCB (подсемейство ABC транспортеров), PILS (PIN-LIKES), NRT1.1 (nitrate transporter 1.1) и WAT1 (WALLS ARE THIN1). В данном исследовании в результате сравнительного транскриптомного анализа флоэмных волокон контрольных и гравистимулированных растений льна идентифицированы гены перечисленных выше белков, синтезируемых *de novo*. Для этого мы использовали полученные ранее транскриптомные данные для растений льна, которые размещены в базе данных FIBexDB (<https://ssl.cres-t.org/fibex/flax/>). Эта база данных является уникальной платформой, которая позволяет фокусироваться на любой группе генов интереса и потенциальном участии их продуктов в развитии растений льна, в том числе, и на молекулярно-генетических аспектах биогенеза волокон и развитии их утолщенных клеточных стенок (КС). В базе данных FIBexDB содержатся транскриптомные данные также для волокон, отобранных с противоположных сторон стебля во время развития гравитропической реакции (8, 24, 96 ч). В результате были найдены дифференциально экспрессируемые гены переносчиков ИУК в волокнах на разных стадиях развития и при гравистимуляции. Выявлена общая тенденция: при гравитропическом ответе экспрессия генов переносчиков ИУК в волокнах с утолщенной КС обычно восстанавливается до уровня, характерного фазе интрузивного роста. Такой анализ позволит нам помочь ответить на вопрос, какой тип транспорта ауксина запускается в двигательной реакции флоэмных волокон льна, которые, несмотря на наличие утолщенной КС, активно участвуют в ответе на гравистимуляцию.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00612.*



**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН *FAGOPIRUM ESCULENTUM* ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ МЕСТ ПРОИЗРАСТАНИЯ****В. В. Казанцева<sup>1</sup>, Е. А. Гончарук<sup>1</sup>, А. Н. Фесенко<sup>2</sup>, А. Г. Клыков<sup>3</sup>,  
Н. В. Загоскина<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ИФР РАН, Москва, Россия<sup>2</sup> ФГБНУ ФНЦ ЗБК, Орел, Россия<sup>3</sup> ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», Уссурийск, Россия  
vkazantceva90@gmail.com

Гречиха обыкновенная (*Fagopirum esculentum* Moench.) является одной из важнейших крупяных культур всемирного использования. Ее семена обладают высокой антиоксидантной активностью, благодаря повышенному содержанию фенольных соединений. Известно, что они содержат флавоноиды, в частности флаваны (ФЛ), с выраженной антиоксидантной, противоопухоловой и антибактериальной активностью. Состав и содержание этих веществ зависит от многих факторов, включая специфику растительного метаболизма, действия факторов внешней среды и условий произрастания растения. Создание новых сортов гречихи, оценка их устойчивости и качественных характеристик семян является важным и перспективным направлением как в селекции, так и физиологии растений.

Целью исследования было изучение содержания и компартиментации фенольных соединений в семенах гречихи из разных эколого-географических регионов произрастания.

В работе исследовали семена гречихи, возделываемой на Дальнем Востоке (сорт Изумруд), а также в Центральном регионе (сорт Даша). Семенную кожуру и семя предварительно измельчали в жидком азоте, а затем экстрагировали 96 % этанолом. Гомогенат центрифугировали и в надосадочной фракции определяли содержание ФЛ (ванилиновый реактив).

Изучаемые сорта характеризовались одинаковой массой семян и схожим оттенком семенной кожуры (светло-коричневый цвет), хотя масса последней в расчете на 10 семян была больше у сорта Изумруд (0,077 г) относительно сорта Даша (0,068 г), что определяется соотношением толщины семенной кожуры относительно собственно семени гречихи. Определение содержания ФЛ в кожуре и собственно семени гречихи выявили сортовые различия в их накоплении и компартиментации. В семенной кожуре оно значительно превышало таковое в семени: на 47 % и 67 % у сортов Изумруд и Даша, соответственно. При этом в семени сорта Изумруд количество ФЛ было выше на 43 %, чем у сорта Даша, тогда как в семенной кожуре было примерно на одном уровне и составило в среднем 3,42 мг/г сырой массы.

Все это свидетельствует о сортоспецифичности в отношении морфометрических показателей и содержания ФЛ у исследованных семян гречихи. Согласно нашим данным, сорт Изумруд, возделываемый на Дальнем Востоке, обладал более высоким содержанием ФЛ в семени и более толстой семенной оболочкой, относительно сорта Даша. Возможно, эти различия в морфологии семени гречихи, содержании и компартиментации в нем ФЛ являются следствием различных климатических условий их произрастания.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания (№ гос. регистрации 122042600086-7).*

## ВЛИЯНИЕ МУТАЦИЙ В МЕТАБОЛИЗМЕ ЦИСТЕИНА НА УРОВЕНЬ ГЛУТАТИОНА И ТОЛЕРАНТНОСТЬ *ESCHERICHIA COLI* К ЦИПРОФЛОКСАЦИНУ И ХЛОРАМФЕНИКОЛУ

**Т. В. Калашникова, М. Н. Брысова, Г. В. Смирнова, О. Н. Октябрьский**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

tatyana-kalashnikova22@yandex.ru

Согласно гипотезе Коллинза, в бактерицидном эффекте антибиотиков, включая хинолоны, ингибирующие ДНК-гиразу, участвуют активные формы кислорода. С этой точки зрения, глутатион (GSH), играющий важную роль в антиоксидантном ответе *E. coli*, может влиять на восприимчивость бактерий к фторхинолону ципрофлоксацину (ЦФ). Синтез GSH лимитируется входящим в его состав цистеином. Используя мутанты по синтезу GSH (*gshA*) и цистеина (*cysK*), импорту цистина (*tcyP*), деградации цистеина (*mstA*, *cyuA*) и регулятору цистеинового оперона *CysB* (*cysB*), мы изучили влияние этих мутаций на уровень GSH и толерантность бактерий к ЦФ и хлорамфениколу (ХАМ).

Объектом исследования служили *E. coli* BW25113 (*wt*) и мутанты из коллекции Keio. Бактерии выращивали на шейкере (37°C, 150 об/мин) в среде LB до оптической плотности OD<sub>600</sub> 0,4 и обрабатывали ХАМ (25 мкг/мл) или ЦФ (0,03, 0,3, 3 и 10 мкг/мл). Периодически отбирали пробы для определения GSH по методу Tietze и числа колониеобразующих единиц (КОЕ). Удельную скорость роста вычисляли по формуле:  $\mu = \Delta \ln OD_{600} / \Delta t$ , скорость гибели бактерий – по формуле:  $\psi = \Delta \ln KOE / \Delta t$  ( $t$  – время, ч).

При OD<sub>600</sub> 0,4 скорость роста варьировала от 1,4 до 1,8 ч<sup>-1</sup>, за исключением *cysB*, у которого она составляла  $0,84 \pm 0,2$  час<sup>-1</sup>. ХАМ резко ингибировал рост в течение 15 мин после начала воздействия. Дозы ЦФ 0,03 и 0,3 мкг/мл не вызывали полной остановки роста в течение 2 ч. При добавлении 3 и 10 мкг/мл ЦФ к *wt* штамму  $\mu$  снижалась до отрицательных значений вследствие падения OD<sub>600</sub> через 105 и 75 мин соответственно. Это время совпадало с началом SOS-зависимой «клеточной смерти», характеризующейся остановкой дыхания, потерей мембранного потенциала и выходом АТФ. У мутантов *tcyP*, *cysK* и *cyuA* переход к отрицательным значениям  $\mu$  происходил на 15 мин раньше, а у мутантов *gshA* и *mstA* – на 15 мин позднее, чем у *wt*. В отсутствие антибиотиков у всех штаммов, кроме *cysB*, не было существенной разницы в числе КОЕ. ХАМ и 0,03 мкг/мл ЦФ оказывали бактериостатическое действие. При более высоких дозах ЦФ наблюдался бактерицидный эффект. Удельная скорость гибели была максимальна в течение 30 мин экспозиции к ЦФ, а затем значительно снижалась, что соответствовало плато на кривой гибели бактерий. Мутант *cysB* показал наименьшую начальную  $\psi$ , которая была в 2,2, 3 и 4,2 раза ниже, чем у *wt* при 0,3, 3 и 10 мкг/мл ЦФ соответственно, также низкую  $\psi$  (в 2 раза при 0,3 мкг/мл ЦФ) демонстрировал мутант *gshA*. Однако на более поздних сроках экспозиции к ЦФ  $\psi$  у этих штаммов, а также у мутантов *tcyP* и *mstA* значительно превышала скорость гибели родителя. Исследуемые штаммы содержали разные уровни внутриклеточного глутатиона (мкМ/OD<sub>600</sub>): *wt* –  $9,94 \pm 0,03$ ; *tcyP* –  $8,41 \pm 0,47$ ; *cysB* –  $0,84 \pm 0,03$ ; *mstA* –  $9,69 \pm 0,23$ ; *cysK* –  $6,93 \pm 0,19$ ; *cyuA* –  $8,21 \pm 0,3$ . ХАМ вызывал двукратное повышение GSH у всех штаммов, кроме *tcyP*. При действии ЦФ первоначальное повышение GSH сменялось его выходом из клеток в среду в период перехода к отрицательным значениям  $\mu$ . Не наблюдалось корреляции между содержанием GSH в клетках и скоростью гибели бактерий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00093, <https://rscf.ru/project/22-14-00093/>.

## СИНТЕЗ цАМФ В КЛЕТКАХ *ESCHERICHIA COLI* РЕГУЛИРУЕТСЯ СИГНАЛЬНЫМИ МОЛЕКУЛАМИ (p)ppGpp И ИНДОЛОМ

**Н. М. Кашеварова, Е. А. Хаова, А. Г. Ткаченко**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

*nkashev@mail.ru*

Адаптивный ответ на стрессорное воздействие у бактерий формируется за счет изменения генно-экспрессионного профиля клетки в ответ на изменяющиеся условия среды посредством функционирования регуляторных сетей. Сигналами в них выступают естественные метаболиты клетки, в частности, индол, а также вторичные мессенджеры (p)ppGpp и цАМФ, взаимное влияние которых недостаточно изучено. Ранее нами показано, что образование индола у *E. coli* положительно регулируется (p)ppGpp, сигнальной молекулой стринджен-ответа. В данной работе изучено влияние (p)ppGpp и индола на образование цАМФ в периодической культуре *E. coli* в зависимости от содержания глюкозы в среде.

Объекты исследования – родительский штамм *E. coli* BW25141 ((p)ppGpp<sup>+</sup>) и делеционный мутант BW25141Δ*relA*Δ*spoT* ((p)ppGpp<sup>0</sup>), не способный синтезировать (p)ppGpp. Клетки культивировали при +37 °С с перемешиванием (120 об/мин) на минимальной среде M9 с различным содержанием глюкозы (0,1 % и 0,4 %), в присутствии триптофана (2 мМ) в качестве субстрата для синтеза индола и его отсутствии. Содержание глюкозы измеряли глюкозооксидазным методом, уровень индола – при помощи ВЭЖХ, концентрацию цАМФ – методом ELISA.

Начало возрастания исходно низкого внутриклеточного содержания цАМФ совпадало с исчерпанием глюкозы в среде. Максимальный уровень накопления цАМФ в клетках был пропорционален концентрации исходно добавленной глюкозы. При этом (p)ppGpp<sup>0</sup> мутант демонстрировал снижение максимального уровня цАМФ по сравнению с (p)ppGpp<sup>+</sup> родителем, наиболее выраженное на среде с 0,4 % глюкозы. Таким образом, (p)ppGpp положительно регулирует образование цАМФ. Известно, что промотор триптофаназного оперона, ответственного за биосинтез индола, находится под положительным контролем механизма катаболитной репрессии. Поэтому в клетках (p)ppGpp<sup>+</sup> штамма в условиях низкой скорости спонтанного образования индола на бестриптофановой среде значительно усиливался его синтез в ответ на возрастание уровня цАМФ при исчерпании глюкозы, что не наблюдалось у (p)ppGpp<sup>0</sup> мутанта с пониженным накоплением цАМФ. При добавке триптофана оба штамма демонстрировали высокую продукцию индола, что сопровождалось снижением уровня накопления цАМФ по сравнению с бестриптофановым контролем. Таким образом, (p)ppGpp в периодической культуре *E. coli* при исчерпании глюкозы положительно регулирует накопление цАМФ и индола, который, в свою очередь, снижает образование цАМФ.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Роль алармона (p)ppGpp в регуляции образования индола клетками *Escherichia coli* в зависимости от содержания глюкозы / Н. М. Кашеварова, А. В. Ахова, Е. А. Хаова, А. Г. Ткаченко // Acta Biomedica Scientifica. – 2022. – Vol. 7, N 3. – С. 162–168. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.17

## ВЛИЯНИЕ ЭПИБРАССИНОЛИДА НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ПРОРОСТКАХ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ХИМИЧЕСКОГО СТРЕССА

**К. Р. Кем, Н. А. Ламан**

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси»,  
Минск, Беларусь  
*kem-666@mail.ru*

Флавоноиды представляют собой обширный класс фенольных соединений, характеризующийся участием в окислительно-восстановительных реакциях и процессах нейтрализации активных форм кислорода в растениях. В этой связи, изменение содержания флавоноидов в тканях может являться показателем, характеризующим ответную реакцию организма на стресс.

Цель исследования – определить содержание флавоноидов в корнях и надземной части проростков льна-долгунца (сорт Грант) и ярового ячменя (сорт Радзимич), семена которых были инкрустированы смесью глифосата (ГФ) в ингибирующей рост дозе и эпибрасинолида (ЭБЛ) в различных концентрациях.

Исследования зависимости действия смесей ГФ в ингибирующей рост корней проростков дозе и ЭБЛ в широком диапазоне концентраций, позволили выявить на графике зависимости «доза-эффект» диапазон, в котором наблюдается их взаимодействие. Для эксперимента были взяты три концентрации ЭБЛ: до интервала взаимодействия ГФ и ЭБЛ, внутри и после интервала. Они составляли соответственно 1)  $2,0 \cdot 10^{-8} \text{M}$ , 2)  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{M}$ , 3)  $1,0 \cdot 10^{-6} \text{M}$ .

Контроль-1 – вариант с обработкой семян 1%-ным раствором пленкообразователя Гисинар; контроль-2 – глифосат в концентрации  $5,5 \cdot 10^{-2} \text{M}$ , подавляющей рост корней на 40–60 %. Проращивание проводили методом рулонной культуры. Содержание флавоноидов определяли на 9-е сутки с использованием хлорида алюминия.

В корнях проростков в контроле-1 содержание флавоноидов составило 1,87 % у льна-долгунца и 0,66 % у ячменя; в контроле-2 – 0,91 % у льна и 0,27 % у ячменя, т. е. ГФ, как и следовало ожидать, снижал содержание флавоноидов в 2,0–2,4 раза. В вариантах смесей самое высокое содержание флавоноидов в корнях (относительно контроля-2) выявлено при концентрации ЭБЛ  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{M}$  (1,40 % у льна и 0,50 % у ячменя). Данный вариант у обеих культур достоверно превосходил контроль-2.

Наибольшее содержание флавоноидов в надземной части проростков льна-долгунца также характерно для варианта с концентрацией ЭБЛ  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{M}$ , а в эксперименте с ячменем –  $2,0 \cdot 10^{-8} \text{M}$ . Предполагается, что более высокую антистрессовую активность ЭБЛ проявляет в концентрациях, близких к  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{M}$ .

## СУБСТРАТНАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ РАЦЕМАЗЫ ИЗ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ *TRITICUM AESTIVUM* L.

**Т. В. Копытина**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*kopytina@sifibr.irk.ru*

Изучение метаболизма аминокислот, особенно их D-изомеров, и биохимических свойств ферментов, катализирующих эти процессы, в растениях является актуальным направлением физиологии и биохимии растений. В последнее время появилось много научных данных о том, что в растениях разных видов функционирует рацемеза, проявляющие специфичность к разным аминокислотам, роль которых все еще обсуждается (K. Ono et al., 2006, L. Zou et al., 2016, K. Uda et al., 2020). В связи с этим возник интерес изучить субстратную специфичность рацемеза из пшеницы к ряду аминокислот. Ранее этот фермент изучался на ранних этапах прорастания в свете метаболизма триптофана в качестве предшественника ИУК. Так было показано, что в 3–5-дневных проростках пшеницы *Triticum aestivum* L. активируется рацемеза, которая обеспечивает поступление триптофана для биосинтеза ИУК и белкового синтеза в необходимой стереоконфигурации. В качестве субстрата использовали L и D изомеры триптофана. Направление рацемизации зависело от осмотической концентрации к среде – при повышенной концентрации активность рацемеза увеличивалась в L->D направлении, а при нормальных условиях в D->L направлении, что указывало на роль этого фермента при осмотическом стрессе. При изучении кинетических параметров было установлено, что рацемеза обладает большим сродством с L-изомеру, о чем свидетельствовали значения константы Михаэлиса ( $K_m$ ), которые составили для L-триптофана  $0,2 \pm 0,1$  мМ, а для D-триптофана  $1,8 \pm 1,3$  мМ.

Целью данного исследования было изучение активности рацемеза из пшеницы относительно 17 аминокислот. В качестве субстрата использовали D-изомеры аминокислот. Ферментный препарат рацемеза получали из 3-суточных проростков пшеницы и подвергали ионно-обменной хроматографии. В результате исследования установлено, что рацемеза проявляет активность ко всем использованным в качестве субстрата аминокислотам с небольшой разницей в показателях. Если расположить по убыванию значения активности, то это ряд приобретает следующий вид: Ала, Фен, Про, Мет, Тре, Вал, Три, Асп, Сер, Арг, Лей, Цис, Глу, Гис, Тир, Изо-лей.

Таким образом, можно сделать предположение о том, что рацемеза из пшеницы обладает широкой субстратной специфичностью. Наибольшая активность была выявлена на Ала, что дает основание предполагать эволюционную связь рацемеза растений с известной аланинрацемезазой бактерий. Однако, полную картину о возможной связи этих ферментов позволит установить анализ активности рацемеза в других видах растений, а также анализ кодирующих генов.

## РОЛЬ РЕЦЕПТОРА ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ОТВЕТЕ *ARABIDOPSIS* НА КОМБИНАЦИЮ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОРОВ

**М. Ю. Король**<sup>1</sup>, **Д. Д. Бабина**<sup>1</sup>, **Я. А. Блинова**<sup>1</sup>, **А. А. Празян**<sup>1</sup>, **А. С. Ханова**<sup>1</sup>,  
**П. Ю. Волкова**<sup>2</sup>, **Е. В. Бондаренко**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

<sup>2</sup> Независимый исследователь, Гел, Бельгия

*podobedmyu@gmail.com*

Индукция активных форм кислорода (АФК) является частью неспецифического ответа на стресс. Самой долгоживущей АФК является пероксид водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). В последние годы также большое внимание уделяется роли H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в межклеточной передаче сигналов. Одним из шагов в понимании роли пероксида водорода в ответе на стресс было открытие гена *HPCA1* (локус *AT5G49760*). Белок, который кодирует этот ген, необходим для притока внутриклеточного кальция в ответ на внеклеточную H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, так как опосредует индуцированную пероксидом водорода активацию кальциевых каналов в замыкающих клетках и необходим для закрытия устьиц.

В качестве объекта исследования использовали семена арабидопсиса (*A. thaliana*) дикой (Col-8) и мутантной (*hpcal1* с вставкой Т-ДНК в 1-ом экзоне гена *HPCA1*) линий. Растения выращивались на твердой питательной среде Мурасиге-Скуга половинной концентрации с добавлением 0,3 % сахарозы. Семена подвергали воздействию  $\gamma$ -излучения ( $\gamma$ ), повышенной температуры (Т) и дефициту воды (ПЭГ) по отдельности и в сочетаниях по два фактора. Семена облучали на УНУ ГУР-120 (<sup>60</sup>Co) в ФГБНУ ВНИИРАЭ в дозе 25 Гр при мощности дозы 60 Гр/ч. Воздействие температуры моделировали нагревом семян в термостате (BINDER BD 115) при 50°C в течение 2 ч. Для создания дефицита воды на среде использовали полиэтиленгликоль (ПЭГ) (среднее значение молекулярной массы 5000–7000 г/моль, PanReac Applichem) в конечной концентрации 1 %, который добавляли на застывшую среду в пропорции 1:1, удаляя остатки жидкости спустя 24 ч. Семена выращивали на квадратных чашках Петри в вертикальном положении с затемнением корней при температуре +21 °С, влажности 55 % и плотности фотосинтетического фотонного потока 80 мкмоль·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>.

Для мутантов воздействие всех изучаемых факторов ( $\gamma$ , Т и ПЭГ) по отдельности статистически значимо уменьшало среднюю массу проростков, а сочетание  $\gamma$ +ПЭГ увеличивало этот показатель. Также действие  $\gamma$ -излучения и температуры по отдельности ингибировали показатели площади поверхности листьев и длины основного корня. Сочетание  $\gamma$ +Т показало статистически значимую стимуляцию длины корня на 5 и 7-е сут. Для дикого типа при сочетаниях выбранных факторов не было выявлено статистически значимой стимуляции ни по одному из изучаемых параметров. Сочетание Т+ПЭГ статистически значимо уменьшало среднюю массу проростков Col-8. При этом действие отдельно повышенной температуры статистически значимо увеличивало площадь поверхности листьев Col-8 на 5-е сут., а на 7-е сут. этот показатель уже не отличался от контрольных растений.

Таким образом, предварительная обработка семян  $\gamma$ -излучением в случае с мутантным генотипом ослабляла действие следующего абиотического фактора для некоторых показателей. Такая реакция может быть связана с повышением активности антиоксидантных ферментов, накоплением осмопротекторов (сахара, пролин), что способствует стабилизации белков. Одним из потенциальных белков, замещающих работу *HPCA1*, является белок плазматической мембраны, HSL3 который может взаимодействовать с H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и регулировать закрытие устьиц в условиях засухи.

**РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕНОВ *MLO*, *Lpx1*, *Cer9*, *CKX1* И *Rht-1* МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ CRISPR/CAS****Б. Р. Кулчев, Е. В. Михайлова, А. А. Галимова, Х. Г. Мусни, Э. А. Баймухаметова, А. Р. Кулчев, Е. А. Заикина, З. А. Ибрагимова**

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

kuluev@bk.ru

Многообразие экологических условий возделывания зерновых культур и в частности мягкой пшеницы, непредсказуемость аномальных погодных явлений, давление со стороны биотических стрессоров, антропогенных факторов и пестицидной нагрузки требует богатого разнообразия генофонда возделываемых в производстве сортов, в связи с чем приобретает актуальность ускорение темпов селекции, в том числе с использованием методов генетического редактирования CRISPR/Cas. Болезнь мучнистая роса, вызываемая *Blumeria graminis*, приводит к значительным потерям урожая пшеницы, а нокаут гена *TaMLO* может способствовать развитию устойчивости к этой болезни. Ген липоксигеназы *TaLpx1* привлекает внимание исследователей как потенциальный объект для редактирования генов в отношении устойчивости к фузариозу. В последние десятилетия одним из важнейших угроз для сохранения и увеличения урожая культурных растений становится глобальное потепление, которое приводит ко все более жарким и сухим условиям во многих частях мира. При увеличении давления абиотических стресс-факторов растения слишком рано прекращают свою вегетацию, включают программу созревания и старения. Это в свою очередь приводит к резкому снижению урожайности культурных растений. Мутация гена *Cer9*, кодирующего убиквитин-лигазу E3, вызывает повышенное количество мономеров кутина с длиной 18 атомов углерода и свободных жирных кислот с очень длинной цепью в кутикулярном воске, что может способствовать повышению толщины кутикулярной мембраны и засухоустойчивости. Широко известно, что перед переходом к стадии старения в растениях включаются ферменты-деструкторы цитокининов – цитокининоксидазы. Можно полагать, что при блокировании экспрессии ферментов цитокининоксидаз (CKX), концентрация цитокининов будет сохраняться на более высоком уровне и растения не будут слишком рано переходить на стадию старения. Еще одним направлением генной инженерии пшеницы может быть создание короткостебельных высокоурожайных форм путем внесения мутаций в ген *Rht1*, кодирующий ген DELLA. Исходя из вышесказанного целью нашего исследования является редактирование генов *MLO*, *Lpx1*, *Cer9*, *TaCKX1*, *Rht1* мягкой пшеницы. Для каждого целевого гена при помощи программы Cysurog были подобраны и синтезированы по 3–5 вариантов гидовых РНК, для клонирования которых использовали бинарные векторы pDirect25H, pDirect26H и другие, содержащие в составе T-ДНК ген *Cas9*, находящегося под контролем промотора однодольных PvUbi, ген устойчивости к гигромицину, а также скаффолд для клонирования полицистронных гидовых РНК с *csy4* спейсерами. Успешность клонирования проверяли методом ПЦР-анализа и секвенирования. Целевые генно-инженерные конструкции методом электропорации были внедрены в клетки *Agrobacterium tumefaciens* штаммов AGL0 и EHA. Для агробактериальной трансформации использовали сорта яровой мягкой пшеницы Омского АНЦ «Сигма» и Краснодарского НЦЗ «Тая» и «Фишт». В качестве эксплантов чаще всего использовали незрелые зародыши. По всем целевым генам проведена агробактериальная трансформация, ведутся работы по регенерации, акклиматизации и получению семенного потомства у отредактированных растений.

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К $\alpha$ АМФ И $\text{Ca}^{2+}$ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СОД ИЗ КОРНЕЙ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА

**Л. А. Ломоватская, О. В. Захарова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*LidaL@sifibr.irk.ru*

Супероксиддисмутаза (СОД) (КФ 1.15.1.1) является первой линией защиты от окислительного стресса в живых клетках, катализируя дисмутацию супероксидного радикала до молекулярного кислорода и перекиси водорода. У растений этот фермент представлен Cu-, Zn-, Fe- и Mn-содержащими формами. Известно, что вторичные мессенджеры сигнальных систем способны эффективно модулировать активность многих ферментов. В отношении СОД отсутствуют сведения о роли ионов кальция и  $\alpha$ АМФ в модуляции активности отдельных ее форм у растений. Для выявления активности отдельных форм СОД в корнях проростков гороха применяли специфические ингибиторы: 3 мМ KCN, ингибитор Cu-Zn-СОД, снижал общую активность СОД на 30 %, тогда как 3 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$  – ингибитор Cu-Zn-СОД и Fe-СОД, снижал активность на 51 %. Инкубация проростков гороха в 10 нМ п-дibuтирил- $\alpha$ АМФ повышала общую активность СОД до 230 %, а Mn-СОД, в частности до 180 %. На фоне инкубации проростков с сурмином (ингибитором аденилатциклазы, основного источника  $\alpha$ АМФ) общая активность снижалась до 40 %, тогда как в вариантах с применением ингибиторов до 50–60 %. Инкубация проростков в растворе с 400 мкМ  $\text{LaCl}_3$  приводила к снижению общей активности СОД до 73 %, с применением 3 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$  до 67 %, а при воздействии 3 мМ KCN до 56 %. Добавление к гомогенату корней хелатора ионов кальция, ЭДТА, способствовало практически одинаковому (64–68 %) снижению активности всех форм СОД. Влияние кальция на активность СОД исследовали в гомогенате корней. Добавление 500 нМ  $\text{CaCl}_2$  незначительно повышало общую активность СОД, то же самое наблюдалось и на фоне  $\text{H}_2\text{O}_2$ , тогда как внесение KCN снижало активность СОД примерно на 20 %. При добавлении 500 мкМ  $\text{CaCl}_2$  общая активность не менялась, в варианте с KCN снижалась на 30 %, а с  $\text{H}_2\text{O}_2$  оставалась неизменной. Известно, что внутриклеточный уровень  $\alpha$ АМФ может влиять на активности нуклеотид-зависимых кальциевых ионных каналов, кратковременно повышая его эндогенную концентрацию. При этом резкое изменение уровня эндогенного  $\alpha$ АМФ может происходить под влиянием внешних стрессоров. Таким образом,  $\alpha$ АМФ напрямую не оказывает влияние на СОД, но участвует опосредованно, модулируя уровень эндогенного  $\text{Ca}^{2+}$ , который уже непосредственно может взаимодействовать с активным центром соответствующих ферментов. При этом степень активации каждой из форм СОД может быть различна, что весьма важно, поскольку, каждая из форм СОД локализована в различных внутриклеточных компартаментах и участвует в настройке/перестройке внутриклеточной сигнализации в норме и при воздействии стрессоров различной природы.



## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ НЕЭНЗИМАТИЧЕСКИХ АНТИОКСИДАНТОВ У ЧИНЫ ВЕСЕННЕЙ ПРИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ

**М. Г. Малева, Г. Г. Борисова, О. С. Синенко, А. В. Собенин**

ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
maria.maleva@mail.ru

Накопление биологически активных веществ различного физиологического и фармакологического действия у растительных организмов часто коррелирует с концентрацией определенных химических элементов. В то же время избыточное содержание тяжелых металлов (ТМ) в почве может негативно отражаться на продуктивности растений. Известно, что многие представители рода *Lathyrus* используются в народной медицине как противовоспалительные, ранозаживляющие, диуретические, гемостатические и седативные средства. Однако их биохимический состав слабо изучен. Целью работы была оценка влияния полиметаллического загрязнения на фотосинтетическую активность (скорость поглощения CO<sub>2</sub> и содержание фотосинтетических пигментов), а также содержание неэнзиматических антиоксидантов (аскорбата, пролина, фенольных соединений, небелковых и белковых тиолов) в листьях чины весенней (*Lathyrus vernus* L.). Сбор растительного и почвенного материала проводили на двух участках, расположенных на территории Свердловской области: фоновом (ненарушенный лесной фитоценоз) и импактном (техногенно-нарушенная территория вблизи Сафьяновского медно-цинково-колчеданного рудника, г. Реж). Анализ почвы показал, что преобладающими на импактном участке были Ni, Cr, Cu, Pb и Mn, доступное содержание которых превышало фоновые значения в 18, 10, 9, 3 и 2 раза, соответственно. При этом на обоих участках содержание ТМ превышало ПДК<sub>дост.</sub>, что, вероятно, связано с геохимическими особенностями региона. Индекс токсической нагрузки на импактном участке был равен 8,5, что свидетельствует об умеренном уровне загрязнения. Скорость ассимиляции CO<sub>2</sub> у импактных растений снижалась в 1,5 раза по сравнению с фоновыми. Известно, что эффективность фотосинтеза зависит от содержания фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофиллов *a* и *b* в листьях чины на импактном участке уменьшалось на 21 и 12 %, т. е. хлорофилл *b* оказался более устойчивым к полиметаллическому стрессу. Каротиноиды, помимо светособирающей и фотопротекторной функций, выполняют роль антиоксидантов, и их существенное снижение (на 31 %) на импактном участке, наряду с увеличением содержания малонового диальдегида и пероксида водорода (на 43 и 20 % соответственно) в листьях чины свидетельствует о развитии окислительного стресса. Важную роль в защите от окислительных повреждений играют различные компоненты антиоксидантной системы, включая неэнзиматические антиоксиданты. Было обнаружено значительное (в 6,6 раз) увеличение содержания свободного пролина у импактных растений по сравнению с фоновыми. Общее содержание фенольных соединений и аскорбата также возрастало в 1,4 раза. Содержание небелковых растворимых тиолов увеличивалось на 28 %, в то время как количество белковых практически не изменялось. Таким образом, умеренное полиметаллическое загрязнение приводило к снижению фотосинтетической активности чины, однако стимулировало накопление в листьях неэнзиматических антиоксидантов.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания FEUZ-2023-0023.*

## АНАЛИЗ РОСТРЕГУЛИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА ОБРАБОТКИ СЕМЯН ДВУХ СОРТОВ ФАСОЛИ РАЗНЫМИ ДОЗАМИ ГЕТЕРОАУКСИНА

**В. Д. Матюнина, А. В. Чистоедова, О. В. Маркова, С. Р. Гарипова**

УУНиТ, Уфа, Россия

viktoria030700@mail.ru

Известно, что фитогормоны, в частности ауксины, являются посредниками растительно-микробной коммуникации. Поскольку разные бактерии отличаются по уровню продукции ауксинов, а растения разных видов и сортов не одинаково восприимчивы к определенным концентрациям ауксинов, существует проблема выявления их оптимальных концентраций. Цель исследования – проанализировать рострегулирующий эффект при обработке семян двух сортов фасоли экзогенным ауксином. Объектом исследования служили семена фасоли сортов Уфимская и Эльза. Семена стерилизовали дезинфицирующим средством «Бриллиант» в течении 10 мин. Гетероауксин разводили методом десятикратных разведений от 200 мкг/мл до 0,02 нг/мл. По 20 семян фасоли каждого варианта опыта замачивали в 4 мл раствора гетероауксина в чашках Петри течение 3 ч, затем раскладывали на увлажненные фильтры в пластиковые контейнеры (размером 15×20×15 см) с крышками. Контролем служили семена, замоченные в воде. Семена проращивали в темноте. Ростовые параметры оценивали на 7-е сут. Статистические сравнения средних арифметических проводили на основе их стандартных ошибок при  $p < 0,05$ .

Установлено, что для сорта Уфимская максимальный стимулирующий эффект оказала концентрация 2 нг/мл гетероауксина: длина корня и побега по сравнению с контролем была больше на 33 и 25 % соответственно. Обработка семян сорта Эльза гетероауксином в той же концентрации стимулировала только рост корней на 12 %. Наиболее ингибирующий эффект для роста осевых органов обоих сортов оказала концентрация 200 мкг/мл. Длина корня и побегов у проростков сорта Уфимская была меньше контроля на 68 и 31 % соответственно, а у сорта Эльза – на 18 и 58 %. Концентрация 0,2 нг/мл не вызывала изменений в длине осевых органов проростков относительно контроля для сорта Уфимская, но оказывала ингибирующий эффект у проростков сорта Эльза: длина побега была на 24 %, длина корня на 45 % меньше, чем в контроле. Обработка семян экзогенным ауксином в концентрации 2 нг/мл способствовала увеличению на 36 % (сорт Уфимская) и 15 % (сорт Эльза) суммарной длины боковых и придаточных корней при сохранении их количества на уровне контроля. Концентрация 200 мкг/мл ауксина ингибировала рост боковых и придаточных корней обоих сортов: у растений сорта Эльза количество придаточных корней было на 36 % меньше, чем в контроле, а их длина на 61 % меньше, у растений сорта Уфимская количество придаточных корней было меньше на 15 %, а их длина – на 36 %. Важно отметить, что при изменении концентрации экзогенного ауксина на порядок наблюдался резкий переход от стимулирующего действия к ингибирующему: увеличение концентрации с 2 нм/мл до 20 нм/мл для обоих сортов, и уменьшение с 2 нм/мл до 0,2 нм/мл для сорта Эльза.

Выявленный очень узкий порог стимулирующей концентрации экзогенного гормона может являться причиной отсутствия положительного влияния от инокуляции ИУК-продуцирующими бактериями, которое наблюдается при взаимодействии с разными видами и сортами растений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00602, <https://rscf.ru/project/23-24-00602/>.*

## ИЗМЕНЕНИЕ ЛИПИДНОГО СОСТАВА РАФТОВЫХ СТРУКТУР ТОНОПЛАСТА ПРИ ОСМОТИЧЕСКИХ СТРЕССАХ

**Н. В. Озолина, И. С. Капустина, В. В. Гурина, Е. В. Спиридонова, В. Н. Нурминский**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*ozol@sifibr.irk.ru*

В настоящее время известно, что биологические мембраны неоднородны и имеют доменную организацию. Наиболее изучены липид-белковые микродомены, называемые рафтами. Эти мембранные структуры играют важную роль во многих жизненно необходимых для растительной клетки процессах, таких как экзо- и эндоцитоз, деление, поляризация, внутриклеточная передача сигналов, образование мембранных контактов, связь с цитоскелетом и др. Целью нашего исследования было оценить роль рафтовых структур в защите растительной клетки от осмотических стрессов. Защита сельскохозяйственных растений от стрессовых воздействий является актуальной задачей физиологии растений. Мембранные липиды могут принимать участие в защите клетки от стресса и важную роль в этих процессах играют такие липиды как стерины, которые являются основными компонентами рафтовых структур.

Тонoplast выделяли по методу, разработанному в нашей лаборатории. Чистоту выделенной фракции оценивали по активности мембраносвязанных ферментов. Выделение из тонoplastа рафтовых структур проводили бездетергентным методом в градиенте сахарозы после высокоскоростного центрифугирования. Липиды из липид-белковых микродоменов извлекали по методу Фолча. Изучение состава общих липидов проводили методом ТСХ, состав стеринов и жирных кислот – методом ГХ-МС. Интенсивность воздействия осмотических стрессов на корнеплоды, из которых выделялся тонoplast, оценивали по изменению осмотики вакуолярного сока, изменению веса корнеплодов, проводимости мембран (кондуктометрический метод) и по содержанию диеновых конъюгатов (спектрофотометрический метод).

Результаты проведенных исследований показали изменения в составе большинства липидов рафтовых структур, которые были связаны с увеличением содержания мембранных фосфолипидов и гликоглицеролипидов, способствующих стабилизации бислойной структуры тонoplastа. Кроме того, при гиперосмотическом стрессе было отмечено увеличение содержания сфинголипидов, стеринов и суммы насыщенных жирных кислот липидов тонoplastа. Эти соединения являются основными рафтообразующими липидами, что позволяет говорить об увеличении количества рафтовых структур в тонoplastе и может быть напрямую связано с усилением такого защитного механизма как аутофагия, поскольку рафтовые структуры – это основа мембранных контактов. Увеличение стеринов произошло и при гипоосмотическом стрессе, но особенностью реакции рафтовых микродоменов на это воздействие было перераспределение основных классов липидов, в результате которого большая часть из них оказалась представлена углеводородами, чья роль в адапционных механизмах при гипоосмотическом стрессе не вызывает сомнений.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания (№ гос. регистрации 122041100052-0) и гранта РФФИ № 19-04-0013, на оборудовании ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН (Иркутск).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Role of tonoplast microdomains in plant cell protection against osmotic stress / N. V. Ozolina, I. S. Kapustina, V. V. Gurina, V. N. Nurminsky // *Planta.* – 2022. – Vol. 255, N 3. – Art. 65. doi: 10.1007/s00425-021-03800-3

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ СЕМЯН БИОФИЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА АДАПТАЦИЮ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К АБИОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ

**Л. В. Осипова, Т. Л. Курносова, И. А. Быковская, Е. А. Федорова**

ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, Россия

legos4@yandex.ru

Поиск веществ, способных снижать негативное воздействие различных абиотических стрессов, направлен на повышение устойчивости зерновых культур и продовольственную безопасность. Исследованиями последних десятилетий установлены физиолого-биохимические ответы растений на неблагоприятные воздействия – это увеличение окислительных процессов из-за накопления активных форм кислорода (АФК) и активация работы антиоксидантной системы, противодействующей развитию окислительного стресса, повреждению клеточных структур и снижению продуктивности.

Для повышения эффективности эндогенных антиоксидантов применяли различные концентрации комплекса наночастиц (Zn, Cu, Si). Семена ярового ячменя (*Hordeum vulgare*) сорта Знатный обрабатывали растворами препарата за сутки до посева. В лабораторных экспериментах растения выращивали в рулонной культуре первые двое суток на воде и 5 сут. на растворах сахарозы 3,8 атм., моделируя осмотический стресс, контрольные варианты в течение всего опыта проращивали на воде. Затем растения переносили на световую площадку, определяли интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) по содержанию малонового диальдегида (МДА), конечного продукта ПОЛ и содержание фотосинтетических пигментов спектрометрическим методом. В вегетационном опыте растения, семена которых были обработаны препаратом, выращивали до цветения в почвенной культуре. Почвенную засуху создавали путем прекращения полива при появлении 6 листа. При наступлении влажности устойчивого завядания растений полив возобновляли и с поливными водами вносили высокообогащенный  $\text{Ca}^{15}\text{NO}_3)_2$ . Размеры поступления меченого азота в репарационный период определяли на изотопном масс-спектрометре.

Полученные результаты исследований показали, что изученные концентрации препарата в разной степени влияли на ростовые функции, окислительный статус проростков, их устойчивость к осмотическому стрессу. Наиболее выраженное защитное действие проявилось при концентрации  $2 \times 10^{-5}$ .

В почвенной культуре растения, выращенные из обработанных семян на первых этапах развития, отличались от контрольных по содержанию МДА и активности синтеза каротиноидов, затем эти различия нивелировались и проявлялись после окончания засухи. Опытные растения характеризовались повышенной поглотительной активностью корневой системы и меньшей редукцией, заложившихся продуктивных элементов. Установлено, что предпосевная обработка семян комплексом наночастиц меняет физиолого-биохимический статус растений, который на первых этапах органогенеза определяется изученными показателями, дальнейшая преадаптация обусловлена, вероятно, иными параметрами. Защитная роль препарата подтверждается большей устойчивостью репродуктивной сферы и корневой системы в репарационный период.

## УПРАВЛЕНИЕ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ПШЕНИЦЫ И ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ С ПОМОЩЬЮ БИОПРЕПАРАТОВ

Н. Е. Павловская<sup>1</sup>, А. А. Горьков<sup>1</sup>, А. В. Андросова<sup>2</sup>, И. В. Горькова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орел, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ ВНИИСПК, п/о Жилина, Орловская обл., Россия

annetka\_01@mail.ru

Высокая морозоустойчивость озимых культур, многолетних травянистых и плодовых растений связана с их способностью перезимовывать и сохранять высокую продуктивность, что имеет особое значение для российского сельского хозяйства, расположенного в зоне рискованного земледелия. На степень морозоустойчивости растений большое влияние оказывают сахара, регуляторы роста, пролин и другие вещества. В последние годы большое внимание стали уделять использованию в сельском хозяйстве биологически активных веществ в низких концентрациях, повышающих иммунные и адаптационные возможности растений. В данном сообщении рассматриваются результаты исследований влияния биостимулятора роста «Нигор», созданного на основе биофлавоноидов гречихи с добавлением салициловой кислоты и ионов магния, а также с добавлением микроэлементов Zn и Co, на рост, развитие, урожайные данные и качество зерна 3 сортов пшеницы. В листьях растений определяли содержание растворимых углеводов и аминокислоты пролина. На землянике на трех сортах изучали действие препаратов: «Завязь», «Белый жемчуг Универсальный Антифриз» и «Нигор» на устойчивость растений к действию отрицательных температур весеннего периода в условиях открытого грунта на опытном участке ФГБНУ ВНИИСПК. Установлено, что воздействие биологическими препаратами отдельно и особенно с добавлением микроэлементов Zn и Co приводило к увеличению энергии прорастания, всхожести, ростовых показателей всех сортов озимой пшеницы. При применении биопрепаратов остаточное содержание сахаров повышалось на 19 % в сравнении с контролем. Установлено, что обработка семян и посевов биопрепаратами положительно влияла на накопление пролина и выживаемость в зимних условиях. У земляники садовой в результате искусственного промораживания генеративных органов обработка препаратами «Белый жемчуг Универсальный Антифриз» и «Нигор» оказала положительное влияние на устойчивость растений к весенним заморозкам. Положительное действие препаратов коррелирует с накоплением сахаров и пролина.

*Исследование по пшенице выполнено за счет гранта РФФИ № 19-316-90021.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

1. Pavlovskay N. E. Effect of new biologics on winter wheat structure and technological properties / N. E. Pavlovskay, A. A. Gorkov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. – Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012022. doi 10.1088/1755-1315/422/1/012022

2. Андросова А. В. Влияние обработки препаратами Антифриз и Нигор на устойчивость земляники садовой к весенним заморозкам / А. В. Андросова, Н. Е. Павловская З. Е. Ожерельева // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 6 (99). – С. 33–40. doi 10.17238/issn2587-666X.2022.6.3

**ИНТРОГРЕССИЯ *TRITICUM TIMOPHEEVII* В ХРОМОСОМЕ 2В ГЕКСАПЛОИДНОЙ ПШЕНИЦЫ КАК ПРИМЕР ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИИ АДАПТИВНОЙ ИНТРОГРЕССИИ В СЕЛЕКЦИИ**

**М. Д. Пермякова<sup>1</sup>, А. В. Пермяков<sup>1</sup>, С. В. Осипова<sup>1,3</sup>, Д. К. Константинов<sup>2</sup>, Л. В. Щукина<sup>2</sup>, Е. Г. Рудиковская<sup>1</sup>, А. В. Поморцев<sup>1</sup>, Т. А. Пшеничникова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ «ИЦиГ СО РАН», Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

*marpert@rambler.ru*

Недостаточная внутривидовая изменчивость пшеницы по генам устойчивости и адаптации является главным фактором, влияющим на снижение урожайности в изменяющихся условиях окружающей среды. Создание интрогрессий посредством гомеологической рекомбинации – один из наиболее эффективных способов введения в пшеницу ценных адаптивных генетических вариаций от диких родственников, расширяющих ее экологическую пластичность. Включение чужеродного генетического материала, приводящее к увеличению пригодности пула реципиентов, называют «адаптивной интрогрессией».

*Triticum timopheevii*, относящийся к тетраплоидному генофонду GGA<sup>1</sup>A<sup>1</sup>, известен как уникальный высоко иммунный вид. Хромосома 2G несет комплекс эффективных генов устойчивости к патогенным грибам. В нашей работе представлены данные о влиянии интрогрессии фрагментов хромосомы 2G *T. timopheevii* в геноме пшеницы на ее устойчивость к водному дефициту.

В работе использовали три рекомбинантные линии на генетическом фоне гексаплоидной пшеницы сорта Саратовская 29, обладающего высокой урожайностью и устойчивостью к водному дефициту, но низкой устойчивостью к грибным болезням. Линии, несущие в хромосоме 2В различные фрагменты хромосомы 2G *T. timopheevii*, маркированные микросателлитными маркерами, были изучены флуориметрическими и спектрометрическими методами по показателям фотосинтеза и антиоксидантной защиты в условиях смоделированной почвенной засухи. Линии также были изучены по параметрам фенологии и зерновой продуктивности.

Интрогрессия *T. timopheevii* не вызывала отрицательного влияния на накопление биомассы и процесс фотосинтеза. В отличие от сорта-реципиента у рекомбинантных линий под влиянием водного дефицита активировался липоксигеназный сигнальный путь, что, вероятно, связано с общим для всех линий хромосомным регионом, обозначенным маркером *Xgwm047*, несущим один структурный и несколько регуляторных генов этого фермента.

Заметное положительное влияние интрогрессии на продуктивность зерна у линии Саратовская29(8212В-6) в условиях засухи за счет увеличения фертильности, связано с относительно небольшим регионом (около 70 млн п.н.), фланкированным маркерами *Xgwm120* и *Xgwm047*. В этом регионе также локализованы известные гены устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr9* и мучнистой росе *Pmb*. Данный регион гомеоаллелен выявленным нами ранее регионам на хромосомах 2А и 2В и содержит регуляторную генную сеть для перестройки метаболизма растений пшеницы в неблагоприятных условиях.

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 18-04-00481.*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДОНОРА ОКСИДА АЗОТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНЫХ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ К УСЛОВИЯМ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ

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

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

[plotnikow87@mail.ru](mailto:plotnikow87@mail.ru)

В последние годы наблюдается рост числа возникновения засух, оказывающих негативное влияние на рост, развитие и урожайность растений, среди которых важнейшей культурой является пшеница. Поэтому поиск эффективных и экологически безопасных стратегий повышения ее засухоустойчивости и продуктивности является приоритетной задачей современной фитобиологии. В этой связи интерес представляет исследование молекулярных механизмов действия оксида азота (NO), поскольку он является универсальной сигнальной молекулой, участвующей в регуляции нормального развития растений и формирования их стрессоустойчивости.

В работе проводилось исследование влияния донора NO нитропруссид натрия (SNP – sodium nitroprusside) на ростовые параметры двух сортов пшеницы *Triticum aestivum* L., различающихся по засухоустойчивости: Экада-70 (Э-70 – устойчивый сорт), Салават Юлаев (СЮ – чувствительный сорт) при воздействии обезвоживания, моделируемого с использованием ПЭГ (12 %). Присутствие 200 мкМ SNP в среде прорастания способствовало сопоставимой у обоих сортов стимуляции всхожести семян, которая повышалась приблизительно на 15 %. Кроме того, NO-обработанные проростки исследованных сортов характеризовались увеличением линейных размеров корней и побегов, а также значений их сырой и сухой массы. Судя по этим параметрам, рост стимулирующее действие SNP сильнее проявлялось в проростках Э-70. Важный вклад в проявление роста стимулирующего действия SNP может вносить активация деления клеток апикальной меристемы корней, о чем можно было судить по митотическому индексу (МИ) корней, поскольку NO-обработка вызвала увеличение этого показателя у проростков Э-70 на 33 % и на 29 % у проростков СЮ. Основываясь на сведениях о способности NO индуцировать устойчивость растений к абиотическим стрессам, интересно было выяснить, оказывает ли присутствие SNP в среде прорастания семян защитный эффект на растения пшеницы к последующему воздействию обезвоживания. С этой целью 3-суточные проростки, выращенные в присутствии 200 мкМ SNP, подвергали 24-часовому воздействию 12%-ного ПЭГ. Стрессовая обработка оказала негативное действие на рост пшеницы, особенно сорта СЮ, что отразилось в существенном снижении сырой и сухой массы проростков, тогда как проращивание семян в присутствии SNP полностью предотвратило вызываемое обезвоживанием падение этих показателей у обоих сортов. Таким образом, нами получены данные, указывающие на эффективность SNP-предобработки семян в последующей стимуляции роста и защите растений пшеницы двух разных по устойчивости к засухе сортов в норме и при воздействии обезвоживания.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00196, <https://rscf.ru/project/22-24-00196/>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Аллагулова Ч. Р. Участие оксида азота в регуляции развития растений и их устойчивости к дефициту влаги / Ч. Р. Аллагулова, Р. А. Юлдашев, А. М. Авальбаев // Физиология растений. – 2023. – Т. 70, № 2. – С. 115–132. doi 10.31857/S0015330322600437

## ВЛИЯНИЕ ТЕБУКОНАЗОЛА И АЗОКСИСТРОБИНА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ К ВОДНОМУ ДЕФИЦИТУ

**Т. П. Побежимова**<sup>1</sup>, **Е. В. Бережная**<sup>1</sup>, **Е. А. Полякова**<sup>1</sup>, **А. В. Корсукова**<sup>1</sup>,  
**Н. С. Забанова**<sup>1,2</sup>, **И. В. Любушкина**<sup>1,2</sup>, **Н. В. Дорофеев**<sup>1</sup>, **О. И. Грабельных**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия  
*grolga@sifibr.irk.ru*

Фунгициды класса триазолов и стробилуринов широко используются в сельском хозяйстве. Помимо своего основного противогрибкового действия они могут оказывать на растения дополнительные физиологические эффекты. Ранее нами была выявлена способность тебуконазол-содержащего протравителя семян повышать устойчивость злаков к низким температурам, влияя на углеводный, белковый, жирнокислотный и дыхательный метаболизм, и оказывать ретардантный эффект. Обработка семян ингибировала рост побегов и стимулировала рост корней при выращивании на свету. Представитель класса стробилуринов азоксистробин, наоборот, сильно ингибировал рост корней. В настоящей работе было исследовано отдельное и совместное влияние тебуконазола и азоксистробина на физиологические параметры и устойчивость проростков пшеницы к водному дефициту.

Использовали растения озимой пшеницы сорта «Иркутская» в возрасте 5, 7 и 9 сут., выращенные из семян, обработанных суспензиями азоксистробина (4 мг/50 г семян) и тебуконазола (2 мг/50 г семян). Водный дефицит создавали 20 % полиэтиленгликолем (ПЭГ6000). Оценивали ростовые характеристики и ряд биохимических параметров. Установлено, что тебуконазол оказывает сильный ингибирующий эффект на длину coleoptилей и побегов. Вместе с тем тебуконазол стимулировал рост корней, а азоксистробин – сильно ингибировал. При совместной обработке также наблюдали стимулирующее действие тебуконазола на корневую систему. Ингибирование тебуконазолом длины побегов не влияло на их биомассу, в то время как ингибирование азоксистробинем длины корней значительно снижало их биомассу. Выявлено, что обработка семян тебуконазолом и совместная обработка снижают ингибирующий эффект ростовых процессов надземной части и корней при водном дефиците. В защитный механизм при этом вовлечены сахара и активные формы кислорода. Таким образом, стимулирование роста корневой системы тебуконазолом играет важную роль в обеспечении устойчивости растений к водному дефициту.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Особенности ростиингибирующего эффекта фунгицида азоксистробина и его способность тормозить расход сахаров в проростках озимой пшеницы / Е. В. Бережная, А. В. Корсукова, О. А. Федотова, Н. В. Дорофеев, О. И. Грабельных // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 657–665. doi: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-657-665

Разнонаправленные эффекты тебуконазол-содержащего протравителя семян «Бункер» на рост побегов и корней озимой пшеницы / О. И. Грабельных, Е. А. Полякова, А. В. Корсукова, Н. С. Забанова, Е. В. Бережная, И. В. Любушкина, О. А. Федотова, А. В. Степанов, Т. П. Побежимова, Н. В. Дорофеев // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. – 2020. – Т. 34. – С. 3–19. doi: 10.26516/2073-3372.2020.34.3



## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПЕСТИЦИДОВ НА СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА ДЛЯ ЦИАНИДНЕЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЫХАНИЯ ГРИБОВ

Д. И. Погорелов<sup>2</sup>, И. Ю. Буракова<sup>1,2</sup>, В. Н. Попов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ВГУИТ», Воронеж, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ВГУ», Воронеж, Россия

pogorelov.d12@gmail.com

Дыхательная цепь является эффективной мишенью для фунгицидов в борьбе с грибковыми заражениями пищевых культур. Наличие специфичных для грибов компонентов дыхания и недавнее открытие связи между дыханием и патогенезом у нескольких фитопатогенных видов способствовали разработке новых митохондриально-направленных фунгицидов.

Тем самым альтернативная оксидаза (АО) – это перспективная мишень для создания новых противогрибковых стратегий, но в свою очередь для этих разработок необходимы дальнейшие исследования, в понимании физиологической функции АО, а также в ее связи с грибковыми патогенезами, морфогенезами, передачей сигналов стресса, лекарственной устойчивостью, адаптацией к окружающей среде и вторичным метаболизмом (Tian et al., 2020).

Целью нашего исследования являлось изучение влияния различных классов пестицидов на скорость образования активных форм кислорода для цианиднечувствительного дыхания грибов. Данные исследования были проведены с использованием культур дрожжей *Kluyveromyces marxianus*. Исследование проводилось с использованием различных пестицидов: гидраметилнон, имидаклоприд, метрибузин, дитианон, дифеноконазол, пенконазол, малаион, пиридабен.

В ходе анализа было получено, что дыхание дрожжей при добавлении АДФ максимально ингибировалось дитианоном в концентрациях 20 мкМ, 50 мкМ, 200 мкМ. В то время как пестициды дифеноконазол и пенконазол показали прямо противоположный эффект в трех концентрациях. Также все остальные пестициды в присутствии АДФ проявляли ингибирующее действие, за исключением малаиона, стимулировавший дыхательную активность. Дыхание дрожжей в отсутствие АДФ ингибировалось лишь дитианоном, однако полностью не подавлялось даже самой большой концентрацией пестицида. Остальные пестициды, а также цианид двигали дыхательную активность дрожжей в положительную сторону, в той или иной степени. Примечательно, что при наличии АДФ пестициды гидраметилнон, имидаклоприд и метрибузин свою стимулирующую активность изменяли на ингибирующую. Такая же тенденция наблюдается и у цианида: в присутствии АДФ его стимулирующая активность пропадает и остается на нейтральном уровне.

Таким образом, нами было показано, что дитианон подавляет работу АО и тем самым обходит данное эволюционное приспособление грибов как защиты от перевосстановления пула ЭТЦ. Это подтверждает целесообразность его применения для борьбы с фитопатогенами грибной природы, имеющими АО.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда № 20-14-00262.*

## ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ «ВНЕШНИХ» РОТЕНОН-НЕЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ НАД(Ф)Н-ДЕГИДРОГЕНАЗ И ОБРАЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В МИТОХОНДРИЯХ И ТКАНЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Е. А. Полякова<sup>1</sup>, О. А. Федотова<sup>1</sup>, О. И. Грабельных<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия  
polyakova.elizaveta727@yandex.ru

Митохондрии и хлоропласты являются главными источниками образования активных форм кислорода (АФК) у растений при высоких температурах. АФК выполняют сигнальную функцию, обеспечивая устойчивость, а при избыточном содержании гибель клеток. Предполагается, что ротенон-нечувствительные НАД(Ф)Н-дегидрогеназы II типа (НАД(Ф)Н-ДГ) митохондрией участвуют в регуляции уровня АФК и защите фотосинтетического аппарата во время стресса.

Цель работы – выявление роли НАД(Ф)Н-ДГ II типа в регуляции содержания пероксида водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) в тканях и митохондриях растений при высоких температурах. Объект исследования – яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта «Новосибирская 29» в возрасте 4 и 8 сут., выращенная на гидропонике при 23 °С/20 °С (16 ч день/8 ч ночь) и освещенности 200 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) ФАР. Тепловое закаливание – 37 °С (6 ч для 4-суточных и 24 ч для 8-суточных проростков), тепловой шок – 50 °С (4 ч для 4-суточных и 3 ч для 8-суточных проростков), постоянное освещение. Ранее было отмечено, что «внешние» НАД(Ф)Н-ДГ II типа митохондрией участвуют в развитии индуцированной термотолерантности проростков яровой пшеницы, при этом их участие зависит от фазы развития растений и, вероятно, является тканеспецифичным.

С использованием экзогенных субстратов дыхания и изолированных митохондрий показано, что 4-суточные проростки имели более высокую скорость окисления экзогенных НАД(Ф)Н и в два раза ниже содержание H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в митохондриях, по сравнению с 8-суточными. Тепловое закаливание вызывало снижение H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в митохондриях при окислении НАД(Ф)Н, а последующий тепловой шок повышал содержание H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в митохондриях закаленных растений до контрольных значений. Содержание H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в тканях 4-суточных проростков было так же, как и в митохондриях, ниже, чем у 8-суточных. При тепловом закаливании снижалось содержание H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и в тканях побегов 4-суточных и листьях 8-суточных проростков, а обработка закаленных растений при 50 °С повышала его содержание до контрольного уровня. У незакаленных растений тепловой шок вызывал повышение содержания H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в тканях 4-суточных проростков в течение всей обработки, а у 8-суточных – только в начальный период.

*Исследование выполнено за счет гранта Президента РФ № МК-1720.2020.4.*

### Основные публикации авторов по теме доклада

Borovik O. A. Mitochondrial alternative cyanide-resistant oxidase is involved in an increase of heat stress tolerance in spring wheat / O. A. Borovik, O. I. Grabelnych // Journal of Plant Physiology. – 2018. – Vol. 231. – P. 310–317. doi: 10.1016/j.jplph.2018.10.007

Fedotova O. A. Ca<sup>2+</sup>-dependent oxidation of exogenous NADH and NADPH by the mitochondria of spring wheat and its relation with AOX capacity and ROS content at high temperatures / O. A. Fedotova, E. A. Polyakova, O. I. Grabelnych // Journal of Plant Physiology. – 2023. – Vol. 282. – Art. 153943. doi: 10.1016/j.jplph.2023.153943

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСКРИПТОМА ЯЧМЕНЯ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТОННОГО И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ

**А. А. Празян**<sup>1</sup>, **М. С. Подлущий**<sup>1</sup>, **Е. М. Шестерикова**<sup>1</sup>, **Е. А. Казакова**<sup>1</sup>,  
**С. В. Битаршвили**<sup>1</sup>, **П. Ю. Волкова**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ ВНИРАЭ, Обнинск, Россия

<sup>2</sup> Независимый исследователь, Гел, Бельгия

*prazuana@yahoo.com*

Подверженные радиации растения испытывают стресс, влияющий на их жизнедеятельность на разных уровнях и вызывающий изменения в экспрессии генов.

Целью нашего исследования являлось изучение влияния нелетальных доз ионизирующего излучения различного типа на экспрессию генов ячменя. В связи с этим, одной из задач является поиск аналогичных генов, участвующих в ответе на вызванный стресс.

Объектом исследования являлись проростки озимого ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Фокс-1. Данный сорт ячменя характеризуется хорошей биомассой, обладает высокой пластичностью, кроме того, отмечено, что  $\gamma$ -излучение оказывает стимулирующее действие на морфологические показатели проростков после облучения семян.

Облучение протонами проводили на комплексе протонной терапии «Прометеус» (Россия). Биологические объекты устанавливали в изокентр установки напротив друг друга. Облучение проводили на начальной фазе кривой Брэгга. В качестве бета-излучения применялось облучение электронами. Источником бета-излучения являлся терапевтический интраоперационный линейный ускоритель электронов NOVAC11 (Италия). Горшки были установлены в пучке электронов таким образом, чтобы в зону облучения попадали и побеги, и корневая система. Поглощенная доза для проростков ячменя при обоих типах излучения составила 15 Гр.

РНК выделяли из проростков ячменя через 24 ч после облучения с использованием специализированного набора GeneJet Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Fisher Scientific, США) в соответствии с протоколом производителя и дальнейшим синтезом к-ДНК. Секвенирование парных прочтений производилось на приборе Illumina NovaSeq 6000 (США) в трех повторностях.

Дифференциальную экспрессию генов (ДЭГ) представляли в виде логарифма кратного изменения ( $\log_2FC$ ). Повышенным считался уровень экспрессии  $\log_2FC > 1$ . Статистическая значимость для полученных результатов анализа с учетом FDR составила 0,05.

При сравнении результатов транскриптомного анализа озимого ячменя после воздействия бета-излучения и протонами выявлено 245 общих генов с показателем  $\log_2FC$  более 1, кроме того, более 90 генов имеют уровни  $\log_2FC > 2$ . Среди генов с повышенной экспрессией можно отметить *HORVU.MOREX.r3.3HG0302570* – кодирующий лакказу, которая инициирует разложение лигнина и детоксикацию продуктов, полученных из лигнина; *HORVU.MOREX.r3.3HG0313690* – кодирующий глутатион трансферазу, а также *HORVU.MOREX.r3.2HG0105020* – кодирующий аквапорин. Значимое снижение экспрессии отмечено у 12 генов.

*Результаты получены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2021-1068 от 28.09.2021).*

**КАРОТИНОИДЫ МХА *HYLOCOMIUM SPLENDENS*:  
ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ГЕНЫ БИОСИНТЕЗА, ЗАЩИТНАЯ РОЛЬ  
ПРИ АБИОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ**

**А. Г. Ренкова**<sup>1</sup>, **В. Р. Хабибрахманова**<sup>1,2</sup>, **О. П. Гурьянов**<sup>1</sup>, **В. М. Бабаев**<sup>3</sup>,  
**Ю. Н. Валитова**<sup>1</sup>, **А. Б. Мазина**<sup>1</sup>, **И. Ю. Лексин**<sup>1</sup>, **М. В. Куличенко**<sup>1</sup>,  
**Ф. В. Минibaева**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

<sup>2</sup> КНИТУ, Казань, Россия

<sup>3</sup> ИОФХ им. А. Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

renkova@kibb.knc.ru

Фундаментальной проблемой, на решение которой направлена настоящая работа, является выявление роли каротиноидов в формировании стрессовой устойчивости высших растений. Перспективным подходом для решения проблемы повышения устойчивости растений является изучение механизмов стрессовой устойчивости «экстремофилов», в том числе мхов, высших несудистых растений. Относительная простота анатомического строения и способность к выживанию в неблагоприятных условиях среды делают эти эволюционно-древние растения идеальными моделями для изучения механизмов адаптации. Наряду с универсальными стрессовыми механизмами растений, включающими быструю передачу сигналов, регуляцию транскрипции, ионный и осмотический гомеостаз и биосинтез защитных соединений и белков, бриофиты обладают уникальным спектром вторичных метаболитов, среди которых особое место занимают тетратерпеноиды – каротиноиды. Основными представителями каротиноидов мхов являются  $\alpha$ - и  $\beta$ -каротин, лютеин, нео-, виола- и зеаксантин. Количество и соотношение основных видов каротиноидов мхов отличается от такового высших сосудистых растений. В рамках настоящей работы с помощью метаболомного анализа идентифицированы каротиноиды лесного мха *Hylocomium splendens*. В частности, идентифицирован лютеин и показано его изменения при стрессовых воздействиях. В результате биоинформатического анализа и молекулярно-генетических методов идентифицированы и секвенированы 10 генов биосинтеза каротиноидов мха *H. splendens*. Получена новая информация об изменениях уровня транскриптов этих генов при действии прооксиданта параквата, низкой отрицательной ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и повышенной ( $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температуры, а также при обезвоживании/регидратации методом ПЦР в реальном времени. Анализ зависимости изменений экспрессии генов биосинтеза каротиноидов с изменениями их содержания позволяет выявить закономерности стрессовой устойчивости мхов на молекулярном уровне. Полученные приоритетные данные расширят наше знание о механизмах устойчивости у мохообразных и будут способствовать пониманию эволюционных изменений стрессовой устойчивости высших растений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00595.*

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Изменение состава и содержания липофильных соединений в проростках *Triticum aestivum* L. при действии стрессовых фитогормонов / А. Г. Ренкова, В. Р. Хабибрахманова, А. В. Часов, Ю. Н. Валитова, Е. И. Галеева, Ф. В. Минibaева // Физиология растений. – 2023. – Т. 70, № 1. – С. 58–70. doi 10.31857/S0015330322600322

**ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА КАК ИНДИКАТОР УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ *TRITICUM AESTIVUM* L. К УМЕРЕННОЙ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ****А. В. Рудиковский<sup>1</sup>, А. В. Пермяков<sup>1</sup>, О. В. Музалевская<sup>2</sup>, С. В. Осипова<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

svetlanaosipova2@mail.ru

Широкое использование молекулярно-генетических подходов в исследованиях устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям среды вызывает острую необходимость в высокопроизводительном фенотипировании. Считается, что флуоресцентные методы позволяют решить эту проблему. В частности, есть мнение, что использование флуоресцентных подходов имеет значение для прогностического понимания реакций фотосинтеза на засуху. Вместе с тем накапливается информация о том, что чувствительность флуоресцентных показателей к засухе зависит от вида, стадии развития растений, типа стресса и уровня стрессовой нагрузки.

Целью нашей работы был анализ чувствительности к умеренной пролонгированной почвенной засухе флуоресцентных параметров, измеренных у четырех сортов яровой мягкой пшеницы (Саратовская 29, Янецкис Пробат, Цезиум 111 и Сибирка 1818) и семи линий пшеницы Саратовская 29 на стадии трубкование – начало колошения. С помощью флуориметра РАМ-2500 у всех сортов и линий были измерены и рассчитаны в общей сложности 31 параметр флуоресценции хлорофилла, в том числе параметры JIP теста, на двух режимах водообеспечения: оптимальном (60 %) и водodefицитном (30 % от полной влагоемкости почвы). У сорта Саратовская 29, обладающего конститутивной устойчивостью к засухе, наиболее чувствительными оказались семь параметров: Y(II) (реальная фотохимическая эффективность фотосистемы 2), ETR (скорость линейного переноса электронов через фотосистемы), ETRmax (максимальная скорость транспорта электронов через фотосистемы), Fv/Fo (величина, характеризующая способность антенных комплексов к захвату возбужденной энергии), PIabs (индекс производительности – показатель функциональной активности фотосистемы 2, отнесенный к поглощаемой энергии), DIo/RC (общее количество энергии, рассеиваемой одним реакционным центром в виде тепла, флуоресценции или переноса к другой фотосистеме) и PItotal (индекс производительности общей фотохимии). Шесть из этих параметров повышались на засухе по сравнению с контролем более чем на 20 %. Наиболее значительно повышались параметры PIabs (в 2 раза), PItotal (в 1,7 раза), Fv/Fo (в 1,6 раз). Параметр DIo/RC на засухе снижался на 40 %. Вероятно, эти параметры могут быть хорошими индикаторами устойчивости фотосинтетического аппарата мягкой пшеницы к пролонгированной почвенной засухе.

На основе анализа главных компонент был рассчитан комплексный индекс устойчивости D, учитывающий изменения шести флуоресцентных параметров, значения которых в условиях водного дефицита повышались. По индексу D все изученные генотипы были разделены на три группы: устойчивые (D от 0,721 до 0,787; Саратовская 29; C29(Цезиум 2D); C29(Сибирка 2D)); неустойчивые (D от 0,160 до 0,315; Цезиум 111; C29(483 2A); C29(821 2A); C29(ЯП 2D); Сибирка 1818), и занимающие среднее положение в рейтинге (D от 0,512 до 0,590; Янецкис Пробат, C29(ЯП 2B); C29(ЯП 2A). Сделано заключение, что флуоресцентные параметры достаточны для выделения генотипов, контрастных по устойчивости фотосинтетического аппарата.

## **ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ И НАПРАВЛЕННОСТЬ МЕТАБОЛИЗМА УГЛЕРОДА – $^{14}\text{C}$ ПРИ ФОТОСИНТЕЗЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

**К. Саломийн, А. Эргашев**

ТНУ, Душанбе, Таджикистан  
salomiyonk@mail.ru

Оценка метаболизма углерода при различных условиях произрастания растений является одним из важных факторов общей регуляции фотосинтетических процессов у различных экологических типов растений.

Поэтому изучение биохимических механизмов, способствующих созданию разнокачественных органических продуктов в процессе темновых реакций фотосинтеза в различных экологических стрессовых условиях представляет особый научно-практический интерес. Исходя из этого является весьма важным исследование фотосинтетического метаболизма углерода у генотипов растений, произрастающих в различных экологических условиях.

Проведенные нами исследования показали, что все изученные генотипы  $\text{C}_3$ -растений (хлопчатник, пшеница, горох, топинамбур, подсолнечных и др.), выращенные в различных экологических условиях, имеют в основном одинаковый набор меченных по  $^{14}\text{C}$  – продуктов фотосинтеза, вместе с тем наблюдаются некоторые различия в распределении ассимилированного при фотосинтезе  $^{14}\text{C}$  среди отдельных интермедиатов (в частности, метаболитов цикла Кальвина).

Показано, что постоянный водный стресс, как весьма сильный экологический фактор, приводит к существенному изменению не только дневного хода интенсивности фотосинтеза, но и скорости и направленности фотосинтетического метаболизма углерода  $^{14}\text{C}$ . У хлопчатника, пяденицы и топинамбура при этом обнаружено подавление синтеза ранних продуктов восстановительного пентозофосфатного цикла (фосфорные эфиры сахаров) и изменение соотношения продуктов альтернативных путей фиксации  $\text{CO}_2$  (продукты гликолатного пути) и восстановительного пентозофосфатного цикла Кальвина.

Выявлено, что факторы среды (температура, интенсивность света, концентрация  $\text{CO}_2$ , УФ-радиация), как в отдельности, так и во взаимодействии, по-разному влияют на соотношение продуктов фотосинтеза и фотодыхания у растений гороха, чины и ячменя. Супероптимальные уровни этих факторов, активируют включение  $^{14}\text{C}$  в продукты  $\beta$ -карбоксилирования. Адаптация растений к повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  приводит к уменьшению скорости фотодыхания и усилению фотосинтеза, тогда как в условиях супероптимальной температуры происходит замедление как фотосинтеза, так и фотодыхания. Например, под воздействием повышенных доз УФ-радиации в условиях высокогорья наблюдается подавление скорости реакции карбоксилирующей и восстановительной фаз цикла Кальвина у бобовых и злаковых культур.

Отмеченные выше отклонения в метаболических процессах являются результатом изменения активности ферментов, участвующих в этих различных направлениях метаболизма  $^{14}\text{C}$  при фотосинтезе под воздействием стрессорных экологических факторов.

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ЖЕЛЕЗА И ЦИСТИНА В СРЕДЕ НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНА *iucS* ПРИ ДЕЙСТВИИ ЦИПРОФЛОКСАЦИНА НА БАКТЕРИИ *ESCHERICHIA COLI*

**З. Ю. Самойлова, Н. Г. Музыка, Г. В. Смирнова**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

samzu@mail.ru

Одной из актуальных медицинских проблем является быстрое распространение антибиотикорезистентных штаммов бактерий. Необходимы исследования, направленные на разработку новых и повышение эффективности существующих противомикробных препаратов. В 2007 г. Kohanski и соавт. выдвинули резонансную гипотезу, согласно которой летальное действие бактерицидных антибиотиков разных классов связано с участием токсичных гидроксильных радикалов. Предполагается, что эти радикалы образуются в ходе реакции Фентона между  $H_2O_2$  и  $Fe^{2+}$ , уровень которых возрастает в результате модуляции центральных путей метаболизма при воздействии антибиотиков на их первичные мишени. Гипотеза подверглась интенсивной критике. Однако было показано, что эндогенный и экзогенный сероводород защищает бактерии от бактерицидных антибиотиков и  $H_2O_2$ , за счет  $H_2S$ -опосредованной секвестрации железа и предотвращения реакции Фентона. Это указывает на необходимость дальнейшего изучения роли железа в летальном эффекте антибиотиков. Ранее мы обнаружили, что воздействие бактерицидного антибиотика ципрофлоксацина на *E. coli* сопровождается временным повышением уровня внутриклеточного цистеина, который способен восстанавливать  $Fe^{3+}$  до  $Fe^{2+}$ , потенцируя реакцию Фентона. Концентрация внутри- и внеклеточного цистеина возрастает в присутствии экзогенного цистина. Целью данной работы было выяснить характер изменения внутриклеточного  $Fe^{2+}$  при воздействии ципрофлоксацина (ЦФ) на *E. coli*, растущие на минимальной среде М9 с глюкозой в отсутствие и присутствии экзогенного цистина и  $Fe^{2+}$ .

Изменение пула внутриклеточного  $Fe^{2+}$  оценивали, определяя активность  $\beta$ -галактозидазы в штамме с транскрипционным слиянием *iucC::lacZ* методом Миллера. Ген *iucC*, кодирующий аэробактин, является одним из членов Fur регулона. В комплексе с  $Fe^{2+}$  Fur репрессирует *iucC*, соответственно при снижении пула  $Fe^{2+}$  экспрессия *iucC::lacZ* возрастает. В течение 2 ч инкубации в контрольной культуре без добавок наблюдалось повышение экспрессии *iucC* с  $257 \pm 11$  до  $1025 \pm 44$  единиц Миллера, что указывает на дефицит  $Fe^{2+}$  в клетках. Хелатор  $Fe^{2+}$  дипиридил (0,2 мМ) повышал экспрессию слияния до  $894 \pm 62$ , в то время как добавление 100 мкМ  $FeSO_4$  снижало ее уровень до  $204 \pm 11$  единиц Миллера. Внесение 30 мкМ цистина также снижало экспрессию *iucC::lacZ* в 1,5 раза по сравнению с контролем, что могло быть следствием как повышения доли  $Fe^{2+}$  при возрастании уровня цистеина, так и результатом замедления потребления железа из среды при снижении скорости роста бактерий в присутствии цистина. В отсутствие добавленного железа ЦФ (0,03, 0,3 и 3 мкг/мл) снижал экспрессию слияния относительно контроля. В присутствии 100 мкМ  $FeSO_4$  дозы ЦФ 0,03 и 0,3 мкг/мл вызывали слабый эффект, а доза 3 мкг/мл стимулировала экспрессию *iucC* в 3 раза по сравнению с контролем, что могло быть следствием потери железа клетками в условиях частичного лизиса (падение  $OD_{600}$ ). Присутствие цистина в среде снижало степень экспрессии *iucC*, но не влияло на общий характер ее зависимости от разных концентраций антибиотика.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00093, <https://rscf.ru/project/22-14-00093/>.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЦИНКА И НИКЕЛЯ У ГИПЕРАККУМУЛЯТОРА ЦИНКА *ARABIDOPSIS HALLERI* И ИСКЛЮЧАТЕЛЯ *ARABIDOPSIS LYRATA*

И. В. Серегин<sup>1</sup>, Т. В. Иванова<sup>1</sup>, А. С. Воронков<sup>1</sup>, А. Д. Кожевникова<sup>1</sup>, Х. Схат<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИФР РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Свободный Университет, Амстердам, Нидерланды

*ecolab-ipp@yandex.ru*

Мембраны растительных клеток являются первыми мишенями для действия металлов. Изменение проницаемости мембран во многом определяется изменением насыщенности жирных кислот (ЖК), входящих в состав липидов мембран и лежит в основе ответной реакции растений на стресс. В работе впервые проведены сравнительные исследования по изучению металл-индуцированных изменений профиля ЖК у исключателя *Arabidopsis lyrata*, накапливающего никель (Ni) и цинк (Zn) преимущественно в корнях, и гипераккумулятора Zn *Arabidopsis halleri*, накапливающего Zn преимущественно в побегах, а Ni – в корнях. Анализ профиля ЖК в корнях и побегах этих видов был проведен методом ГЖХ-МС, анализ содержания металлов – методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Наиболее существенные изменения в составе ЖК наблюдались в побегах гипераккумулятора и в корнях исключателя и эти изменения были металло- и видоспецифичными. Значительные изменения профиля ЖК наблюдались в побегах *A. halleri* при действии Ni, который, в отличие от Zn, накапливался главным образом в корнях. Некоторые ЖК выявлялись в корнях и побегах *A. lyrata* только при воздействии металла, тогда как у *A. halleri* они были обнаружены у контрольных растений. У обоих видов под действием Ni наблюдалось увеличение содержания олеиновой кислоты как в корнях, так и в побегах, тогда как при действии Zn этот эффект прослеживался только в побегах. При действии обоих металлов только в побегах *A. halleri* была идентифицирована редкая тетраеновая  $\alpha$ -паринаровая кислота. В побегах *A. halleri* наблюдалось увеличение содержания насыщенных ЖК и снижение содержания ненасыщенных ЖК, тогда как в корнях *A. lyrata* прослеживалась обратная закономерность, что во многом определяется изменением активности десатураз ЖК. Наблюдаемые металл-индуцированные изменения состава ЖК в побегах *A. halleri* могут приводить к снижению текучести мембран, в результате чего снижается проникновение в мембрану активных форм кислорода, что поддерживает ее стабильность. Более разнообразный качественный состав ЖК у гипераккумулятора по сравнению с исключателем, а также способность растений подстраивать текучесть мембран посредством изменения уровня насыщенности ЖК может быть одной из причин высокой способности гипераккумулятора адаптироваться к металл-индуцированному стрессу.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00028, <https://rscf.ru/project/21-14-00028/>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Zinc- and nickel-induced changes in fatty acid profiles in the zinc hyperaccumulator *Arabidopsis halleri* and non-accumulator *Arabidopsis lyrata* / I. V. Seregin, T. V. Ivanova, A. S. Voronkov, A. D. Kozhevnikova, H. Schat // Plant Physiology and Biochemistry. – 2023. – Vol. 197. – P. 107640. doi: 10.1016/j.plaphy.2023.107640



## ДВЕ СТРАТЕГИИ НАКОПЛЕНИЯ НИКЕЛЯ У РАСТЕНИЙ

**И. В. Серегин<sup>1</sup>, А. Д. Кожевникова<sup>1</sup>, Х. Схат<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ИФР РАН, Москва, Россия<sup>2</sup>Свободный Университет, Амстердам, Нидерланды  
*ecolab-ipp@yandex.ru*

В связи с возрастающим загрязнением окружающей среды металлами, проблема изучения механизмов избирательного их накопления в различных органах растений становится в последнее время все более актуальной. В работе проведен анализ способности исключателей *Microthlaspi perfoliatum* и *Thlaspi arvense* и гипераккумуляторов *Arabidopsis halleri*, *Noccaea japonicum*, а также растений 28 экотипов *Noccaea caerulescens* накапливать никель (Ni). Растения выращивали в гидропонике в присутствии соли Ni (0–100 мкМ для *A. halleri*; 0–1200 мкМ для *N. caerulescens*; 0–1100 мкМ для *N. japonicum*; 0–250 мкМ для *M. perfoliatum*; 0–100 мкМ для *T. arvense*). Для оценки участия гистидина в транспорте Ni растения *N. caerulescens*, *Arabidopsis thaliana* и *T. arvense* предобрабатывали L-гистидином (1 мМ, 4 ч) или L-аланином, после чего розетки листьев срезали, корневые системы промывали деминерализованной водой и инкубировали на питательном растворе в присутствии 25 или 250 мкМ Ni. Пасоку собирали в течение ночи, после чего анализировали в ней содержание Ni. Содержание Ni в корнях, побегах и пасоке определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии, а его распределение у *N. caerulescens* и *T. arvense* – гистохимическим методом с использованием диметилглиокима.

Содержание Ni в побегах *N. caerulescens* было выше, чем у исключателей. Вариация по способности накапливать Ni между экотипами *N. caerulescens* с каламиновых почв была значительно выше, чем между экотипами с ультраосновных почв и между экотипами с нематаллоносных почв, что является отражением генетических различий, которые позволили растениям, изначально произрастающим на нематаллоносных почвах, освоить металлоносные почвы *de novo*. Содержание Ni в побегах *A. halleri* практически не отличалось от содержания Ni у *M. perfoliatum* и *T. arvense*. У *T. arvense* Ni выявлялся в клетках апекса корня, ризодермы, эндодермы и накапливался в протопластах клеток коры корня. В побегах *N. caerulescens* Ni накапливался преимущественно в основных клетках эпидермы, тогда как его содержание в мезофилле было существенно ниже и признаков хлороза не наблюдалось, что позволяет рассматривать накопление Ni в эпидерме гипераккумуляторов как очень эффективный механизм его детоксикации. Предобработка растений *N. caerulescens*, *A. thaliana* и *T. arvense* гистидином приводила к увеличению содержания Ni в кислом соке только у гипераккумулятора. Отсутствие увеличения содержания Ni в кислом соке после предобработки аланином свидетельствует о том, что этот эффект специфичен для гистидина. Таким образом, образование комплексов Ni с гистидином в цитозоле ограничивает его поступление в вакуоли клеток корня, облегчая загрузку Ni в сосуды ксилемы у гипераккумулятора *N. caerulescens*, что также является фундаментальным механизмом детоксикации Ni, в результате чего уменьшается проявление его токсического действия. У исключателя *T. arvense* благодаря низкому эндогенному содержанию гистидина в корнях, Ni эффективно транспортируется в вакуоли клеток корня, что ограничивает его поступление в побег.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00028, <https://rscf.ru/project/21-14-00028/>.

## ХАРАКТЕР ИНГИБИТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ DMNP НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ КИНЕТИКУ АЛАРМОНСИНТЕТАЗ *MYCOLICIBACTERIUM SMEGMATIS*

**Р. Ю. Сидоров, А. Г. Ткаченко**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

sidorov.r@iegm.ru

Бактериальные ферменты алармонсинтетазы являются перспективной мишенью для разработки препаратов, направленных на подавление затяжных хронических инфекций. Эти белки суперсемейства RSH (гомологов RelA/SpoT) ответственны за синтез алармонов (p)ppGpp, которые являются сигнальными молекулами стресса у бактерий. Продукция алармонов (p)ppGpp играет ключевую роль в процессах торможения метаболизма, контроля над скоростью роста, персистенции, формирования биопленок и вирулентности. Делеция гена *relM*, ответственного за синтез (p)ppGpp у *Mycobacterium tuberculosis*, приводит к дефектам роста, неспособности к хронической инфекции, нарушению формирования биопленок и сниженной толерантности к антибиотикам. При этом подавление активности алармонсинтетаз посредством низкомолекулярных ингибиторов может воспроизводить эффекты делеции их генов.

В данной работе в ходе анализа ферментативной кинетики установлены детали механизма действия DMNP, синтетического аналога дитерпеноида морского происхождения эрогоргиана, в отношении алармонсинтетаз *Mycolicibacterium smegmatis*. Алармонсинтетазы *M. smegmatis* Rel<sub>Msm</sub> и RelZ были получены в очищенном виде при помощи экспрессионных плазмид *E. coli* системы pET со слиянием HisTag и Ni-NTA-аффинной хроматографии. (p)ppGpp-синтезирующая активность этих ферментов *in vitro* снижалась пропорционально концентрации добавленного DMNP.

Анализ ферментативной кинетики белков Rel<sub>Msm</sub> и RelZ проводили при добавлении DMNP и в его отсутствие. При помощи нелинейной регрессии получены параметры кривой насыщения по уравнению Хилла, которая описывает зависимость скорости реакции от концентрации субстрата. Добавка DMNP статистически значимо снижает максимальную скорость реакции ( $V_{max}$ ), однако не влияет на концентрацию полумаксимальной активности ( $K_{0.5}$ ) и коэффициент Хилла (H). Такой характер изменения параметров наблюдался при воздействии DMNP в отношении как длинного RSH-белка Rel<sub>Msm</sub>, так и малой алармонсинтетазы RelZ.

Исходя из изменения параметров кривой насыщения субстратом, DMNP характеризуется неконкурентным типом ингибирования активности обоих классов изученных алармонсинтетаз и, таким образом, не конкурирует с субстратами за сайт связывания. Это отличает DMNP от ингибиторов, представленных в литературе, которые имеют конкурентный или смешанный тип ингибирования.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

A synthetic diterpene analogue inhibits mycobacterial persistence and biofilm formation by targeting (p)ppGpp synthetases / A. G. Tkachenko, N. M. Kashevarova, R. Yu. Sidorov [et al.] // Cell Chemical Biology. – 2021. – Vol. 28, N 10. – P. 1420–1432. doi: 10.1016/j.chembiol.2021.01.018

Sidorov R.Yu. DMNP, a synthetic analog of erogorgiaene, inhibits the ppGpp synthetase activity of the small alarmone synthetase RelZ / R. Yu. Sidorov, A. G. Tkachenko // BIO Web of Conferences. – 2023. – Vol. 57. – Art. 08002. doi: 10.1051/bioconf/20235708002

**ТОКСИЧНОСТЬ ОРТОФОСФАТА ДЛЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ**

**А. Е. Соловченко, О. А. Горелова, И. О. Селях, Л. Р. Семенова, П. Н. Щербаков, С. Г. Васильева, П. А. Зайцев, К. А. Шибзухова, О. Б. Чивкунова, О. И. Баулина, А. А. Лукьянов, Е. С. Лобакова**

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

*solovchenkoa@my.msu.ru*

Микроводоросли эволюционно адаптированы к колебаниям доступности фосфора (P) в окружающей среде. Соответствующие адаптации выражаются в способности клеток микроводорослей поглощать большие количества неорганического фосфата (P<sub>i</sub>) и накапливать его в клетке в виде полифосфатов. Одно из следствий наличия этих адаптаций – толерантность многих видов микроводорослей к высоким концентрациям P<sub>i</sub> в среде культивирования. Однако в ситуациях, когда фосфорное голодание резко сменяется высокой доступностью этого элемента, возможен сбой механизмов, обеспечивающих толерантность микроводорослей к P<sub>i</sub>. В докладе эта ситуация рассматривается на примере *Micractinium simplicissimum* IPPAS C-2056, устойчивого к очень высоким концентрациям P<sub>i</sub>. После добавления P<sub>i</sub> (в концентрации, существенно ниже токсичной) к культуре *M. simplicissimum*, пред-адаптированной к дефициту P, наблюдали массовую гибель клеток. Предполагается, что токсичность P<sub>i</sub> в данной ситуации может быть опосредована быстрым образованием потенциально токсичных короткоцепочечных полифосфатов после массового поступления P<sub>i</sub> в клетки, пре-адаптированные к дефициту P. Возможная причина этого эффекта заключается в том, что предшествующее фосфорное голодание снижает способность клетки преобразовывать вновь поглощенный P<sub>i</sub> в «безопасную» резервную форму – длинноцепочечные полифосфаты. Результаты исследования механизмов токсичности P могут иметь значение для разработки биотехнологий биологической очистки сточных вод с попутным получением биоудобрений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-44-00006.*

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Failure of *Micractinium simplicissimum* phosphate resilience upon abrupt re-feeding of its phosphorus-starved cultures / E. Lobakova, O. Gorelova, I. Selyakh, L. Semenova, P. Scherbakov, S. Vasilieva, P. Zaytsev, K. Shibzukhova, O. Chivkunova, O. Baulina, A. Solovchenko // *Int. J. Mol. Sci.* – 2023. – Vol. 24. – P. 8484. doi 10.3390/ijms24108484

Hints for understanding microalgal phosphate-resilience from *Micractinium simplicissimum* IPPAS C-2056 (Trebouxiophyceae) isolated from a phosphorus-polluted site / E. S. Lobakova, I. O. Selyakh, L. R. Semenova, P. N. Scherbakov, T. A. Fedorenko, K. A. Chekanov, O. B. Chivkunova, O. I. Baulina, S. G. Vasilieva, A. E. Solovchenko, O. A. Gorelova // *J. Appl. Phycol.* – 2022. – Vol. 34. – P. 2409–2422. doi 10.1007/s10811-022-02812-0

## РОЛЬ НЕКОДИРУЮЩИХ РНК В ОТВЕТЕ РАСТЕНИЙ НА БИОТИЧЕСКИЕ И АБИОТИЧЕСКИЕ СТРЕССЫ

**А. Г. Соловьев, А. А. Лезжов, А. К. Атабекова**

НИИ им. Белозерского МГУ, Москва, Россия

*solovyev@belozersky.msu.ru*

Ответ растений на изменения условий среды или атаку со стороны патогенов, приводящий к изменению физиологического состояния клеток и тканей и/или активации защитных механизмов, происходит на уровне регуляции молекулярно-биологических процессов в клетках. Во многих случаях ключевую роль в такого рода регуляции играют некодирующие РНК.

Малые некодирующие РНК, имеющие длину 21–24 нуклеотида, включают два главных класса РНК, принципиально отличающихся по механизмам биогенеза и функционирования, а также по их биологической роли. Один класс представлен малыми интерферирующими РНК (siRNA), которые образуются при процессинге двуцепочечной РНК (дцРНК) и являются компонентом защиты против патогенов, в первую очередь вирусов. При процессинге дцРНК, которые являются репликативными формами вирусных геномов, образуются siRNA, направляющие специфическую дегградацию вирусных РНК. Другой класс малых некодирующих РНК представлен микро-РНК (miRNA), которые образуются в результате процессинга miRNA-кодирующих транскриптов и служат для подавления трансляции определенных мРНК, регулируя таким образом уровень кодируемых такими мРНК белков. Основная роль miRNA заключается в контроле некоторых стадий индивидуального развития и ответов на разного рода стрессы. К настоящему времени накоплен большой массив данных о роли miRNA в регулировании ответа на засуху, колебания температуры, засоление и тяжелые металлы. Во многих случаях miRNA участвуют в определении баланса между ростом растения и его ответом на абиотические стрессы.

В последние годы разворачиваются исследования регуляторной роли длинных (длиной более 200 нуклеотидов) некодирующих РНК (lncRNA). Геномы растений кодируют несколько тысяч lncRNA, функции большинства которых в настоящее время неизвестны. Во многих случаях показано, что lncRNA участвуют в ответе растений на различные абиотические стрессы. При возникновении стрессовых условий меняется уровень транскрипции определенных lncRNA, которые, используя различные молекулярные механизмы, меняют уровень экспрессии генов, регулирующих ответ на данный стресс.

Кольцевые некодирующие РНК в большинстве случаев являются продуктами обратного сплайсинга и, будучи относительно стабильными в клетках, принимают участие в регуляции активности других генов. Одним из механизмов такой регуляции является комплементарное взаимодействие с определенными miRNA, инактивирующее эти miRNA и таким образом снимающее супрессию с их РНК-мишеней. Уникальным классом кольцевых РНК являются ретрозимы (RZ), кольцевые РНК с выраженной вторичной структурой, кодируемые неавтономными ретротранспозонами. РНК RZ способна к автономной репликации и персистенции в клетках растений, а также к системному транспорту по флоэме. Предполагается, что РНК RZ выполняет регуляторные функции, являясь сигнальной молекулой.

В целом имеющиеся данные показывают важную роль некодирующих РНК в ответе растений на биотические и абиотические стрессы.

## ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ОБЩИХ ЛИПИДОВ ТОНОПЛАСТА В УСЛОВИЯХ МЕДНОГО СТРЕССА

**Е. В. Спиридонова, И. С. Капустина, В. В. Гурина, Н. В. Озолина**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

yatakot@mail.ru

В силу прикрепленного образа жизни растениям приходится приспосабливаться к стрессовым условиям, вызванным действием тяжелых металлов, за счет защитных механизмов. Один из таких механизмов связан с изолированием ионов тяжелых металлов в вакуоль, защищая тем самым клетку от их токсического воздействия и способствуя нормальному протеканию физиолого-биохимических процессов. Действие стрессового фактора приводит к значительным изменениям в составе липидов вакуолярной мембраны (тонопласта). Жирные кислоты (ЖК) являются важным компонентом липидов и играют существенную роль в клетке, в том числе и при стрессе. Как происходят изменения в составе ЖК тонопласта в ответ на действие меди изучено недостаточно хорошо. В связи с чем целью нашего исследования является анализ измененный жирнокислотного состава тонопласта в условиях стресса, вызванного медью.

В настоящем исследовании было изучено влияние различных концентраций меди (100 и 500 мкМ) на состав ЖК вакуолярной мембраны. В качестве объекта исследования использовали корнеплоды столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.). Для создания условий стресса кусочки тканей корнеплодов (1 см<sup>3</sup>) выдерживали в растворе с медью в течение 16 ч. Фракцию вакуолярных мембран (тонопласт) получали макрообъемным методом с последующей очисткой при помощи дифференциального центрифугирования. Чистоту полученной фракции оценивали по белкам маркерам. Для определения ЖК проводили экстракцию общих липидов из тонопласта модифицированным методом Фолча. Полученные липиды подвергали метилированию. Далее метиловые эфиры ЖК липидов анализировали методом хромато-масс-спектрометрии. Для идентификации пиков метиловых эфиров ЖК использовали значение времени удерживания стандартов и индекс эквивалентной длины алифатической цепи (ECL). В качестве внутреннего стандарта использовали С19:0 кислоту. Оценка насыщенности ЖК в липидах образцов проводили при помощи индекса двойных связей.

В результате проведенных исследований было обнаружено, что в ответ на действие 100 мкМ меди происходило увеличение содержания таких насыщенных ЖК как С14:0, С16:0 и С18:0. Такое повышение могло приводить к увеличению вязкости вакуолярной мембраны, влияя тем самым на процессы транспорта. Среди ненасыщенных ЖК было отмечено увеличение содержания С18:1 ЖК. Кроме того, происходило увеличение суммы ЖК, главным образом за счет насыщенных ЖК. Полученные нами результаты схожи с изменениями в составе ЖК тонопласта при действии кадмия. В присутствии 500 мкМ меди наблюдалось только уменьшение С18:0 ЖК. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что медь оказывает разное действие на состав ЖК в зависимости от используемой концентрации. Наиболее значимые изменения отмечены для концентрации 100 мкМ, которые могут выступать в роли одного из механизмов адаптации вакуолярной мембраны к действию меди.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00208, <https://rscf.ru/project/23-26-00208/>.

## УЧАСТИЕ ФЕРМЕНТОВ РЕЦИКЛИНГА В ПОДДЕРЖАНИИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ТКАНЯХ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ СИБИРСКОЙ И ЕЕ ГИБРИДОВ

**З. О. Ставицкая, Е. Г. Рудиковская, Л. В. Дударева, С. В. Осипова, А. И. Катышев, И. В. Федосеева, А. В. Рудиковский**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
stavitskaya.zlata@gmail.com

Известно, что уровень аскорбиновой кислоты (АК) в органах и тканях растений зависит как от ее биосинтеза, так и от процесса рециклинга. В ходе рециркуляции, окисленные формы аскорбата восстанавливаются до АК при помощи двух редуктаз: монодегидроаскорбатредуктазы (MDHAR) и дегидроаскорбатредуктазы (DHAR).

Нами были исследованы ткани плодов *Malus baccata* L. Borkh., *Malus domestica* (Suckow) Borkh. и их гибридов. Анализ активности генов DHAR и MDHAR был проведен с помощью qPCR. Активность соответствующих ферментов проводили методом спектрофотометрии на микропланшетном ридере Infinite M200 PRO («Tecan», Austria). Содержание витамина С оценивали методом ВЭЖХ (Милихром А02, Россия).

Проведенный нами анализ динамики изменений содержания АК в процессе вегетации показал, что наиболее высокий уровень был в тканях плодов *M. baccata*. На стадии созревания этот показатель достигал  $4,92 \pm 0,35$  мг/г сырой массы в кожуре плодов и  $3,82 \pm 0,13$  в пульпе. Необходимо отметить, что такой уровень АК превышает общепринятое среднее референтное значение его содержания в мякоти плодов яблони домашней ( $0,04$  мг/г сырой массы) примерно в 100 раз.

Количественный анализ экспрессии гена MdMDHAR1 у исследованных образцов, значительно различающихся по содержанию витамина С на разных стадиях созревания, показал, что скорость его экспрессии в созревших плодах яблони сибирской многократно превышала таковую у остальных генотипов не только в пульпе, но и в кожуре.

Единственным генотипом, у которого экспрессия гена MdDHAR3 на протяжении вегетации в пульпе по мере созревания плодов не снижалась, также являлась яблоня сибирская. При этом уровень экспрессии этого гена в пульпе *M. baccata* достоверно превышал таковой для всех остальных генотипов.

При изучении взаимосвязи активности ферментов MDHAR и DHAR и содержания АК в плодах было установлено, что они могут функционировать, дополняя друг друга для поддержания окислительно-восстановительного статуса АК. Анализ результатов показал также, что высокая активность MDHAR в яблоне сибирской (и в пульпе, и в кожуре) на этапе созревания коррелирует с высоким содержанием в ее плодах витамина С. Дополнительным фактом, подтверждающим эту взаимосвязь, является высокая активность фермента аскорбатпероксидазы в тканях плодов яблони сибирской, а, как известно, активность этого фермента связана с активностью MDHAR.

Таким образом, проведенный комплексный анализ рециклинга и накопления витамина С показал, что беспрецедентно высокий уровень АК в плодах яблони сибирской обеспечивается как высоким уровнем экспрессии генов рециклинга – MdMDHAR1 и MdDHAR3, так и высокой активностью соответствующих ферментов.

Полученные данные позволяют предположить, что ген MdMDHAR1 является наиболее перспективным кандидатом для маркерной селекции по признаку высокого содержания витамина С в плодах яблони.

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 20-016-00091.*

**ПРАЙМИНГ ВИНОГРАДА *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*, ЗАСЕЛЯЮЩИМИ ВЕГЕТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ, СНИЖАЕТ РАЗВИТИЕ МИЛДЬЮ****М. А. Сундырева, Е. О. Луцкий, А. Е. Мишко, Е. В. Лободина**

ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия

taurim2012@yandex.ru

Изменение климата существенно влияет на распространение, вирулентность, численность и круг хозяев фитопатогенов. Так, в агроэкологической зоне виноградарства России часты эпифитотии милдью (6–7 раз за 10 лет), которые могут вызывать потери от 50 до 100 % урожая текущего года, несмотря на наличие большого числа обработок фунгицидами. Одной из существенных проблем широкого применения средств химической защиты растений является проявление резистентности патогенов. Альтернативным способом снижения распространения инфекций является использование биологических средств защиты растений. Взаимодействие растения с «безвредной» микробиотой, предшествующее заражению патогеном, способно спровоцировать накопление пула защитных веществ, необходимых для снижения распространения совместимого патогена. Так проявляется эффект прайминга.

Целью работы было исследование реакций растений винограда при прайминге дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* (SC), полученными путем смыва с листьев винограда и выделенных в чистую культуру, и их эффективность в снижении развития милдью. Обработка SC показала высокую эффективность: площадь листьев со спороношением милдью составила 8 % при 57 % в контроле. SC стимулировали повышение экспрессии генов MYC2, липоксигеназы (LOX), алленоксидсинтазы (AOS), связанных с синтезом и сигналингом жасмоновой кислоты, салицилат-связанного PR1, а также PR10 и стильбенсинтазы (STS), обеспечивающих защитные реакции против патогенов. Обработка SC обеспечивала снижение содержания малонового диальдегида за счет повышения активности супероксиддисмутазы (SOD) и пероксидазы (POX), повышение содержания стильбенов ресвератрола и виниферина. Заражение винограда милдью (PV) на фоне SC приводило к большей активности POX, обеспечивающей трансформацию фенольных соединений в микроботоксичные формы, снижению активности SOD, а также увеличению баланса стильбенов в сторону виниферина. Применение SC стимулировало паттерны экспрессии защитных генов и биохимических изменений аналогично PV. Реакция на стимуляцию защитных процессов SC во многом сходна с ответом на воздействие жасмоната, но, в то же время, для прайминга SC характерен и достаточно высокий уровень экспрессии салицилат-связанных генов. Биологическая эффективность SC связана не только со стимуляцией защитных реакций, но и с выраженным антагонистическим действием дрожжей по отношению к милдью. Данный факт подтверждается повышением развития милдью при снижении концентрации клеток дрожжей, наносимых на листья винограда, а также при обработках как водными, так и спиртовыми вытяжками дрожжей.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-016-00210 А.*

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Lutskiy E. O. Impact of microorganism priming on oxidative processes and the antioxidant defense system of grapes infected with downy mildew / E. O. Lutskiy, A. E. Mishko, M. A. Sundryeva // J. Sib. Fed. Univ. Biol. – 2021. – Vol. 14 (3). – P. 381–391. doi 10.17516/1997-1389-0357

## ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЕЙ ЦИСТЕИНА ПРИ ДЕЙСТВИИ АНТИБИОТИКОВ ХЛОРАМФЕНИКОЛА И ЦИПРОФЛОКСАЦИНА НА *ESCHERICHIA COLI*, РАСТУЩУЮ НА БОГАТОЙ И МИНИМАЛЬНОЙ СРЕДАХ

**Д. В. Сутормина, К. В. Безматерных, Г. В. Смирнова, О. Н. Октябрьский**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

lyubov-sutormina@mail.ru

В связи с возрастающей проблемой возникновения и распространения антибиотикорезистентных форм бактерий, необходимо детальное изучение механизмов действия антибиотиков, как для разработки более эффективных подходов к использованию применяемых препаратов, так и создания новых противомикробных средств. Было предположено, что повышение эффективности существующих антибиотиков возможно за счет воздействия на пути образования свободных радикалов.

L-цистеин является компонентом многих белков и природного антиоксиданта глутатиона. Наличие SH-группы позволяет цистеину восстанавливать ионы железа ( $Fe^{2+}$ ), тем самым ускоряя реакцию Фентона с образованием токсичных ОН<sup>•</sup> радикалов. Поддержание оптимального уровня цистеина в клетках является необходимым условием для предотвращения повреждающего воздействия окислительного стресса на бактерии.

Целью данного исследования было изучение изменения уровня внутриклеточного цистеина ( $Cys_{in}$ ) при действии хлорамфеникола (ХАМ) и ципрофлоксацина (ЦФ) на *Escherichia coli*, растущую на богатой (LB) и минимальной (M9) средах.

Аэробные культуры *Escherichia coli* BW25113 (родительский тип) и мутанта JW2663 ( $\Delta gshA$ ), лишённого глутатиона, выращивали на среде M9 с 0,2 % глюкозой и на среде LB-Miller в колбах 250-мл на шейкере (37°C, 150 об/мин) до  $OD_{600}$  0,4, затем вносили 3 мкг/мл ЦФ или 25 мкг/мл ХАМ и инкубировали в течение 90 мин. Цистеин определяли по методу Gaitonde.

В наших условиях исходные значения внутриклеточного цистеина при культивировании на среде M9 у родительского штамма были  $0,06 \pm 0,003 \mu M / OD_{600}$ , а у *gshA* мутанта –  $0,03 \pm 0,002 \mu M / OD_{600}$ . На среде LB начальный уровень  $Cys_{in}$  составлял  $0,24 \pm 0,006$  и  $0,18 \pm 0,003 \mu M / OD_{600}$  у родительского и мутантного штаммов соответственно. Обработка клеток ЦФ при культивировании на M9 вызывала увеличение внутриклеточного цистеина в 2 раза у *gshA* мутанта и не влияла на его содержание у родительского штамма в сравнении с контролем (необработанные клетки). При обработке ЦФ клеток, выращенных на среде LB, не наблюдалось значительных изменений у обоих штаммов. На среде M9 обработка мутанта ХАМ стимулировала повышение  $Cys_{in}$  в 5,3 раза относительно базового уровня и не влияла на его содержание у родительского штамма. На среде LB после обработки ХАМ в течение 90 мин содержание цистеина в клетках родительского штамма и мутанта было, соответственно, в 2 и 2,7 раза больше, чем в необработанных клетках. Таким образом, различия в условиях культивирования могут оказывать значительное влияние на содержание цистеина в культурах *E. coli*, обработанных антибиотиками.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00093, <https://rscf.ru/project/22-14-00093/>.



## ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И НАЧАЛЬНЫЙ РОСТ ПРОРОСТКОВ НЕКОТОРЫХ ДИКОРАСТУЩИХ И КУЛЬТУРНЫХ ЗЛАКОВ

**К. Б. Таскина, Н. М. Казнина**

ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия  
tasamayaksenia@gmail.com

В лабораторных условиях изучали влияние натрий-хлоридного засоления на всхожесть семян и начальный рост проростков ряда представителей семейства *Poaceae*. Объектами исследования были дикорастущие (*Agrostis capillaris* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Phalaris arundinacea* L.) и культурные (*Hordeum vulgare* L. сорт Нур, *Triticum aestivum* L. сорт Злата) виды злаков.

Семена проращивали в чашках Петри на дистиллированной воде (контроль) или в растворе NaCl (х.ч.) в концентрации 200 мМ. Влияние засоления на энергию прорастания и всхожесть семян злаков оценивали на 3–7 и 7–14-е сут., соответственно, в зависимости от вида. Воздействие соли на начальный рост проростков определяли спустя 7–14-е сут. роста растений под светустановкой при температуре 22–25 °С, влажности 60–70 %, ФАР 100 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) и 14-часовом фотопериоде. Контрольные растения выращивали на питательном растворе Хогланда-Арнона (контроль), в опытных вариантах в питательный раствор добавляли соль в указанной выше концентрации.

Проведенные исследования показали, что засоление отрицательно влияет на всхожесть семян дикорастущих видов злаков. В частности, при повышении концентрации NaCl в корнеобитаемой среде энергия прорастания, характеризующая дружность прорастания, и всхожесть семян оказались на 70–90 % меньше, чем в контроле. Из изученных видов злаков в условиях засоления наибольшей всхожестью обладали семена *D. cespitosa*, а наименьшей – *P. arundinacea*. В отличие от этого, семена культурных злаков – ячменя и пшеницы – успешно прорастали при данном уровне засоления. Всхожесть семян этих видов в опытных вариантах была такой же, как и в контрольных.

Влияние хлорида натрия на начальный рост проростков также во многом зависело от вида растений. Так, у многолетних злаков в условиях засоления значительно тормозился рост корня и побега. При этом в большей степени уменьшалась длина корня. По изученным показателям роста наиболее солеустойчивым видом оказалась *A. capillaris*, а наиболее солечувствительным – *D. cespitosa*. У ячменя и пшеницы при воздействии NaCl в изученной концентрации также замедлялся рост подземных и надземных органов, причем в большей степени – у ячменя. Однако, в отличие от дикорастущих злаков, ингибирующий эффект хлорида натрия был более выражен в отношении роста побега.

Таким образом, реакция разных представителей семейства *Poaceae* на засоление различна. Более солеустойчивыми оказались культурные виды – пшеница и ячмень, у которых при концентрации хлорида натрия 200 мМ отмечалась 100%-ная всхожесть семян и наблюдалось меньшее, чем у дикорастущих злаков, торможение начального роста проростков. У изученных дикорастущих видов в этих условиях снижался (по сравнению с контролем) % проросших семян и значительно уменьшались размеры корня и побега. В целом на основании полученных результатов можно составить следующий ряд солеустойчивости злаков (по убыванию): *T. aestivum* > *H. vulgare* > *A. capillaris* > *P. arundinacea* > *D. cespitosa*.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания (FMEN-2022-0004).*

## ДЕГИДРИНЫ В УСТОЙЧИВОСТИ *LARIX CAJANDERI* MAYR. К ЭКСТРЕМАЛЬНОМУ КЛИМАТУ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

**Т. Д. Татаринова, А. А. Перк, А. Г. Пономарев, И. В. Васильева**

ИБПК ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

t.tatarinova@gmail.com

Лесообразующие растения, произрастающие в природно-климатических условиях Центральной Якутии, отличаются необычайно высокой морозоустойчивостью благодаря их способности адаптироваться к характерным для региона экстремально низким зимним температурам. В механизмах криорезистентности растений, вероятно, принимают участие стрессовые белки-дегидрины, функции которых связаны с защитой клеточных структур от холодовой дегидратации. В этой связи, представляется весьма актуальным выявление роли дегидринов в формировании морозоустойчивости хвойных растений в криолитозоне.

Целью работы явилось изучение состава дегидринов и их изменений в сезонном цикле лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.) в условиях экстремального климата Центральной Якутии.

С использованием технологии иммуноблоттинга в однолетних побегах центрально-якутской популяции лиственницы Каяндера обнаружены мажорные дегидрины в интервале мол. м. 17–20, 37–42 и 73 кД. При сравнении отдельных экспемпляров во время зимнего покоя деревьев (февраль) установлен высокий уровень внутривидового полиморфизма данных белков, различия между изученными деревьями обнаружены, в основном, в области мол. м. 20–37 кД. В годичном цикле наибольшим сезонным изменениям подвержены низкомолекулярные дегидрины, содержание которых возрастало в конце фенологической осени и достигало стабильно высоких значений в период сверхнизких зимних температур. Накопление в побегах при осеннем переходе к покою и поддержание высокого уровня дегидринов указывают на их возможное участие, наряду с опадением хвои, в защите клеток лиственницы от обезвоживания при низкотемпературном стрессе. Помимо этого, побеги лиственницы характеризуются максимальными значениями коэффициента морозоустойчивости ( $K_m = 0,53–0,65$ ) на основе измерения их клеточной проницаемости. Однонаправленные изменения степени морозоустойчивости и уровня этих гидрофильных белков в побегах могут свидетельствовать о связи криотолерантности лиственницы Каяндера с накоплением дегидринов.

Значительное разнообразие состава в ходе сезонного цикла и связанный с развитием морозоустойчивости высокий уровень дегидринов в побегах *L. cajanderi* указывают на важную роль стрессовых белков в механизмах формирования низкотемпературной устойчивости древесных растений в условиях криолитозоны.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Dehydrin stress proteins in *Pinus sylvestris* L. needles under conditions of extreme climate of Yakutia / T. D. Tatarinova, A. A. Perk, V. V. Bubyakina, I. V. Vasilieva, A. G. Ponomarev, T. C. Maximov // Dokl. Biochem. Biophys. – 2017. – Vol. 473. – P. 98–101. doi: 10.1134/S160767291702003X

Особенности стрессовых белков-дегидринов березы *Betula* L. в условиях криолитозоны / Т. Д. Татаринова, А. А. Перк, А. Г. Пономарев, И. В. Васильева // Сибирский лесной журнал. – 2020. – № 2. – С. 21–30. doi: 10.15372/SJFS20200203

## ИЗМЕНЕНИЯ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЛИПОКСИГЕНАЗНОГО КАСКАДА ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ РАСТЕНИЙ ТАБАКА *PECTOBACTERIUM ATROSEPTICUM*

**Я. Ю. Топоркова, Е. О. Смирнова, А. В. Огородникова, О. И. Парфилова, О. Е. Петрова, В. Ю. Горшков**

КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*toporkova@kibb.knc.ru*

Липоксигеназный каскад растений является источником разнообразных биорегуляторов, играющих значительную роль в системах клеточной сигнализации, адаптации к неблагоприятным факторам и иммунном ответе. Липоксигеназный каскад можно условно разделить на две части: образование гидроперекисей при участии 9S-, 13S- или 9S/13S-специфичных липоксигеназ и их вторичные превращения. За вторичные превращения гидроперекисей отвечают ферменты, включая 9-, 13- или 9/13-специфичные белки как минимум с четырьмя типами каталитической активности – алленоксидсинтазой (АОС), гидропероксидлиазой (ГПЛ), дивинилэфирсинтазой (ДЭС) и эпоксиалкогольсинтазой (ЭАС), которые относятся к семейству CYP74 неклассических цитохромов P450. Для цветковых растений характерны следующие оксипирины – продукты липоксигеназного каскада: гидрокси-, дигидрокси-, тригидрокси-, оксо-, эпокси- или кето-производные жирных кислот, дивиниловые эфиры, альдегиды, спирты, альдокислоты, циклопентеноны и жасмонаты. Физиологические свойства оксипиринов растений изучены крайне односторонне, с неоправданно большим вниманием к жасмонатам, травматину и летучим соединениям и недостатком внимания к другим оксипиринам.

Типичные (симптоматические) инфекции растений, вызываемые *Pectobacterium atrosepticum*, связаны с индукцией ответов растений, опосредованных жасмонатами. В настоящей работе мы сравнили функционирование липоксигеназного каскада при типичных и латентных (бессимптомных) инфекциях, чтобы лучше понять физиологические основы мирного и антагонистического сосуществования растений и пектобактерий. Настоящая работа посвящена характеристике изменения активности липоксигеназ и уровня соответствующих оксипиринов при типичной и латентной инфекциях. Анализ экспрессии генов, активности соответствующих липоксигеназ и относительного количества различных оксипиринов позволил идентифицировать различия, связанные с липоксигеназным каскадом в целом, при типичных и латентных инфекциях, вызванных *P. atrosepticum*. Наши результаты вносят вклад в гипотезу о том, что различные типы взаимодействия растения с конкретным патогеном характеризуются разными профилями оксипиринов растения-хозяина.

*Биоинформационный анализ и филогенетический анализ проводились при финансовой поддержке Гос. задания Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук». Исследование липоксигеназ выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00397.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Differential modulation of the lipoxygenase cascade during typical and latent *Pectobacterium atrosepticum* infections / V. Gorshkov, Y. Toporkova, I. Tsers, E. Smirnova, A. Ogorodnikova, N. Gogoleva, O. Parfirova, O. Petrova, Y. Gogolev // Annals of Botany. – 2022. – Vol. 129 (3). – P. 271–286. doi: 10.1093/aob/mcab108

**REAL-TIME МОНИТОРИНГ ПРОДУКЦИИ H<sub>2</sub>S В ШТАММАХ *ESCHERICHIA COLI*, МУТАНТНЫХ ПО МЕТАБОЛИЗМУ ЦИСТЕИНА****А. В. Тюленев<sup>1</sup>, А. О. Габова<sup>1,2</sup>, В. Ю. Ушаков<sup>1,3</sup>, Г. В. Смирнова<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ИЭГМ УрО РАН, ФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия<sup>2</sup> ПНИПУ, Пермь, Россия<sup>3</sup> ПГНИУ, Пермь, Россия

Leksey333@yandex.ru

В настоящее время отмечается большой интерес к изучению продукции эндогенного сульфиды бактериальными клетками. Показано, что у бактерий *Escherichia coli* продукция и выход сульфиды в среду включены в поддержание гомеостаза внутриклеточного пула цистеина. Необходимость поддержания гомеостаза цистеина связана с его способностью как редокс-активного вещества участвовать в реакции Фентона, продуцирующей высокотоксичный гидроксильный радикал. К числу других путей регуляции уровня цистеина у *E. coli*, наряду с синтезом, относятся его транспорт, включение в состав глутатиона и деградация с образованием H<sub>2</sub>S.

Объекты исследования – делеционные мутанты из коллекции Keio и их родительский штамм *E. coli* BW25113. Бактерии выращивались на среде LB в колбах на 250 мл в термостатируемом орбитальном шейкере (37 °С, 150 об/мин). Продукцию сульфиды регистрировали непосредственно в колбах с помощью системы сульфид-специфичного халькогенидного электрода XC-S<sup>2</sup>-001 с рабочим диапазоном pH 6-12 («Сенсорные системы», Россия) и цифрового иономера сpX-2 (ИБП Пушкино, Россия) в режиме реального времени.

Растущие аэробно на среде LB культуры *E. coli* BW25113 продуцировали сульфид без каких-либо внешних воздействий, что могло быть вызвано деградацией цистеина, содержащегося в питательной среде. Проведенный анализ показал, что используемая нами стандартная среда LB действительно содержала 154±5 мкМ цистеина. Бактерии начинали активно продуцировать сульфид к концу аэробной фазы роста, когда количество растворенного кислорода в среде приближалось к нулю.

Мониторинг продукции H<sub>2</sub>S был также проведен у мутантов *E. coli*, дефектных по генам, кодирующим компоненты метаболизма цистеина. У мутантов JW2407 (*cysK*), JW2975 (*metC*), JW3686 (*tnaA*), дефектных по системам деградации цистеина, генерация сульфиды обнаруживалась сразу после инокуляции бактерий и продолжалась в течение всего эксперимента. Мутанты по экспортерам цистеина, JW5250 (*eamA*), JW2562 (*eamB*), JW5363 (*bcr*) и AN2343 (*cydD*) показали высокую интенсивность продукции сульфиды на протяжении первых 60 мин инкубации. Напротив, отсутствие продукции сульфиды в аэробных условиях было отмечено у штаммов JW2505 (*mstA*), JW1267 (*cysB*) и JW1718 (*tsyP*). Наиболее интенсивная продукция H<sub>2</sub>S была выявлена у мутанта JW2663 (*gshA*), дефектного по синтезу глутатиона.

В целом мониторинг в реальном времени выявил существенные различия в интенсивности и кинетике продукции эндогенного сульфиды у мутантов *E. coli*, дефектных по ферментам деградации, транспорту цистеина и регуляции *Cys*-оперона. Требуются дальнейшие исследования для более полного понимания роли продукции сульфиды в поддержании гомеостаза цистеина. Изучение роли эндогенного сульфиды может представлять большой интерес для понимания процессов адаптации бактерий к неблагоприятным условиям среды.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00093, <https://rscf.ru/project/22-14-00093/>.

## ПОИСК НОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ТРАНСКРИПЦИОННОГО ОТВЕТА НА САЛИЦИЛОВУЮ КИСЛОТУ ПУТЕМ АНАЛИЗА ТРАНСКРИПТОМНЫХ ДАННЫХ *ARABIDOPSIS THALIANA* L.

**А. В. Тяпкин**<sup>1,2</sup>, **А. Д. Сидоренко**<sup>1,2</sup>, **Е. В. Землянская**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> НГУ, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ «ИЦиГ СО РАН», Новосибирск, Россия

*a.sidorenko1@g.nsu.ru*

Салициловая кислота (СК) – фитогормон, играющий важную роль как в формировании защитного ответа на биотические и абиотические стрессы, так и в регуляции роста и развития растений. При этом известно, что влияние СК на физиологические параметры клеток может значительно отличаться в различных органах растений. Активацию защитных генов контролирует ключевой рецептор СК NON-EXPRESSOR OF PATHOGENESIS-RELATED GENES 1 (NRP1), однако недавно было описано NPR1-независимое влияние низких доз СК на рост главного корня. Благодаря своим свойствам СК широко применяется в сельском хозяйстве для стимуляции иммунитета растений, поэтому изучение молекулярно-генетических механизмов ее действия является актуальной задачей. Целью данной работы является поиск новых регуляторов транскрипционного ответа на СК в различных органах растений на основе анализа транскриптомов *A. thaliana*.

Обработав данные микрочипов и RNA-seq из открытых источников, мы получили 23 транскриптомных профиля ответа на разные дозы СК в различных органах растений. Путем кластеризации было показано, что различие транскриптомных профилей ответа на СК преимущественно обусловлено типом обработанной части растения (лист, корень, целый проросток) и концентрацией СК. Функциональная аннотация дифференциально-экспрессирующихся генов в кластерах показала, что регуляция подавляющихся в ответ на СК генов осуществляется группами транскрипционных факторов (ТФ), специфичными для условий эксперимента, в то время как в регуляции активирующихся защитных генов преимущественно участвует небольшое число ключевых ТФ (семейств WRKY и TGA) во всех экспериментах вне зависимости от условий. Путем анализа полногеномных данных DAP-seq по связыванию ТФ нами были выявлены 130 ТФ, гены которых чувствительны к СК и связывание которых ассоциировано с транскрипционным ответом генов на СК. Для 86 из них ранее не была показана ассоциация с ответом на СК. Так, в частности были найдены новые потенциальные тканеспецифичные ТФ-регуляторы ответа на СК в корнях (представители семейств HB, SNC, MYB) и в листьях (представители семейств MYB и bZIP).

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00240.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Salicylic acid in root growth and development / Z. Z. Bagautdinova, N. Omelyanchuk, A. V. Tyapkin, V. V. Kovrizhnykh, V. V. Lavrekha, E. V. Zemlyanskaya // Int J Mol Sci. MDPI. – 2022. – Vol. 23, No. 4. doi:10.3390/ijms23042228

## НАТИВНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФОСФОРИЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В МИТОХОНДРИЯХ РАСТЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ЖИЗНЕННОЙ СТРАТЕГИЕЙ

**И. В. Уколова, Г. Б. Боровский**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*irina@sifibr.irk.ru*

Надмолекулярная организация системы окислительного фосфорилирования (ОКСФОС) митохондрий активно изучается в различных эукариотах. Выделены и структурно охарактеризованы основные суперкомплексы ОКСФОС, наличие и содержание которых варьирует в зависимости от организма и вида. Однако связь особенностей организации системы с биологическими характеристиками изученных объектов мало исследована. С этой целью, на примере митохондрий растений при помощи BN-PAGE, анализа активности ферментов ОКСФОС в геле и денситометрии изучена организация фосфорилирующей системы в органеллах видов с различной жизненной стратегией. В работе использовали этиолированные побеги озимой пшеницы, кукурузы и гороха. В результате исследований обнаружено существенное сходство в составе и архитектуре их фосфорилирующих систем. Представленные виды имели схожий набор компонентов ОКСФОС, а также близкие соотношения мажорных суперкомплексов SC<sub>2</sub> и SC<sub>6</sub>, приближающиеся к значению 1:3. Эти факты указывают на сходство их архитектуры *in vivo*. В то же время наши данные выявили и специфичные черты в организации и активности компонентов ОКСФОС трех видов. Так, система ОКСФОС морозоустойчивой озимой пшеницы отличалась присутствием высокоустойчивых базовых респирасом I<sub>1</sub>III<sub>2</sub>IVa/b, а также высокой активностью комплекса I, что, вероятно, позволяет ей эффективно адаптироваться и функционировать в условиях холодового стресса. Кукуруза, теплолюбивое растение C<sub>4</sub>-типа, характеризовалась наличием высокостабильных димеров IV<sub>2</sub> и V<sub>2</sub>, менее активного, чем у озимой пшеницы и гороха, комплекса I, и более активных НАД(Ф)Н-дегидрогеназ. Эти особенности могут обеспечивать эффективные хлоропластно-митохондриальные взаимодействия, которые необходимы для успешного протекания высокоэффективного фотосинтеза, характерного для этого растения. Система ОКСФОС азотфиксирующего гороха, имеет более стабильные в сравнении со злаками высокомолекулярные респирасомы, что, предположительно, отражает ее более сложную и упорядоченную организацию *in vivo*. Высокоактивные АТФ-синтаза и цитохром *c* оксидаза, высокостабильная сукцинатдегидрогеназа, а также более сопряженное дыхание указывают на высокую активность и эффективность энергетического метаболизма в митохондриях побегов этого растения. Выявленные видовые особенности в организации, стабильности и активности компонентов ОКСФОС, по-видимому, имеют важное значение для реализации жизненной стратегии каждого вида и могут обеспечиваться как липидным окружением, так и видоспецифичной конформацией ферментов ОКСФОС и их ассоциаций *in vivo*, что позволят выяснить дальнейшие биохимические и структурные исследования.

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 14-04-01233а.*

## ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АКЦЕПТОРНЫХ ЦЕНТРОВ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ ХЛОПЧАТНИКА

**Х. Н. Хамидов, М. М. Якубова, Х. Юлдошев**

ТНУ, Душанбе, Таджикистан

homidov-h@mail.ru

Известно из научных источников, воздействие или частичное удаление центров продуцирования (т. е. точки прорастания и побега) приводит к снижению скорости фотосинтеза и усилению эффекта Варбурга. В связи с этим представлялось важным изучить образование продуктов фотосинтеза в процессе углеводного обмена, чтобы выявить изменения в направлении углеводного обмена.

У исследованных сортов частичное удаление коробочек приводит к снижению количества восстановительных углеводов (глюкозы и фруктозы) и дисахарида сахарозы. Снижение количества растворимых углеводов в зависимости от особенностей изучаемых генотипов хлопчатника, как правило, различаются. Согласно данным литературы (Пинхасов, 1981; Шабашвили, 1989; Чиков, 1988) изменение направления продуктов фотосинтеза из листа является одним из защитных признаков растения на уровне фотосинтетического аппарата, поскольку предотвращает ингибирование фотосинтетического аппарата от редукции продуктами метаболизма. Принимая во внимание имеющиеся данные, можно отметить, что хлопчатник сорта Гиссар обладает защитным метаболическим механизмом и проявляет стабильность.

Нами показано, что эффект обрезки культур отражается на скорости фотосинтеза и количестве крахмала в листьях проростков хлопчатника разных генотипов.

В частности, результаты опытов позволяют заключить, что приспособленность фотосинтетического аппарата у растения хлопчатника зависит от ускорения переориентации продуктов фотосинтеза на другие центры продуктов и органов. Выявлено, что уменьшение объема акцепторных центров (точки прорастания и побега) одинаково влияет на обмен  $\text{CO}_2$  в листьях различных сортов хлопчатника. Изменения хода при движении продуктов из листа и защитные реакции зависят от изменения донорно-акцепторных отношений процессов фотосинтеза и дыхания у различных сортов хлопчатника и связаны с различиями генотипов.

На основании исследований и анализов можно сделать вывод, что выявлены генотипы хлопчатника с высокой способностью биохимических механизмов адаптации, с высоким уровнем существования донорно-акцепторных отношений, обладающих свойствами, имеющими практическое значение. Учитывая полученные результаты, можно рекомендовать селекционерам при создании продуктивных и устойчивых сортов хлопчатника принимать во внимание особенности донорно-акцепторных механизмов. Полученные результаты могут быть использованы в селекции для создания устойчивых и продуктивных сортов хлопчатника биотехнологическим методом.

## ВЛИЯНИЕ ПОЛИАМИНОВ И ИНДОЛА НА ЭКСПРЕССИЮ ФАКТОРОВ ГИБЕРНАЦИИ РИБОСОМ У *ESCHERICHIA COLI* НА ТРАНСЛЯЦИОННОМ УРОВНЕ

**Е. А. Хаова, А. Г. Ткаченко**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия  
akkuzina-elena510@mail.ru

Полиамины и индол – нормальные продукты метаболизма *Escherichia coli*, участвующие в адаптации к стрессу, в том числе посредством модуляции генной экспрессии. Ранее нами изучено роль данных соединений в регуляции транскрипции факторов гibernации рибосом, ответственных за обратимое ингибирование рибосомальных функций с целью сохранения ресурсов клетки в условиях стресса. Полиамины стимулировали экспрессию всех изученных факторов, тогда как индол оказывал положительный эффект на транскрипцию только двух генов гibernации, *raiA* и *rmf*. В данной работе нами исследовано влияние индола на экспрессию этих генов на трансляционном уровне, а также эффект полиаминов путресцина, кадаверина и спермидина в различных концентрациях на экспрессию генов гibernации рибосом *rmf*, *raiA*, *sra*, *ettA* и *rsfS* на трансляционном уровне.

Объекты исследования – штаммы, несущие соответствующие трансляционные репортерные *lacZ*-слияния, сконструированные нами на основе *E. coli* BW25141. Клетки культивировали на минимальной среде M9 (+0,4% глюкоза) при 37°C с перемешиванием при 120 об/мин. Предсказание вторичных структур мРНК осуществляли с помощью программ RNAfold, vsfold и UNAFold.

Выделяют несколько признаков в структуре мРНК полиамин-зависимых генов: (1) минорный старт-кодон, (2) наличие вторичной (bulged-out) структуры и (3) необычно большое расстояние между старт-кодоном и последовательностью Шайна-Дальгарно. Согласно проведенному нами анализу структур мРНК, *ettA* и *rsfS* имеют признак (1), *rmf* – (2) и (3), а *raiA* и *sra* – (2). Показано, что полиамины не оказывали влияния на экспрессию *ettA* и *rsfS*. Трансляцию *rmf* значительно стимулировали путресцин и кадаверин, а спермидин ингибировал. Экспрессию *raiA* положительно модулировали путресцин и кадаверин, в то время как спермидин не вызывал эффекта. Уровень трансляции *sra* существенно повышал кадаверин, тогда как путресцин и спермидин влияния не оказывали. Стимулирующий эффект был специфичен для типа полиаминов и во всех случаях наблюдался в стационарной фазе, когда клетки испытывают множественное стрессорное воздействие. Индол же статистически достоверно ингибировал экспрессию генов *raiA* и *rmf* на трансляционном уровне, несмотря на стимулирующий эффект на уровне транскрипции, что может указывать на существование посттранскрипционного механизма регуляции их генной экспрессии.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Хаова Е. А. Регуляторный эффект полиаминов и индола на экспрессию генов адаптации к стрессу у *Escherichia coli* / Е. А. Хаова, Н. М. Кашеварова, А. Г. Ткаченко // Acta Biomedica Scientifica. – 2022. – Vol. 7, № 3. – С. 150–161. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.16

Khaova E. A. The influence of polyamines on the expression of *Escherichia coli* ribosome hibernation factor RaiA / E. A. Khaova, A. G. Tkachenko // Bio Web of Conferences. – 2023. – Vol. 57. – P. 02001. doi: 10.1051/bioconf/20235702001



## ВЛИЯНИЕ ЦИНКА В РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРЧИЦЫ САРЕПТСКОЙ

**Е. С. Холопцева, Ю. В. Батова, Н. М. Казнина**

ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*holoptseva@krc.karelia.ru*

Горчицу сарептскую (*Brassica juncea* (L.) Czern.) считают одним из перспективных видов для использования в целях фиторемедиации почв, загрязненных цинком. Показано, что растения этого вида способны произрастать на почвах с высоким содержанием этого металла и накапливать его в побегах в довольно больших количествах. Однако данные о реакции горчицы сарептской на избыток цинка весьма противоречивы, а информации о влиянии металла на физиологические процессы у растений этого вида крайне мало. Исходя из этого, целью работы явилось изучение влияния разных концентраций цинка на фотосинтетический аппарат, рост и продуктивность горчицы.

Растения горчицы сарептской сорта Славянка выращивали в течение 30 сут. в контролируемых условиях среды при температуре 22°C, относительной влажности воздуха 60–70 %, ФАР 200 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с), 14-часовом фотопериоде в сосудах с песком (объем 800 г). Сульфат цинка в концентрациях (по элементу) 5 (контроль), 15, 30 и 45 мг/кг субстрата добавляли перед посевом, предварительно растворив в 100 мл дистиллированной воды. Полив растений осуществляли питательным раствором Хогланда-Арнона, не содержащим цинка.

Обнаружено, что фотосинтетический аппарат (ФСА) растений горчицы достаточно устойчив к избытку цинка. Снижение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла *b* и каротиноидов), уменьшение устьичной проводимости и замедление скорости фотосинтеза наблюдалось лишь при воздействии металла в концентрации 45 мг/кг субстрата. Более низкие концентрации цинка или не влияли на изученные показатели ФСА, или даже оказывали стимулирующий эффект. В отличие от этого на показатели роста и продуктивности растений цинк оказывал сильное ингибирующее действие. В частности, при всех изученных концентрациях замедлялся линейный рост корня и побега, причем в большей степени тормозился рост побега. Использование металла в концентрациях 30 и 45 мг/кг субстрата помимо этого приводило к уменьшению (по сравнению с контролем) площади листовой поверхности и заметному снижению сырой и сухой биомассы корня и побега.

На основании проведенного исследования сделан вывод о том, что фотосинтетический аппарат растений горчицы сарептской оказался устойчив к избытку цинка в корнеобитаемой среде, тогда как негативное влияние металла в большей степени проявлялось в снижении показателей их роста и продуктивности.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания FMEN-2022-0004.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Казнина Н. М. Влияние цинка на физиологические показатели и продуктивность горчицы сарептской / Н. М. Казнина, Ю. В. Батова, Е. С. Холопцева // Агрохимия. – 2022. – № 12. – С. 62–62. doi: 10.31857/S0002188122120067

## ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ АЛАРМОН СИНТЕТАЗ МИКОБАКТЕРИЙ НА УРОВНИ ПОЛИФОСФАТОВ В ПРИСУТСТВИИ АНТИБИОТИКОВ

**И. В. Цыганов, А. Г. Ткаченко**

ИЭГМ УрО РАН, ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

*zamegagurrendan@gmail.com*

Полифосфаты (PolyP) – это биогенные полимеры, состоящие из множества остатков ортофосфорной кислоты, соединенных между собой фосфоангидридными связями. Полифосфаты участвуют во многих процессах жизнедеятельности бактерий, от запасания энергии до персистенции и биопленкообразования. Поэтому ферменты, ответственные за синтез PolyP, а также регуляторы их уровня у бактерий рассматриваются как перспективные мишени для разработки новых антибиотиков. Одним из таких регуляторов является алармон гуанозин тетрафосфат (p)ppGpp, за регуляцию концентрации которого в клетках микобактерий ответственны два фермента, большая алармон синтетаза/гидролаза Rel<sub>Msm</sub> и малая синтетаза RelZ.

Целью исследования является изучение динамики уровня полифосфатов в штаммах *Mycobacterium smegmatis* mc<sup>2</sup> 155 в зависимости от сублетальных концентраций антибиотиков, действующих на различных стадиях роста.

Установлено, что мутант с делецией гена *rel<sub>Msm</sub>* демонстрирует повышенные уровни полифосфатов в клетках на протяжении логарифмической и стационарной фазы роста по сравнению с родительским штаммом. Эти результаты можно интерпретировать тем, что Rel<sub>Msm</sub>, наряду с синтетической, обладает также гидролитической активностью по отношению к (p)ppGpp. В отличие от этого, штамм с двойной делецией генов *rel<sub>Msm</sub>* и *relZ* характеризуется снижением количества полифосфатов относительно контроля на 20–50 % в зависимости от фазы роста, не достигая нулевых значений. Это, по-видимому, связано с тем, что (p)ppGpp не способен регулировать активность полифосфаткиназы PPK1, основного фермента синтеза полифосфатов, а подавляет активность экзополифосфатаз, осуществляющих их гидролиз. С меньшей вероятностью это также может быть обусловлено функцией альтернативных ферментов, ответственных за синтез (p)ppGpp. При исследовании влияния антибиотиков стрептомицина, рифампицина, а также препарата DMNP, мишенью которого являются Rel<sub>Msm</sub> и RelZ, нами установлено, что штаммы с делециями генов алармон синтетаз демонстрировали повышенную чувствительность к антибиотикам, а стрептомицин и рифампицин сильнее снижали концентрацию полифосфатов, чем DMNP. В штамме с двойной делецией генов при максимальной концентрации DMNP, уровень PolyP не отличался от контроля, демонстрируя, что DMNP оказывает влияние на функции только известных алармон синтетаз, не подавляя полностью синтез PolyP. Эффект рифампицина и стрептомицина, эффективных в логарифмической фазе, препятствовал накоплению полифосфатов до высокого уровня в стационарной фазе. Однако уровень PolyP к концу стационарной фазы при активности всех алармон синтетаз все же возрастал до контрольных значений.

Таким образом, в ходе исследования показано, что DMNP подавляет активность известных алармон синтетаз, не проявляя активности в отношении других ферментов, регулирующих количество полифосфатов и обеспечивающих высокую концентрацию данных молекул при стрессе, вызванном антибиотиками.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (АААА-А19-119112290009-1).*

**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОРНЕЙ  
ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ *NICOTIANA TABACUM*, НЕСУЩИХ  
*ROL*-ГЕНЫ ШТАММА 15834 *AGROBACTERIUM RHIZOGENES*****Д. Ю. Швец, З. А. Бережнева, Х. Г. Мусин, Г. Р. Гиниятуллина, Б. Р. Кулуев**ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия  
shvetsdasha99@yandex.ru

*Agrobacterium rhizogenes* – граммотрицательная почвенная бактерия, содержащая в своем геноме *rol*-гены (*A*, *B*, *C*, *D*), так называемые гены «корневого локуса», которые на месте инфицирования у высших растений способствуют образованию волосовидных корней. Существуют также природно-трансгенные растения рода *Nicotiana*, *Linaria*, *Ipomoea*, сохранившие в своем геноме последовательности, гомологичные генам *Agrobacterium* spp. Имеются сведения, что *rol*-гены влияют на биосинтез вторичных метаболитов, гормональный баланс, а также запускают защитные механизмы растений в ответ на синтез АФК. Однако остается малоизученным, как влияет на рост и стрессоустойчивость растений встраивание в геном *rol*-генов из разных штаммов агробактерий. Исходя из этого, целью нашей работы была физиолого-биохимическая характеристика и анализ антиоксидантной системы корней трансгенных растений *Nicotiana tabacum*, несущих *rol*-гены штамма 15834 *A. rhizogenes*.

В работе использовали 2 линии трансгенных растений *N. tabacum* сорта Petit Havana линии SR1, трансформированных T-ДНК штамма 15834 *A. rhizogenes*. Предварительно, семена высевали на среду Мурасиге-Скуга (МС) и выращивали в камерах роста Binder (Германия) при температуре +25°C, освещенности около 140 мкмоль/(м<sup>2</sup>с) и фотопериоде 16/8 ч (свет/темнота) (нормальные условия). 10-дневные проростки с одинаковыми размерами корней пересаживали на вертикально-ориентированные чашки Петри со средой МС, спустя 10 дней измеряли прирост корней при норме (контроль), действии засоления (50 мМ и 100 мМ NaCl), гипотермии (+12°C) и кадмия (100, 200 и 400 мкМ CdAc). Затем проводили анализ антиоксидантной системы корней в норме и при действии засоления (50 мМ NaCl) – определяли активность ферментов супероксиддисмутаза, гваяколпероксидаза, аскорбатпероксидаза, каталаза, глутатион-S-трансфераза, содержание водорастворимых сахаров, окисленного и восстановленного глутатиона, малонового диальдегида, пролина, общего растворимого белка и оценивали общую антиоксидантную способность.

В результате нашей работы обнаружено, что экспрессия *rol*-генов штамма 15834 оказывает позитивное влияние на рост корней табака при нормальных условиях и при действии засоления и кадмия. В результате биохимического анализа антиоксидантной системы трансгенных линий табака определили, что в корнях этих растений происходит увеличение содержания общего белка, пролина, водорастворимых сахаров, а также восстановленного и окисленного глутатиона и уменьшение общей антиоксидантной способности, малонового диальдегида, активностей аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы. Таким образом, показано, что экспрессия *rol*-генов штамма 15 834 оказывает позитивное действие на стрессоустойчивость, в том числе, через влияние на компоненты антиоксидантной системы корней.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ В ПОПУЛЯЦИЯХ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

**Е. М. Шестерикова<sup>1</sup>, С. В. Битаршвили<sup>1</sup>, А. А. Празян<sup>1</sup>, П. Ю. Волкова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

<sup>2</sup> Независимый исследователь, Гел, Бельгия

*EShesterikova89@gmail.com*

Существующие принципы нормирования радиационного воздействия на растения не учитывают специфический адаптивный ответ популяций разных видов хозяйственно ценных дикорастущих растений. При этом для обоснования новых принципов экологического нормирования необходимы сведения об экологических и эволюционных последствиях хронического облучения популяций растений в дозах, встречающихся в современной биосфере. Анализ транскрипционной активности генов позволяет выявить возможные кандидатные молекулы устойчивости к хроническому облучению у дикорастущих популяций Чернобыльской зоны отчуждения и вносит вклад в изучение особенностей молекулярных путей ответа на длительный стресс. В данной работе в рамках полевого исследования была проанализирована транскрипционная активность генов, продукты которых, связаны с работой антиоксидантной системы (*APX1*, *GPX21*), с трансдукцией сигналов (*RBOH-F*, *SnRK2.4*), с процессами фотосинтеза (*CAB1*), транспортом пероксида водорода, а также водным обменом (*TIP1*, *PIP1*) и синтезом гистонов и шаперонов (*H2A*, *CPN60A*, *CPN20*) трех немодельных видов дикорастущих растений, принадлежащих к разным семействам: клевер ползучий (*Trifolium repens* L.), чистотел большой (*Chelidonium majus* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.). Отбор пула ткани листьев проводили на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГЭРЗ) Гомельской области Республики Беларусь на пяти участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения 2 контрольных участков: Ломыш и Бабчин (0,29 мкЗв/ч) и радиоактивно загрязненные участки: Кулажин (6,22 мкЗв/ч), Масаны (3 мкЗв/ч) и Радин (3,36 мкЗв/ч). Для анализа экспрессии гомологов кандидатных генов выделяли тотальную РНК методом фенол-хлороформной экстракции. После экстракции проводили синтез первой цепи кДНК. Полученную кДНК использовали как матрицу для реакции ПЦР в реальном времени. Количественное изменение уровней экспрессии генов оценивали относительно контрольных образцов методом прямого сравнения графиков накопления кДНК (Cp). Для расчетов изменения экспрессии генов (RQ) опирались на модель  $\Delta\Delta C_p$ .

Результаты оценки дифференциальной экспрессии гомологов генов показали активность работы всех исследуемых систем, что свидетельствует о влиянии хронического радиационного воздействия на транскрипционную активность изученных генов и помогает выявить генетические детерминанты формирования устойчивости к радиационному воздействию. Таким образом, полученные результаты могут и описать возможные микроэволюционные закономерности, приводящие к закреплению этих детерминант в популяциях. Однако, анализ полученных результатов позволяет заключить, что для трех разных видов дикорастущих травянистых растений характерен разный транскрипционный ответ гомологов одних и тех же генов на хроническое радиационное воздействие. Одной из рабочих гипотез, объясняющих подобный эффект, является разная плоидность изучаемых растений.

## АЛЛЕЛЬНЫЙ СОСТАВ ГЕНОВ *VRN-1* У РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

**Р. А. Юлдашев<sup>1</sup>, А. М. Авальбаев<sup>1</sup>, Ч. Р. Аллагулова<sup>1</sup>, А. А. Плотников<sup>1</sup>,  
И. И. Сафина<sup>1</sup>, Н. А. Герасимов<sup>1</sup>, О. В. Ласточкина<sup>1</sup>, А. А. Галимова<sup>1</sup>,  
Б. Р. Кулуев<sup>1</sup>, И. К. Каримов<sup>2</sup>, К. Р. Исмагилов<sup>2</sup>, А. Х. Шакирзянов<sup>2</sup>,  
А. М. Дмитриев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup> Башкирский НИИСХ, Уфа, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО БашГАУ, Уфа, Россия

yuldashevra@gmail.com

Засуха относится к распространенным повреждающим факторам среды, значительно ограничивающим рост и продуктивность культурных растений. В разных частях России время наступления засухи может различаться. Для Западной Сибири характерна весенняя и раннелетняя засуха, поражающая растения в начальные этапы вегетации. На юго-востоке европейской части России, засуха наблюдается позднее, в фазах трубкования и формирования зерна пшеницы. В ходе естественного и искусственного отборов в зависимости от времени наступления засухи у яровой мягкой пшеницы сформировались две различающиеся по стратегии адаптации к засухе группы – лесостепной западносибирский и степной волжский экотипы.

Растения лесостепного западносибирского экотипа отличаются замедленным ростом на начальных этапах онтогенеза. Обильные в Западной Сибири летние дожди, наступающие к моменту начала фазы трубкования, хорошо используются растениями этого экотипа для последующего быстрого роста и развития. Для лесостепного западносибирского экотипа характерны среднепоздние сорта яровой мягкой пшеницы.

Для растений степного волжского экотипа характерен активный рост и засухоустойчивость на начальных стадиях онтогенеза с тем, чтобы максимально использовать весенние запасы почвенной влаги. К моменту наступления летней засухи к началу фазы трубкования растения этого экотипа образуют хорошо разветвленную сеть корней, что способствует формированию хорошего урожая в этих условиях. Степной волжский экотип представлен, в основном, среднеспелыми сортами.

Известно, что особенности жизненного цикла мягкой пшеницы контролируются, в том числе и генами *VRN*, отвечающими за потребность растений в ризовизации. В настоящее время *VRN*-гены рассматриваются как одна из основных генетических систем, связанных с адаптацией растений к условиям произрастания конкретной климатической зоны, и активно изучаются. В связи с этим нами был исследован аллельный состав генов *VRN-1* у сортов, представляющих экотипы, различающиеся по стратегии адаптации к засухе.

С помощью аллель-специфичных праймеров нами выявлено, что сорта западносибирского экотипа Омская 35 и Зауральская Жемчужина имеют гаплотип *Vrn-A1a/vrn-B1/vrn-D1*, в то время как сорта степного волжского экотипа Экада 70 и Экада 109 имеют гаплотип *Vrn-A1a/Vrn-B1c/vrn-D1*. Таким образом, основное различие между исследованными сортами наблюдалось в аллельном составе гена *Vrn-B1*. Полученные результаты могут указывать на связь аллельного состава генов *VRN-1* с формированием засухоустойчивости растений яровой мягкой пшеницы.

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

## ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ

**М. М. Якубова, З. М. Хамрабаева, М. С. Содикзода**

ТНУ, Душанбе, Таджикистан  
zuhrah62@mail.ru

Сельскохозяйственные растения в агроценозах находятся под воздействием стрессовых факторов внешней среды, что отрицательно сказывается на их росте и продуктивности. Одним из подходов к повышению продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур является применение комплексных соединений, положительно влияющих на рост и развитие, физиолого-биохимические процессы, адаптацию и получение качественного урожая. Многолетние исследования комплексных соединений позволили ученым рекомендовать их для использования в хлопководстве, виноградарстве, цитрусоводстве и других отраслях в Республике Таджикистан в качестве активаторов роста, микроудобрений, кормовых добавок. С этой точки зрения важно изучение механизмов устойчивости сортов пшеницы, так как при использовании комплексных соединений можно получить хороший урожай на небольшой площади посевов в стрессовых условиях. В последние годы вопросы адаптации живых организмов к окружающей среде, обеспечения безопасности продуктов питания, изменения климата привлекают внимание ученых различных областей биологии. В связи с этим представлялось важным выявить влияние засухи на биохимические процессы, ответственные за устойчивость различных сортов пшеницы к стрессовым факторам.

Была применена предпосевная обработка семян координационными соединениями, которые были предоставлены доктором химических наук, профессором химического факультета ТНУ М. М. Рахимовой В качестве объектов использованы три сорта мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L.: Ориён, Старшина, Алмалы, которые были получены из Центра инновационной биологии и медицины НАНТ. Опыты проведены в вегетационных сосудах на участке кафедры биохимии биологического факультета ТНУ.

Сравнительный анализ физиолого-биохимических показателей пшеницы выявил, что в стрессовых условиях засухи отечественный сорт Ориён является более устойчивым по сравнению с другими сортами. Предпосевная обработка семян 0,05%-ным раствором гетероядерного комплексного соединения  $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}\text{Zn}^{\text{II}}\text{As}$  1:1:2 оказала положительный эффект на ряд морфофизиологических показателей сортов, содержание фотосинтетических пигментов, водный обмен, продуктивность и на содержание белка в составе семян у сортов пшеницы в условиях почвенной засухи в онтогенезе.

Полученные результаты позволяют заключить, что предпосевная обработка семян указанным раствором  $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}\text{Zn}^{\text{II}}\text{As}$  1:1:2 может быть использована в качестве биостимулятора и активатора биохимических процессов в растениях и может служить эффективным соединением, повышающим адаптивные механизмы к воздействию стрессового фактора.

## **DENDROGENOMICS – A NEW INTERDISCIPLINARY FIELD TO STUDY GENETIC ADAPTATION TO BIOTIC AND ABIOTIC STRESSES**

**K. V. Krutovsky**

Department of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany

Laboratory of Population Genetics, N. I. Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Department of Genomics and Bioinformatics, Laboratory of Forest Genomics, Genome Research and Education Center, Institute of Fundamental Biology and Biotechnology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Scientific and Methodological Center, G. F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

*kkrutovsky@gmail.com*

Dendrogenomics is a new interdisciplinary field of research that integrates dendrochronology, dendroecology, dendroclimatology, genetics and genomics. This novel approach allows joint analyses of dendrological and genomic data and opens new ways to study temporal dynamics of forest treelines, to delineate spatial and temporal population structure and, most of all, to study individual response of trees to the abiotic and biotic stresses and to evaluate the adaptive genetic potential of forest tree populations. These data are much needed especially for accurate prediction of climate change effects and for mitigation of their negative effects.

## **ДЕНДРОГЕНОМИКА – НОВАЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ОБЛАСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ К БИОТИЧЕСКИМ И АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ**

**К. В. Крутовский**

Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия

СФУ, Красноярск, Россия

ИОГен РАН, Москва, Россия

ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», Воронеж, Россия

*kkrutovsky@gmail.com*

Дендрогеномика – новая междисциплинарная область исследований, интегрирующая дендрохронологию, дендроэкологию, дендроклиматологию, генетику и геномику. Этот новый подход позволяет проводить совместный анализ дендрологических и геномных данных и открывает новые пути для изучения временной динамики границ леса, определения пространственной и временной структуры популяций и, прежде всего, изучения индивидуальной реакции деревьев на абиотические и биотические стрессы и оценки адаптивного генетического потенциала лесных популяций. Эти данные крайне необходимы, особенно для точного прогнозирования последствий изменения климата и смягчения их негативных последствий.



СЕКЦИЯ 2

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ,  
СТРУКТУРА  
И ДИНАМИКА  
РАСТИТЕЛЬНОСТИ**



**СОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ  
У *D. ARNOLDII* И *D. BAICALENSIS* В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД****У. А. Васильева<sup>1,2</sup>, К. А. Кириченко<sup>2</sup>, М. А. Тимофеев<sup>1</sup>, О. И. Грабельных<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия<sup>2</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

uliana.andreevna.vasilyeva@gmail.com

Водоросли являются важнейшим компонентом водных экосистем, в качестве первопроductентов они поставляют вещество и энергию в экосистему водоемов. Также, выступая в качестве одного из средообразующих природных компонентов, они взаимодействуют со многими видами, обитающими в водной среде. Эндемичные макроводоросли рода *Draparnaldioides* sp являются основной водорослью третьего растительного пояса и захватывают глубины от 2,5 до 12–25 м. Все растительные и животные организмы оз. Байкал обитают в условиях невысоких температур, малого количества органических веществ, низкой минерализации и высокого содержания кислорода (до 14 мг/л). Высокое содержание кислорода и прозрачность воды оз. Байкал в той или иной мере должны отражаться на процессах защиты водоросли от активных форм кислорода (АФК) и на активности фотосинтетического аппарата, особенно при изменении температурного режима. В литературе отсутствуют какие-либо сведения по физиологии и биохимии макроводоросли рода *Draparnaldioides* sp. В связи с этим целью работы было оценить содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) у видов *D. arnoldii* и *D. baicalensis*. в летне-осеннем вегетационном периоде.

Отбор проб проводили на побережье оз. Байкал, в пос. Большое Голоустное по координатам 52.024261° 105.429206, с 10.07 по 20.09.22. Активность ПОЛ оценивали по накоплению продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-РП). Выявлено, что в начальной точке отбора (10.07) содержание ТБК-РП у двух видов макроводоросли практически не отличается, но по-разному изменяется на протяжении всего периода пробоотбора. Содержание ТБК-РП у *D. baicalensis* по сравнению с *D. arnoldii* ниже в течение основного периода, наблюдается его недостоверное увеличение 16.07. и 23.07, а затем в конце сентября становится достоверно выше, чем у *D. arnoldii*. Изменения в содержании ТБК-РП у каждого вида по отдельности в разные точки пробоотбора статистически значимы ( $P = <0,001$ ). Обращает на себя внимание существенное возрастание ТБК-РП у *D. arnoldii* в августе и сентябре. При этом обнаруженное нами снижение содержания продуктов ПОЛ 23.07. согласуется со снижением содержания в это время фотосинтетических пигментов и, вероятно, является следствием фотоингибирования.

Полученные результаты свидетельствуют, что у обоих видов макроводоросли активация процессов ПОЛ идет по-разному, сниженное содержание ТБК-РП у *D. baicalensis* возможно связано с процессами деградации ненасыщенных жирных кислот или с невысокой активностью данного процесса за счет общего ингибирования метаболических процессов при повышении температуры воды и освещенности.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Взаимосвязь метаболизма жирных кислот и перекисного окисления липидов у двух видов байкальской эндемичной водоросли *Draparnaldioides* / У. А. Васильева, К. А. Кириченко, М. А. Тимофеев, О. И. Грабельных // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. – 2023. – № 1. – С. 3–11. doi: 10.18101/2587-7143-2023-1-3-11

## ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА, РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ИЗУЧАЕМЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В СВЯЗИ С ПРОИЗРАСТАНИЕМ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ

**Т. В. Волошина, Е. М. Мачкаева**

ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова», Элиста, Россия  
*tat-vol.94@mail.ru*

Калмыкия является одним из самых засушливых регионов Европейской части России. Аридность климата определяет характер растительного покрова, его биоразнообразие. На данной территории могут произрастать растения, приспособившиеся к экстремальным условиям местообитания. Во флоре Калмыкии насчитывается около 100 видов лекарственных растений. Существует большое количество работ, посвященных ботаническому изучению флоры и растительности Калмыкии, но практически отсутствуют работы, связанные с изучением физиологических особенностей лекарственных растений, произрастающих в Республике. Из лекарственных растений Солодка голая (*Glycyrrhiza glabra* L.) является давно известным и широко применяемым лекарственным растением в медицине. Менее известна Гринделия растопыренная (*Grindelia squarrosa* L.). Она практически не изучена в условиях Калмыкии. Сведения о ее произрастании, функциональных особенностях представляют несомненный интерес и имеют важное значение. Поэтому целью работы явилось изучение в природных и лабораторных условиях водного статуса, ростовых процессов и продуктивности Солодки и Гринделии при произрастании в условиях Калмыкии. Исследования проводили на фазе цветения, так как именно на этой стадии онтогенеза растения синтезируют и накапливают максимальное количество биологически активных веществ.

Анализ водного режима Солодки и Гринделии показал, что у изучаемых лекарственных растений общее содержание воды при произрастании в условиях Калмыкии невысоко. В листьях содержится 59–66 %, в целом растении 55–61 %. Растения различались по величине общей оводненности листьев и целого растения. Более высокая оводненность характерна Гринделии как для листьев, так и целого растения по сравнению Солодкой. Установлено что интенсивность транспирации Солодки составляет 495 мг/г ч. У Гринделии потеря воды в процессе транспирации была значительно ниже (361 мг/г ч). Испаря меньше воды, данное лекарственное растение сохраняло более высокую общую оводненность листьев и целого растения. Для оценки продуктивности лекарственных растений при их произрастании в той или иной зоне, в разных климатических условиях важно изучение их ростовых процессов, определяющих формирование биомассы растения, т. е. продукционный процесс. Изучение роста в условиях Калмыкии показало, что Солодка в начале июля месяца имела высоту 55 см и в конце цветения достигала 63 см. Гринделия в этих условиях достигала высоты от 55 до 70 см. Значительно больший сырой и сухой вес имели растения Солодки голый за счет формирования мощной корневой системы, корневища.

Исследование эколого-физиологических особенностей важных видов лекарственных растений флоры Калмыкии необходимо для оценки их адаптивности, продуктивности и может служить теоретической основой для разработки и решения вопросов по сохранению их биоразнообразия.

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ БАССЕЙНА ОЗЕРА ИЛЬЧИР ЗА ПОСЛЕДНИЕ 6500 ЛЕТ

**Е. В. Волчатова, Е. В. Безрукова, С. А. Решетова, Е. В. Кербер**

ИГХ СО РАН, Иркутск, Россия

*volchatova@igc.irk.ru*

Фиторазнообразие региона тесно связано с его климатическим режимом. Понимание долгосрочных взаимосвязей между разнообразием растений и изменением климата потенциально может стать отправной точкой для будущих стратегий управления ландшафтом и сохранения биоразнообразия в регионе.

Объектом исследований является изменение таксономического альфа-разнообразия в голоцене в котловине озера Ильчир, которое находится на Окинском плато (Восточный Саян). Озеро располагается на высоте 1952 н. у. м.

Керн донных отложений озера был пробурен в 2013 г. Для исследования отложений озера применялись методы спорово-пыльцевого анализа, статистические и стратиграфические методы, а также метод радиоуглеродного анализа для датировки отложений. Для наглядности отображения статистического анализа построена диаграмма изменения видового состава в бассейне озера Ильчир за последние 6500 лет.

Визуально на кривой палинотаксономического разнообразия выделяются четыре этапа изменения видового разнообразия в котловине озера Ильчир. Более ранний этап, примерно 6500–5000 л. н., характеризуется постепенным снижением количества видов. На отметке 6500 лет в озере Ильчир наблюдается около 19 видов растений, к отметке в 5000 лет количество видов снижается до 14.

Согласно исследованиям динамики ледников юга Восточной Сибири, предполагается, что позднеплейстоценовые ледники могли полностью исчезнуть в среднем голоцене. Мы предполагаем, что снижение количества видового разнообразия в котловине озера Ильчир может быть связано с таянием ледников и последовавшим за ним изменением гидрологического режима, а также переувлажнением почвы.

В период времени примерно 5000–4000 л. н. линия тренда, выраженная полиномом третьего порядка, отражает период отсутствия резкого роста или снижения количества видов. Незначительные колебания с диапазоном в 500 лет могут быть вызваны перестроением гидрологического режима и изменениями температуры воздуха, так как климат в это время постепенно приобретал более аридный характер, а уровень солнечной инсоляции увеличивался. В промежуток времени 4000–1800 л. н. отмечается слабая тенденция к увеличению числа видов в котловине озера, что может свидетельствовать о стабилизации климатического и гидрологического режима, становлении аридного климата, благоприятно способствовавшего развитию определенных видов растений. После 1800 л. н. и к современности тенденция усиливается. За последние 1800 лет количество видов в котловине оз. Ильчир возрастает с 17 до 27. Согласно спорово-пыльцевому анализу донных отложений оз. Ильчир, основные колебания видового разнообразия происходят среди травянистой растительности, тогда как среди древесных и кустарниковых растений существенного изменения видового разнообразия не наблюдается.

В целом рассчитанное число видов на исследуемой территории выросло с 19 до 27. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что на протяжении 6500 лет в бассейне озера Ильчир не происходило резкой смены растительного покрова, растительность развивалась равномерно, фиторазнообразие к настоящему времени увеличилось.

## РАЗВИТИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ФОНЕ ВЛИЯНИЙ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

**В. И. Воронин, А. П. Сизых, В. А. Осколков, А. П. Гриценюк**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*vosk@sifibr.irk.ru*

Реакция растительности на воздействия природных и антропогенных факторов в последние десятилетия носит разнонаправленный характер на фоне изменчивости климата в Байкальской Сибири. Основными антропогенными факторами, влияющими на направленность формирования и развитие растительности в Байкальском регионе, следует считать многолетнее использование лесов в качестве лесосырьевой базы второй половины XX в. и обширные пожары конца прошлого, начала XXI столетия. Существенное влияние на растительность оказывает и промышленность региона с наличием крупных промышленных агломераций, таких как Иркутско-Черемховско-Шелеховский узел и г. Улан-Удэ, с развитой селитебной структурой побережий оз. Байкал, особенно в южной и средней частях Прибайкалья. На вырубках достаточно редко (в зависимости от природных условий произрастания) формируются леса по лесообразующим (кореным хвойным) породам деревьев, часто восстановление идет через развитие группировок, состоящих из мелколиственных пород – березы и осины. В последнем случае, становление коренных лесов затягивается на многие годы, в случаях периодических пожаров – на десятилетия. Особенно это характерно для лесов территорий, прилегающих к промышленным и селитебным территориям Прибайкалья и Забайкалья. На горях разных лет повсеместно формируются вторичные (мелколиственные) леса, особенно это характерно для горных территорий и верховий рек, притоков Байкала, что в свою очередь, сказывается на поемности водотоков и гидрорежимах Байкал в целом.

*Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта № 075-15-2020-787 на выполнение научного проекта по приоритетным направлениям научно-технического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Структура и тенденции формирования лесов юго-восточного побережья озера Байкал / В. И. Воронин, А. П. Сизых, А. П. Гриценюк, А. И. Шеховцов, В. И. Воронин // География и природные ресурсы. – 2019. – № 5. – С. 33–37.

Воронин В. И. Почвенно-геоботаническое профилирование как метод индикации развития растительности Байкальского региона / В. И. Воронин, А. П. Сизых, В. А. Осколков // География и природные ресурсы. – 2022. – № 3. – С. 77–86.

Воронин В. И. Структурно-динамическая организация лесов бассейна озера Байкал / В. И. Воронин, А. П. Сизых, В. А. Осколков // География и природные ресурсы. – 2023. – № 1. – С. 58–66.

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ВЕСЕННИКА *ERANTHIS* В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА)****Н. С. Гамова**<sup>1,2</sup><sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия<sup>2</sup> Байкальский государственный природный биосферный заповедник, Танхой, Россия  
bg\_natagamova@mail.ru

Популяции весенника *Eranthis* в Южном Прибайкалье вызывают интерес ботаников, поскольку местная форма отличается от типичного по морфологии *Eranthis sibirica* Nakai рядом признаков, в первую очередь – размерами и формой листовой пластинки. Выделение этих растений в самостоятельный вид *Eranthis tanhoensis* Erst, однако, оказалось несостоятельным, поскольку в исследовании с привлечением массового генетического материала различных популяций *Eranthis* из Южной Сибири было показано, что форма с Хамар-Дабана, несмотря на морфологические отличия, генетически не обособляется от общего разнообразия *Eranthis sibirica*.

Целью данной работы было изучение особенностей жизненной стратегии хамардабанских популяций весенника на примере Байкальского заповедника. Для этого использован подход для расчетов вклада С-, R- и S- стратегий в StrateFu. В полевой сезон 2022 г. был отобран материал с шести площадок в лесном поясе и с одной площадки на субальпийском лугу. Для изучения использовались такие функциональные признаки, как удельная листовая поверхность, высота растений (оба – по отдельности для вегетативных и генеративных особей) и масса семян. Также было подсчитано число плодолистиков в завязавшихся плодах.

Анализ показателей удельной листовой поверхности выявил, что наибольший вклад в жизненную стратегию как вегетативных, так и генеративных особей вносит R- стратегия («рудеральная»); С-стратегия («конкурентная») занимает второе место, а вклад S-стратегии («стресс-толерантная») минимален и в ряде случаев равен нулю. Тяготение к рудеральной стратегии нередко встречается у представителей группы весенних эфемероидов, и весенник не стал исключением. Также при статистической обработке результатов (с использованием программной среды R) было показано, что показатели удельной листовой поверхности значимо различаются между вегетативными и генеративными особями в пределах одной площадки, и это различие сохраняется для всех обследованных площадок.

Сравнение высоты растений выявило значительную разницу между генеративными особями лесных площадок по сравнению с субальпийским лугом, где растения в среднем выше в 1,5 раза. Также на всех площадках значимо различались высоты вегетативных и генеративных особей (последние вдвое выше). Среднее число плодолистиков на одну особь составило 3–4, без значимых различий между площадками (при минимуме 0 и максимуме 9). Масса 50 семян заметно изменялась между площадками (от 0,099 г. до 0,285 г.); закономерности этого пока не выявлены.

На полевой сезон 2023 г. запланированы дополнительные исследования растений с субальпийских лугов для возможности сравнения особей «лесной» и «субальпийской» групп на более обширном материале.

*Обработка материалов в МГУ им. М. В. Ломоносова выполнена в рамках НИР «Таксономическое разнообразие региональных флор России и сопредельных государств. Научная обработка коллекций Гербария МГУ как основа изучения региональных флор» (121032500090-7). Полевые исследования проведены в рамках Гос. задания Байкальского заповедника.*

## ДИНАМИКА НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ СОСНЯКАХ

**И. А. Гончарова**<sup>1,2</sup>, **Л. Н. Скрипальщикова**<sup>1</sup>, **А. П. Барченков**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИЛ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> КГАУК «ККМ», Красноярск, Россия

iaoncharova007@mail.ru

Антропогенное воздействие на лесные фитоценозы существенно влияет на все ярусы лесной растительности, особенно уязвим живой напочвенный покров, что обуславливает необходимость мониторинга его состояния. Исследования проведены по общепринятым методикам в сосняке разнотравно-осочково-зеленомошном в период 2017–2022 гг. В 2017 г. фитоценоз являлся ненарушенным и характеризовался естественной растительностью (индекс синантропизации равен 0, тропиночная сеть не развита).

В 2018 г. в непосредственной близости от сосняка началось активное ведение коттеджного строительства, в связи с чем антропогенное влияние на сосновый фитоценоз резко усилилось. За год, прошедший с предыдущего исследования, увеличилась площадь тропиночной сети на 10 %, сократилось проективное покрытие травяно-кустарничкового (с 80 до 70 %) и мохово-лишайникового яруса (с 20 до 5 %) ( $p < 0,05$ ). Сократили свое проективное покрытие виды, малоустойчивые к вытаптыванию: *Vicia unijuga*, *Polygonatum odoratum*, тогда как проективное покрытие видов, относительно устойчивых к уплотнению почвы (*Thalictrum foetidum*, *Calamagrostis arundinacea*) увеличилось ( $p < 0,05$ ). Индекс синантропизации в фитоценозе за год увеличился с 0 до 4 %, что говорит о внедрении синантропных видов. Все вышеизложенное свидетельствует о резко возросшей за год рекреационной нагрузке. В период 2019–2021 гг. увеличилась площадь тропиночной сети на 5 %, сохранилась тенденция сокращения проективного покрытия травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов. Незначительно сократили свое проективное покрытие виды, малоустойчивые к вытаптыванию, тогда как проективное покрытие видов, относительно устойчивых к уплотнению почвы осталось на прежнем уровне. Индекс синантропизации за трехлетний период увеличился до 5 %. Все вышеизложенное позволяет говорить о том, что при постоянной достаточно высокой антропогенной нагрузке, фитоценоз проходил стадию адаптации. В 2022 г. было отмечено, что за год индекс синантропизации, проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового яруса не изменились, площадь тропиночной сети осталась на прежнем уровне, что свидетельствует о том, что, несмотря на достаточно высокую рекреационную нагрузку, фитоценоз в течение 5 лет пришел в стабильное состояние.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Гончарова И. А. Видовой состав и запасы фитомассы напочвенного покрова в антропогенно нарушенных сосняках Красноярской лесостепи / И. А. Гончарова, Л. Н. Скрипальщикова, А. П. Барченков // Растительные ресурсы. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 409–421. doi: 10.1134/S0033994619030087

Современное экологическое состояние компонентов сосновых экосистем Красноярской лесостепи / Л. Н. Скрипальщикова, А. П. Барченков, И. А. Гончарова, Т. В. Пономарева, А. С. Шушпанов, А. И. Татарищев // Лесоведение. – 2022. – № 1. – С. 61–71. doi: 10.31857/S0024114822010090

## АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫБРОСОВ КРУПНОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

**О. В. Калугина<sup>1</sup>, Л. В. Афанасьева<sup>2</sup>, Т. А. Михайлова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>ИОЭБ СО РАН, Улан-Удэ, Россия

*oignat32@inbox.ru*

Иркутская область, расположенная в зоне бореальных лесов, обладает уникальными лесными ресурсами, из которых 80 % – хвойные насаждения. Их состояние зависит от целого ряда факторов, включая хроническое воздействие техногенного загрязнения, которое усиливается жесткими природными условиями. Нами были проведены исследования в сосновых лесах северной части региона, загрязняемых выбросами крупнейшего в стране и мире Братского алюминиевого завода (БрАЗ). Объем выбросов загрязняющих веществ этого завода в атмосферу достигает 76 тыс. т в год. Наиболее токсичными их компонентами (1–3 класс опасности) являются фторсодержащие соединения, а также оксиды серы, азота, ПАУ, твердый аэрозоль, в составе которого значительна доля алюминия, кремния и тяжелых металлов.

Цель данной работы – выявить анатомо-морфологические особенности хвои *Pinus sylvestris* L. при разных уровнях ее загрязнения эмиссиями БрАЗа. Актуальность исследования заключается в необходимости выявления высокоинформативных индикаторов, отражающих реакцию древесных растений на стрессовое воздействие. Для обследования лесов была создана сеть из 29 пробных площадей (ПП). Зонирование территории по уровню техногенного загрязнения осуществлялось по результатам кластерного анализа данных о содержании элементов-поллютантов в хвое сосны на всех ПП, при этом рассчитывались коэффициенты концентрации элементов и индекс биохимической трансформации элементного состава хвои. Были выделены древостои слабого, среднего, сильного и критического уровня загрязнения, а также фоновые, характеризующиеся самыми низкими концентрациями элементов в хвое.

Обнаружено, что наиболее показательными индикаторами развития патологических процессов у сосны при загрязнении служат изменения визуальных (увеличение процента дефолиации крон, снижение продолжительности жизни хвои) и морфологических параметров хвои и побегов деревьев (уменьшение линейных размеров и массы хвои и побегов, а также количества хвоинок на побеге). И те, и другие показали высокий уровень корреляции с содержанием в хвое поллютантов. Анатомические параметры хвои изменяются нелинейно и могут быть, как следствием патологического воздействия поллютантов, так и результатом адаптации. К изменениям патологического характера относятся: сокращение площади поперечного сечения хвои, центрального цилиндра и проводящих пучков, уменьшение толщины покровных тканей и мезофилла, редукция смоляных каналов и уменьшение их диаметра. При критическом уровне загрязнения, когда содержание поллютантов в хвое сосны достигает максимальных значений, а уровень дефолиации крон возрастает до 75–80 % и продолжительность жизни хвои сокращается до двух лет, наблюдается увеличение ряда анатомических показателей в оставшейся зеленой хвое, что, вероятно, носит адаптационный характер, направленный на сохранение систем регуляции жизнедеятельности деревьев.

*Исследование выполнено в рамках Гос. заданий FWSS-2022-0002 № 122041100045-2 (СИФИБР СО РАН) и FWSM-2021-0001 № 121030900138-8 (ИОЭБ СО РАН).*

**СОДЕРЖАНИЕ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ИЗ НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ *SPIRAEA AQUILEGIIFOLIA*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ****В. А. Костикова<sup>1</sup>, О. В. Иметхенова<sup>2</sup>, Т. М. Шалдаева<sup>1</sup>, Т. А. Кукушкина<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ИСБС СО РАН, Новосибирск, Россия<sup>2</sup> ВСГУТУ, Улан-Удэ, Россия

serebryakova-va@yandex.ru

Фенольные соединения представляют собой природные биоактивные молекулы, проявляющие антиоксидантную, противомикробную и другую активность. Оценка содержания наиболее активных и биодоступных форм фенольных соединений у представителей местной флоры остается актуальным на сегодняшний день.

Проведено исследование содержания фенольных соединений в 40 % водно-этанольных экстрактах из листьев, соцветий и стеблей *Spiraea aquilegiifolia* Pall., произрастающей в Республике Бурятия. Материал для сравнительного анализа собирали во время цветения в окрестностях с. Иволгинск и Тапхар Иволгинского района. При сборе материала учитывали экспозицию склона холма. Также образцы спиреи собраны в овраге на южном склоне Ганзуринского кряжа и на равнинном участке разнотравно-злаковой залежи.

В результате анализа фенольных соединений выявлено, что в соцветиях (6,65–7,82 %) и листьях (6,72–7,91 %) *S. aquilegiifolia* их концентрация не отличается. В стеблях содержание фенольных соединений в 4 раза ниже (1,67–2,13 %), чем в листьях и соцветиях. Наибольшая концентрация фенольных соединений отмечена в листьях и соцветиях растений, собранных на склоне восточной экспозиции. Концентрация фенолкарбоновых кислот в листьях (4,93–8,78 %) и соцветиях (5,54–8,17 %) спиреи также не отличается, в стеблях (0,51–1,26 %) в 10 раз ниже. Наибольшее содержание фенолкарбоновых кислот выявлено в листьях растений из оврага и в соцветиях спиреи, произрастающей на склоне западной экспозиции. По содержанию дубильных веществ в листьях (21,57–26,05 %) и соцветиях (22,14–27,25 %) спиреи не отличается, в стеблях концентрация танинов относительно низкая (2,68–3,70 %). Наибольшее содержание танинов в водно-этанольных экстрактах из листьев выявлено у растений, произрастающих на склоне западной экспозиции и в соцветиях – на склоне южной экспозиции. Содержание флавоноидов в соцветиях спиреи выше (5,06–7,12 %), чем в листьях (4,61–5,72 %). В стеблях концентрация флавоноидов не превышает 1 %. Наибольшее их содержание обнаружено в соцветиях растений, произрастающих на склоне восточной экспозиции. Концентрация катехинов в листьях (0,49–0,65 %), соцветиях (0,44–0,83 %) и стеблях (0,64–0,80 %) спиреи практически одинаково невысокая.

На основании значений концентрации  $IC_{50}$ , которая показывает эффект экстракта на радикал DPPH, образцы из листьев ( $IC_{50} = 139,2–188,5$  мкг/мл) и соцветий ( $IC_{50} = 124,75–161,55$  мкг/мл) *S. aquilegiifolia* оказались наиболее эффективными с наименьшими значениями  $IC_{50}$ . Антиоксидантная активность экстрактов коррелирует с содержанием в них фенольных соединений ( $R = 0,96, p < 0,05$ ), фенолкарбоновых кислот ( $R = 0,87, p < 0,05$ ), дубильных веществ ( $R = 0,95, p < 0,05$ ) и флавонолов ( $R = 0,94, p < 0,05$ ).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00310, <https://rscf.ru/project/23-24-00310/>.



**МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
*ASTRAGALUS ANGARENSIS* (FABACEAE)****Н. В. Кулакова, А. В. Верхозина**СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
*kulakova@sifibr.irk.ru*

Род *Astragalus* L. включает около 2900 видов, многие из которых характеризуются локальным распространением и приспособлением к узкой экологической нише, обуславливающих генетическую изоляцию и видообразование. *Astragalus angarensis* Turcz. ex Bunge – редкий эндемичный вид, занесенный в Красную книгу Иркутской области. Молекулярно-генетические исследования одной из наиболее сложных для таксономии секции *Dissitiflori* DC, в которую наряду с *A. angarensis* входят порядка 150 видов, позволяют выявить эволюционные отношения между видами и уточнить их систематическое положение. Для определения эволюционных взаимосвязей *A. angarensis* в работе с помощью ПЦР амплифицировали и далее секвенировали нуклеотидные последовательности ядерных (ITS) и хлоропластных маркеров (*rbcL*, *matK*, *trnL-trnF*, *trnH-psbA*) образца *A. angarensis* – ваучера вида из Осинского района Иркутской области (IRK00019363). Результаты филогенетического анализа ядерных и хлоропластных маркеров согласовывались. Филогенетическая реконструкция с использованием хлоропластных маркеров подтверждает принадлежность *A. angarensis* к кладе *Hypoglotis*, включающей сек. *Dissitiflori* с ближайшим, из имеющихся в базе данных GenBank, *A. arbuscula*. Близкое эволюционное родство также отмечено с видами из других секций, включая: *A. agrestis*, *A. dilutus*, *A. mongholicus* var. *dahuricus*. Анализ региона ITS1-ITS2 (602 н.о.) подтвердил максимальное генетическое сходство исследуемого образца с *A. lenensis*. Для *A. lenensis* в GenBank нет данных о других генных регионах. Нуклеотидные последовательности этих двух видов отличаются одной транзицией в ITS1. Оба вида принадлежат одной филогенетической линии, при этом *A. lenensis* вероятно является более эволюционно молодым по отношению к *A. angarensis*. Полученная нуклеотидная последовательность ваучерного образца *A. angarensis* депонирована в базу данных GenBank с номером доступа OQ877241. Нуклеотидная вариабельность исследованных маркеров при сравнении 100 ближайших последовательностей из базы GenBank варьировала в ряду: *trnH-psbA*>*trnL-trnF*>ITS>*rbcL*>*matK*. Некодирующие регионы: ITS, *trnL-trnF*, *trnH-psbA*, характеризовались делециями и вставками, при этом в ITS присутствовали только однонуклеотидные вставки/делеции. Большинство эволюционно близких к *A. angarensis* последовательностей происходили из экотопов пустынь северо-западного Китая. Вероятно, эволюция исследуемой филогенетической линии, к которой относятся *A. angarensis* и *A. lenensis* происходила за счет приспособления к засушливым условиям и низким температурам. В результате проведенного анализа уточнено систематическое положение и эволюционные отношения *A. angarensis* в филогенетической кладе *Hypoglotis*. Полученные результаты подтверждают необходимость применения молекулярных методов исследований для уточнения систематического положения видов рода *Astragalus*.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания № 0277-2022-0001 (№ гос. регистрации 122041100047-6).*

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ ПЕЛАГИЧЕСКИХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ КАК СЛЕДСТВИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

**П. Р. Макаревич, В. В. Ларионов, А. А. Олейник, П. С. Ващенко**

ММБИ РАН, Мурманск, Россия

*makarevich@mmbi.info*

Баренцево море с 1980-х гг. переживает тенденцию быстрого потепления под влиянием глобальных климатических изменений. Это связано с изменениями гидрологических параметров Баренцева моря под действием увеличения объема и температуры поступающей атлантической воды. Океанические течения и повышение температуры воды напрямую способствуют освоению чужеродными видами новых для них акваторий. Но только небольшая часть из них могут адаптироваться в новых условиях окружающей среды. В наибольшей мере усиление притока атлантических вод и потепление отражаются на структуре сообществ пелагических микроводорослей, вызывая изменения их таксономического состава вследствие проникновения новых видов тропического и тропическо-бореального происхождения.

Проведенные нами исследования показали, что в период с 2007 по 2019 г. в Баренцевом море были обнаружены микроводоросли, ранее в этом водоеме не встречавшиеся, либо их находки считались сомнительными. Список видов включает 17 представителей фитопланктона, из которых 16 – динофлагелляты (Класс Dinophyceae), 1 – диатомовая водоросль *Proboscia indica* (Класс Bacillariophyceae).

Анализ пространственной и временной встречаемости позволяет сделать вывод, что распространение чужеродных видов микрофитопланктона в Баренцевом море четко привязано к теплым струям течений, приходящих из Атлантического океана. Ослабление силы проникновения этих водных масс в глубь Баренцева моря с запада оказывает основным фактором, ограничивающим присутствие вселенцев в восточной части водоема. В результате наибольшим количеством их флористических находок характеризуются юго-западная и западная часть акватории, а далее в направлении на север и восток число таких видов снижается. Максимальное разнообразие данной группы организмов приурочено к наиболее теплым годам, в которые приток атлантических водных масс усиливается.

В настоящее время доля пелагических микроводорослей, новых для Баренцева моря, в общем таксономическом разнообразии незначительна. Не наблюдается их массового развития ни в один сезон года, они не образуют высоких биомасс и не изменяют структуру сообщества в целом. В итоге их появление не приводит к дестабилизации самих планктонных альгоценозов и не оказывает какого-либо негативного влияния на другие компоненты баренцевоморских пелагических экосистем.

Тем не менее на данном этапе исследований еще рано прогнозировать экологические последствия появления чужеродных видов микроводорослей в арктических водах. Более того, учитывая растущее количество фиксируемых случаев находок нехарактерных для Арктики представителей фитопланктона, можно предположить, что при сохранении положительного температурного тренда процесс вселения будет усиливаться. В этом случае возможны отрицательные последствия: изменение структуры сообществ, угнетение аборигенных видов и снижение биологической устойчивости пелагических экосистем.

## РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КРИОЛИТОЗОНЫ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

**Т. Х. Максимов, А. П. Максимов, Р. Е. Петров, С. В. Карсанаев**

ИБПК ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, Россия

*tctax@mail.ru*

Будут представлены многолетние экспериментальные данные по круговороту углерода арктических тундр и бореальных лесов Северо-востока России. Получен ряд конкретных результатов: 1) выявлены микрометеорологические оценки углеродного баланса; 2) показана количественная зависимость концентрации трех видов парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) и черного углерода от погодных условий и интенсивности лесных пожаров; 3) исследованы углеродные параметры лесных и тундровых экосистем; 4) обращено внимание на короткий вегетационный период развития растений. Эта особенность способствует обогащению атмосферы северных широт углекислотой; 5) установлена положительная зависимость выделений биогенных летучих органических соединений от площади ассимилирующей поверхности и потепления климата.

Фотосинтетическую и дыхательную способность растений криолитозоны определяли общепринятыми методами с помощью инфракрасных газоанализаторов KIP-9010, Japan, ADC-Shimadzu, UK и Li-Cor LI-6400, USA. Для общего анализа чистого углекислотного газообмена экосистем использованы автоматические системы эдди-корреляции как закрытого, так и открытого типов, установленные на разных высотах от 3 до 34 м.

Рост и развитие древесных растений на северо-востоке России за короткий вегетационный период обеспечиваются высокими уровнями физиологических процессов (фотосинтеза и транспирации) при сравнительно низких темновых и ночных дыхательных затратах на рост и поддержание. Большая межгодовая вариабельность процесса фотосинтеза и темного дыхания у растений криолитозоны свидетельствует о прекарной их приспособленности к своеобразным климатическим условиям криолитозоны.

В понимании стратегии продукционного процесса и адаптации растений к изменениям климата важное значение имеет выяснение вклада отдельных органов и их донорно-акцепторных отношений. Так, величина депонированных фондов ассимилятов развитых корней северных растений может стать существенным фактором формирования биологической продуктивности растений криолитозоны.

Наши многолетние наблюдения показали, что в течение короткого, но теплого вегетационного периода (конец мая – конец первой декады сентября) мерзлотные лесные экосистемы являются стоком углекислого газа с максимальной поглотительной способностью до  $6,1 \text{ кг C га}^{-1} \text{ сут}^{-1}$ .

Главенствующим фактором повышения продуктивности лесов криолитозоны при потеплении климата будет направленность детурбационных процессов, напрямую воздействующих на круговорот основных органогенов в экосистеме. Продукционный процесс якутских популяций деревьев в условиях потепления климата будет в основном лимитирован эндогенными факторами – устьичной проводимостью, а также экзогенными – обеспеченностью растений влагой и минеральными органогенами, особенно азотом. В то же время, детурбационные процессы в криолитозоне могут сильно повлиять на вывод основных органогенов их общего круговорота веществ и снижению продуктивности мерзлотных экосистем.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания (№ гос. регистрации АААА-А21-121012190034-2).*

## ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ НА ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

**Т. А. Михайлова, О. В. Шергина, Д. А. Чеснаков**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

mikh@sifibr.irk.ru

Возрастающее антропогенное воздействие на городскую среду в современный период стало важнейшей экологической проблемой. При этом среди наиболее значимых негативных факторов урбанизации выделяется загрязненность воздушного бассейна городов. Исследования показывают, что во многих странах наиболее распространенными и опасными загрязнителями городского воздуха являются аэрозольные частицы (по англоязычной терминологии – Particulate Matter, PM), поскольку они могут содержать практически все известные техногенные поллютанты, в том числе фториды, хлорсодержащие, серосодержащие, нитраты, тяжелые металлы, ПАУ, а также патогенные микроорганизмы, вирусы, аллергены.

Цель работы – оценить загрязнение городских лесов аэрозольными частицами, выявить степень влияния этого фактора на изменение параметров жизненного состояния древесных растений. Исследования проводились на территории крупного промышленного центра Восточной Сибири – г. Иркутска. Площадь города составляет 280 кв. км, при этом городские леса занимают около 20 % от общей площади. Уровень загрязнения воздуха в городе оценивается Иркутским УГМС как «высокий». В сохранившихся лесных массивах естественного происхождения отбирали образцы хвои сосны (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), а также листьев березы (*Betula pendula* Roth) для исследования их загрязнения аэрозольными частицами (PM<sub>0.3</sub>, PM<sub>0.5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>5</sub>, PM<sub>10</sub>). С применением сканирующей электронной микроскопии сделаны фотографии высокого разрешения (увеличение 800–2000 крат, 16 000 крат) и показано, что аэрозольные частицы интенсивно адсорбируются поверхностью хвои/листьев, при этом размеры, форма, химический состав частиц характеризуются большим разнообразием. Рентгеноспектральный микроанализ показал значительное содержание в PM<sub>x</sub> тяжелых металлов, углерода, кремния, фосфора, кальция, магния, калия, натрия, серы, хлора, фтора. Хвоя и листья могут быть покрыты частицами твердого аэрозоля на 50–75 %, часто наблюдается полное закупоривание устьиц. Установлено, что негативный эффект взвешенных частиц не ограничивается повреждением покровных тканей хвои и листьев, он проявляется также в значительном нарушении важнейших физиолого-биохимических процессов, прежде всего, фотосинтеза и транспирации, а также питательного статуса древесных растений. Выявлены наиболее информативные индикаторы жизненного состояния городских древесных растений, при этом в практическом плане большое значение имеет такой интегральный показатель, как фотосинтезирующий объем крон, его снижение практически во всех обследованных лесных массивах указывает на необходимость разработки подхода к оптимизации состояния городских лесов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00140, <https://rscf.ru/project/22-24-00140/>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Mikhailova T. A. Estimation of urban forest pollution in Irkutsk according to the level of adsorption of PM<sub>x</sub> particles by scots pine needles / Т. А. Михайлова, О. В. Шергина // Geography and Natural Resources. – 2022. – Vol. 43, Suppl. 1. – P. 29–35. doi: 10.1134/S1875372822050146

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНТОМО- И МИКОКОМПЛЕКСОВ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛЕСА

**Т. И. Морозова, В. И. Воронин**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
ti.morozova@mail.ru

Возникновение очагов поражения леса насекомыми и болезнями при неблагоприятных условиях произрастания изучаются с прошлого века по разным направлениям: изменение комплексов стволовых вредителей по возрастному составу древостоев; на гарях; повреждение леса аэропромвыбросами; изменение состояние леса на подтопляемых территориях; болезни леса в очагах поражения хвоегрызущими вредителями; повреждение леса при загрязнении почвенного покрова. Изданы статьи и монографии по этим видам поражения.

В последнее время ведутся наблюдения за изменением состава стволовых вредителей и грибных болезней в очагах бактериального поражения леса, поскольку явно проявилась трансформация повреждающих факторов леса при различных видах повреждения лесной растительности. Так, при поражении древостоев бактериальной водяной резко меняется энтомокомплекс вредителей леса. Стволы не заселяются первичными и наиболее вредоносными стволовыми вредителями. На первый план выходят вторичные вредители леса. Происходит это по следующей причине. При поражении дерева бактериальной водяной его ствол заполняется водой. Древесина становится избыточно влажной и насекомые, у которых цикл развития проходит в древесине, не заселяют такие деревья в период активной фазы бактериальной инфекции. Заселяются деревья, пораженные водяной только на последней стадии усыхания дерева, когда бактерии уже перестают размножаться в стволе и влажность древесины резко снижается. Следом такие деревья заселяют вредители леса, которые развиваются только в лубе.

При неблагоприятных погодных условиях (засуха, низкие температуры), часто происходит размножение насекомых и болезней леса, которые ранее не приводили к возникновению очагов поражения. Например, массовое размножение большого листовенничного пилильщика – *Nematus erichsonii* Hrt. вызвало возникновение обширных очагов, в которых данный вредитель полностью уничтожил хвою листовенниц на севере Байкала. В то же время на Хамар-Дабане, где ранее происходили вспышки массового размножения черного пихтового усача – *Monochamus urusovi* Fisch, не следует прогнозировать в ближайшие десятилетия возникновения очагов. Будут встречаться только единичные повреждения деревьев усачами.

Таким образом, подобные изменения позволяют сделать вывод о проведении постоянного лесопатологического мониторинга.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

*Pectobacterium cartovorum* (Jones, 1901), Waldee, 1945. Пектобактериум картоворум / Wetwood / Самые опасные инвазивные виды России (ТОП-100) / В. В. Черпаков, Т. И. Морозова, В. И. Воронин, В. А. Осолков ; ред.: Ю. Ю. Дребуадзе, В. Г. Петросян, Л. А. Хляп. – Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2018. – С. 27–33.

Морозова Т. И. Многолетний лесопатологический мониторинг в Байкальском регионе и выявление причин массовых повреждений лесов / Т. И. Морозова, В. И. Воронин. – Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2019. – 126 с.

## ОСОБЕННОСТИ МИКОГЕННОГО КСИЛОЛИЗА ХВОЙНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ СМЕШАННЫХ (ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ) ЛЕСОВ

**С. Э. Некляев, Г. Е. Ларина, Л. Г. Серая**

ФГБНУ ВНИИФ, р. п. Большие Вяземы, Одинцовский район, Московская область, Россия  
slava9167748107@yandex.ru

В Нечерноземной зоне микогенный ксилолиз хвойных пород представляет собой сложный биохимический процесс, в котором участвуют четыре группы биологических агентов. Ведущую роль среди них занимают афиллофоровые (*Aphylliphorales*) базидиальные грибы (АФГ). Выделяют следующие лимитирующие условия биогенного ксилолиза, связанного с ростом мицелия АФГ внутри древесины: освещенность, уровень влажности и содержание газов воздуха (абсолютно сухая древесина содержит в среднем 49,5 % углерода, 44,1 % кислорода, 6,3 % водорода и 0,1 % азота).

В наших многолетних наблюдениях изучали процесс микогенного ксилолиза на массиве данных из 225 модельных деревьев и 3512 образцов базидиом. Установлено, что плодовые тела грибов активно растут в условиях абиотического стресса и их число увеличивается в последующие сезоны.

В грибном комплексе ксилолиза сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) доминирующее положение на стадии II–III занимает целлюлозоразрушающий гриб *Neoantrodia serialis* [= *Antrodia serialis*], а также лигнинразрушающие грибы *Stereum sanguinolentum* и *Trichaptum fuscoviolaceum*. Биоразнообразие АФГ достигает максимума на стадии III–IV ксилолиза, где отмечен максимальный рост *Fomitopsis pinicola*, стратегия которого заключается в освоение древесины и похожа с ростом *Neoantrodia serialis* [= *Antrodia serialis*]. Отмечено, что в разные виды АФГ эволюционировали по непохожим стратегиям освоения субстрата – древесины сосны, формируя болезни по типу белой гнили (кольцевая коррозийная) и бурой гнили (сегментарная коррозийная). Микогенный ксилолиз ели европейской (*Picea abies* L.) формируется под влиянием следующих АФГ: на стадии II – *Fomitopsis pinicola*, *Trichaptum abietinum* и III–IV – *Rhodofomes roseus* [= *Fomitopsis rosea*], *Trichaptum abietinum*, *Stereum sanguinolentum*, *Gloeophyllum sepiarium*.

Показано, что на успешное поселение *Fomitopsis pinicola* и *Rhodofomes roseus* (тип бурой гнили) оказывает влияние перфорация ствола ели сапроксильными насекомыми – *Monochamus urussovii*, *Monochamus sutor*, *Sirex gigas*, *Hylotrupes bajulus*, которые прокладывают личиночные ходы через заболонь и ядро. Результаты наших исследований демонстрируют совместное развитие следующих пар ( $r = 0,78–0,94$ ,  $p \leq 0,05$ ): гриб *Fomitopsis pinicola* и насекомое *Sirex gigas*, гриб *Ascomycota* и насекомое *Rhagium inquisitor*.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Некляев С. Э. Экологические последствия современных изменений климата, негативно влияющие на устойчивость хвойных растений к вредителям и афиллофоровым грибам / С. Э. Некляев, Л. Г. Серая, Г. Е. Ларина // Биосфера. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 235–244. doi: 10.24855/biosfera.v14i3.693

Некляев С. Э. Биоиндикаторы стадий разрушения ветровально-буреломной древесины ели европейской в хвойно-широколиственных лесах Московской обл. / С. Э. Некляев // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 1. – С. 17–30. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.02

## ВЛИЯНИЕ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ФИЛОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ *ANEMONE ALTAICA* (RANUNCULACEAE) НА ХР. ХАМАР-ДАБАН

**Ц. Е. Нелюбина<sup>1</sup>, В. В. Павличенко<sup>2</sup>, Н. А. Швецова<sup>2</sup>, М. В. Протопопова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

<sup>2</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
nelubina01@mail.ru

Работа была направлена на изучение филогеографической структуры неморального реликта *Anemone altaica* Fisch. ex C. A. Mey. (Ranunculaceae) на хр. Хамар-Дабан. *Anemone altaica* – вид травянистых растений с северо-восточноевропейско-сибирским распространением, входящий в группу родства *A. nemorosa* L. В Южном Прибайкалье на хр. Хамар-Дабан находится оторванный от основного крайний восточный участок ареала вида. Северный макросклон хр. Хамар-Дабан является рефугиумом, в котором неморальные реликты смогли пережить условия плейстоценовых похолоданий. Анализ распространения реликтовых видов, проведенный нами ранее, указал на возможное существование 4 микрорефугиумов на хр. Хамар-Дабан: долины рек Утулик и Бабха (I), Снежная (II), Переемная (III), Мишиха (IV). Установление филогеографической структуры *A. altaica* может внести вклад в понимание влияния позднекайнозойских климатических изменений на формирование современной растительности хр. Хамар-Дабан и Северной Азии в целом.

В качестве молекулярных маркеров использовали регионы пластидной ДНК: *trnL* и *trnL–trnF*. Филогенетический анализ проводили методом максимального правдоподобия и байесовским анализом. Результаты показали наличие как минимум трех филогеографических групп *A. altaica* на хр. Хамар-Дабан, которые могли сформироваться в результате их изоляции в течение ледниковых максимумов плейстоцена. В популяциях восточного участка хребта выявлено три пластотипа (P1, P2 и P5), в популяциях из центральной части – пластотипы P2 и P4, в крайне западных популяциях – пластотипы P3 и P4. Зона вторичного контакта между центральной и восточными группами приходится на восточную границу микрорефугиума II (р. Выдринная) и на центральную часть микрорефугиума III (р. Осиновка, пос. Танхой), между центральной и западной группами – на восточную границу микрорефугиума I (р. Бабха), где одновременно обнаруживаются гаплотипы из разных географических участков. Полученные данные согласуются с филогеографическими паттернами других неморальных реликтов хр. Хамар-Дабан, например *A. baicalensis* Turcz. и *Eranthis sibirica* DC., которые были определены нами ранее. Это свидетельствует в пользу гипотезы существования плейстоценовых микрорефугиумов на хр. Хамар-Дабан.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00501, <https://rscf.ru/project/23-24-00501/>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Chepinoga V. V. Detection of the most probable pleistocene microrefugia on the Northern macroslope of the Khamar-Daban ridge (Southern Prebaikalia) / V. V. Chepinoga, M. V. Protopopova, V. V. Pavlichenko // Contemporary Problems of Ecology. – 2017. – Vol. 10, I. 1. – P. 38–42. doi 10.1134/S1995425517010036

**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) К ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЕ****С. В. Новикова**<sup>1,2</sup>, **Н. В. Орешкова**<sup>1,2,3</sup>, **В. В. Шаров**<sup>1,2</sup>, **В. Л. Семериков**<sup>4</sup>,  
**К. В. Крутовский**<sup>1,5,6,7</sup><sup>1</sup> СФУ, Красноярск, Россия<sup>2</sup> ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия<sup>3</sup> ИЛ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия<sup>4</sup> ИЭРИЖ УрО РАН, Екатеринбург, Россия<sup>5</sup> Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия<sup>6</sup> ИОГен РАН, Москва, Россия<sup>7</sup> ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия

serafima\_novikova\_11@mail.ru

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) – одна из основных лесобразующих хвойных пород Сибири, обладает обширным ареалом с широким диапазоном климатических условий и имеет большое экологическое и экономическое значение. Вид обладает высокой степенью приспособляемости к условиям произрастания, однако ее генетические механизмы слабо изучены ввиду большого размера генома (~12 млрд п. н. о).

Используя данные GBS-генотипирования (Genotyping By Sequencing), полученные методом высокопроизводительного секвенирования геномных районов ДНК, ассоциированных с сайтами рестрикции (ddRADseq) был проведен популяционно-генетический анализ популяций вида вдоль широтного климатического градиента в двух разных независимых трансектах: западной – 4 популяции в пределах западной расы лиственницы сибирской (лиственницы Сукачева) и восточной – 4 популяции восточной типовой лиственницы сибирской.

Секвенирование ddRADseq-библиотек, приготовленных с использованием рестриктаз *MseI* и *EcoRI* позволило получить 1,2 млрд нуклеотидных прочтений в среднем по  $9,637,201 \pm 401,017$  прочтений на образец для 125 деревьев. Проведен поиск однонуклеотидных полиморфизмов, отобраны 47 929 снипов, равномерно представленных на большей части генома. У изученных популяций обнаружен высокий уровень генетической дифференциации ( $F_{ST} = 0,099 \pm 0,013$ ), причем выборки западной трансекты более генетически дифференцированы, нежели выборки восточной.

Поиск так называемых снипов-аутлайеров с резко выделяющимися значениями генетической изменчивости и дифференциации позволил выявить 21 SNP с признаками отбора, включая, 12 SNP, чья изменчивость коррелировала с изменчивостью климатических факторов (среднегодовая температура, осадки, осадки самого сухого месяца, солнечная радиация и средняя скорость ветра). Аннотация геномных участков, содержащих эти 21 SNP показала, что большинство из маркеров сосредоточены в межгенных областях митохондриального генома, преимущественно вблизи генов NAD1, NAD2, NAD4, L2, L5, S7, S11, S14, COX2 и ATP4. Локализация некоторых маркеров в некодирующих и возможно регуляторных районах представляет интерес для дальнейшего изучения.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 18-29-13044 и в рамках Гос. задания ФИЦ КНЦ СО РАН № FWES-2022-0003.



## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СМЕЩЕНИЕ ГРАНИЦЫ ЛЕСА В КЕДРОВО-ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО САЯНА: ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *PINUS SIBIRICA* И *ABIES SIBIRICA*

**Н. В. Пахарькова, И. Г. Гетте, И. В. Масенцова, Е. Е. Позднякова, А. А. Калабина**

СФУ, Красноярск, Россия

nina.pakharkova@yandex.ru

Альпийские и субальпийские леса относятся к числу наиболее уязвимых биомов, и, хотя были разработаны эффективные методы дистанционного зондирования для мониторинга экотонов альпийской границы деревьев, необходимо понимать причины изменений лесов в условиях изменения климата. Сдвиг границы леса вниз по склону, по-видимому, тесно связан с похолоданиями, длящимися веками, или изменением количества осадков в засушливых регионах. Однако обратное движение линии деревьев вверх по склону может не следовать автоматически за потеплением климата, потому что это движение зависит от выживания подроста вне полога леса, где они подвергаются заморозкам и экстремальной интенсивности света. Для понимания адаптационных механизмов древесных растений при сдвиге границы леса необходимо изучить экофизиологические особенности подростка исследуемых видов. Переход на более высокие или отступление на более низкие высоты во многом будет зависеть от способности дерева противостоять стрессовым факторам в условиях изменения климата. Многовидовые леса представляют собой интересные объекты, поскольку разные породы деревьев могут по-разному реагировать на изменение среды и, следовательно, закладывать основу для будущего изменения видового состава.

Цель исследования состояла в том, чтобы спрогнозировать возможное изменение экотона границы деревьев в Западном Саяне в условиях продолжающегося изменения климата. Для этого необходимо установить взаимосвязь между *Pinus sibirica* и *Abies sibirica*, содоминирующими на большей части ареала, и предвидеть реакцию видов на многолетнее изменение регионального климата. Полученные результаты свидетельствуют, что в условиях возможного потепления в горах Южной Сибири *Pinus sibirica* будет иметь преимущество при заселении зоны выше границы леса. Некоторые особенности этого вида, как физиологические, так и биохимические, могут обеспечить его более широкое распространение по сравнению с *Abies sibirica*. К особенностям можно отнести более высокое содержание каротиноидов в зимне-весенний период, характерное для светлохвойных растений, и меньшую скорость восстановления процессов фотосинтеза при низких положительных температурах весной.

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

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Pakharkova N. Photosynthetic pigments in Siberian pine and fir under climate warming and shift of the timberline / N. Pakharkova, I. Borisova, R. Sharafutdinov, V. Gavrikov // Forests. – 2020. – Vol. 11 (1). doi:10.3390/f11010063

Pakharkova N. Two-species forests at the treeline of Siberian mountains: An ecophysiological perspective under climate change / N. Pakharkova, A. Kazantseva, R. Sharafutdinov, I. Borisova, V. Gavrikov // Plants. – 2021. – Vol. 10 (4). doi:10.3390/plants10040763

**КОЛИЧЕСТВО УСТЬИЧНЫХ АППАРАТОВ НА ЛИСТЕ *BETULA PENDULA* ROTH В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ И СЕЛЬСКОЙ ТЕРРИТОРИИ****О. И. Пищимко**<sup>1,2</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия<sup>2</sup> ФГБУ СибНИГМИ, Новосибирск, Россия

pishchimko@sibnigmi.ru

Исследования проходили в г. Новосибирске, который является крупным транспортно-логистическим и производственно-промышленным центром в России. С ростом мегаполиса увеличивается антропогенная трансформация городской среды. Оценить степень изменений в экологии города можно различными путями, как инструментальными, так и по реакции живых организмов – биоиндикации. В качестве биоиндикаторов чаще служат микроорганизмы и растения, так как быстро и остро реагируют на изменения в экосистеме и в круговоротах веществ.

Цель исследования: оценить изменения количества устьиц *Betula pendula* Roth в условиях разного уровня антропогенного загрязнения г. Новосибирска и сельского районного центра.

Исследования проходили в 2022 г. Места отбора проб можно поделить на зоны, характеризующиеся различной антропогенной нагрузкой: ул. Дуси Ковальчук – транспортно-промышленное загрязнение; ул. Советская – транспортное загрязнение; пр. Лаврентьева – отдаленный район города со слабым транспортным потоком; р. п. Мошково – условный контроль, сельская территория (43 км от центра г. Новосибирска).

Оценку состояния листовых пластинок проводили согласно стандартным методикам. Препарат готовили из среза тонкого эпидермиса испаряющей поверхности листа. Микроскопирование проводили с помощью электронного светового микроскопа с камерой, что позволило выводить изображение на монитор в программе ScopePhoto. Математическая обработка данных проведена в программе Microsoft Excel.

В результате оценки средних значений количества устьиц на 1 мм<sup>2</sup> листовой пластинки, было получено: по ул. Дуси Ковальчук – 447, ул. Советская – 342, пр. Лаврентьева – 316 и взятый в качестве контроля образец из пригорода р. п. Мошково – 263. По результатам исследования заметно увеличение количества устьичных аппаратов по приближению к зоне транспортно-промышленного загрязнения ул. Дуси Ковальчук. Это можно объяснить отсутствием на ул. Советской промышленных предприятий и проходящего крупногабаритного транспорта. Пр. Лаврентьева, как зона низкого транспортного потока, вполне объяснимо занимает наиболее приближенное к контролю значение. Под влиянием городских условий плотность устьичных аппаратов на листовой пластинке *Betula pendula* Roth возрастает по продвижению к участкам отбора с более высокой антропогенной нагрузкой. *Betula pendula* Roth может служить в качестве биоиндикатора для оценки состояния городской экологии.

**Основные публикации автора по тематике доклада**

Пищимко О. И. Экологическое состояние городской среды Новосибирска по асимметрии листьев / О. И. Пищимко, Л. Н. Коробова, А. А. Побеленская // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : сб. ст. по материалам Междунар. науч. экол. конф., посвящ. 100-летию КубГАУ, Краснодар, 29–31 марта 2022 г. – Краснодар : Кубан. гос. аграр. ун-т им. И. Т. Трубилина, 2022. – С. 444–447.

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ ГЕЛИЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН САЛАТА И ХРОМОСОМНЫЕ АБЕРРАЦИИ В КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЕ ПРОРОСТКОВ

**Н. Г. Платова, Р. В. Толочек, К. О. Иноземцев, В. А. Шуршаков**

ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия

*nataliaspl@inbox.ru*

Ионы гелия входят в состав галактических и солнечных космических лучей, формирующих радиационную среду космического корабля. Исследование биологического действия ускоренных ионов гелия разных энергий на биологические объекты актуально для космической радиобиологии, радиотерапии, а также радиационного мутагенеза для нужд селекции различных культур.

Представлены данные нескольких серий облучения ионами  $^4\text{He}$  семян салата посевного *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый на ускорителе НИМАС, QST, г. Чита, Япония. Первое облучение проводилось ионами  $^4\text{He}$  с энергией 230 МэВ/нуклон и ЛПЭ в воде 1,65 кэВ/мкм в дозе 1 Гр. Второе облучение – с энергией 180 МэВ/нуклон и ЛПЭ в воде 1,93 кэВ/мкм, в дозах 50 мГр и 100 мГр. Третье облучение – ионами  $^4\text{He}$  с энергией 150 МэВ/нуклон и ЛПЭ в воде 2,2 кэВ/мкм в дозах 5 Гр и 10 Гр. Семена прорастивали в чашках Петри. Использовали анателофазный метод подсчета хромосомных aberrаций в первом митозе корневой меристемы. Статистический анализ результатов проводили с помощью *t*-критерия Стьюдента.

Максимальная задержка прорастания на 76 % на первые сутки отмечена при прорастивании семян, облученных в дозе 1 Гр. При прорастании семян, облученных в дозе 5 и 10 Гр, задержка составила 18–19 %, облученных в дозе 50 мГр – 6 %. У этого же варианта отмечено снижение энергии прорастания и всхожести на 5–7 %. У семян, облученных в дозе 100 мГр, кривая прорастания практически совпадает с кривой лабораторного контроля. В проростках, полученных из семян, облученных в дозах 50 мГр и 1 Гр, отмечено достоверное увеличение процента клеток с хромосомными aberrациями, процента хромосомных мостов и фрагментов, а также снижение среднего количества делящихся клеток в стадии ана-телофазы. При этом цитогенетические показатели варианта, облученного в дозе 100 мГр, находятся на уровне контроля. Облучение семян салата ионами гелия приводит к хромосомным повреждениям в корневой меристеме, частота которых зависит от параметров пучка и, вероятно, связана с эффектом гиперчувствительности и индуцированной радиорезистентности.

*Исследование выполнено при поддержке программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Тема 65.2. Часть работы выполнена в рамках меморандума между QST и ГНЦ РФ – ИМБП РАН.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Хромосомные aberrации в корневой меристеме проростков салата при облучении семян ускоренными ионами углерода и прорастании в гипомагнитных условиях / Н. Г. Платова, В. М. Лебедев, А. В. Спасский, К. А. Труханов // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2019. – Т. 53, № 4. – С. 93–100. doi:10.21687/0233-528X-2019-53-4-93-100

Цитогенетические эффекты в корневой меристеме проростков салата при облучении семян быстрыми нейтронами в дозе 10 Гр и их модификация гипомагнитными условиями прорастивания / Н. Г. Платова, В. М. Лебедев, А. В. Спасский, К. А. Труханов // *Биофизика*. – 2021. – Т. 66, № 6. – С. 1171–1177. doi: 10.31857/S0006302921060120

**ФИЛОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РОДА *ERANTHIS* (RANUNCULACEAE) НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОЙ СИБИРИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ****М. В. Протопопова<sup>1</sup>, В. В. Павличенко<sup>1</sup>, П. Е. Нелюбина<sup>2</sup>**<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

marina.v.protopopova@gmail.com

*Eranthis* (Ranunculaceae) – небольшой род травянистых растений, включающий несколько видов, дизъюнктивно распространенных от Юго-Восточной Европы до Восточной Азии. В Сибири выделяют два таксона, *Eranthis sibirica* DC. и *E. tanhoensis* Erst, которые описаны с хр. Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье). В то же время наши результаты на основе молекулярно-генетического анализа убедительно показали, что *E. tanhoensis* нарушает монофилию *E. sibirica* и должен считаться синонимом последнего. Выделение *E. uncinata* Turcz. как высокогорного вида в середине позапрошлого века не получило широкого одобрения из-за невыдержанности его отличий с *E. sibirica*. В своей работе мы придерживаемся моновидовой концепции *Eranthis* в Сибири, согласно которой *E. sibirica* является единственным представителем рода этой территории. *Eranthis sibirica* относится к неморальным реликтам, которые пережили серию позднекайнозойских оледенений и сохранились в виде дизъюнктивных популяций в горах Южной Сибири, имеющих для них рефугиальное значение. Северный макросклон хр. Хамар-Дабан является одним из важнейших рефугиумом для *E. sibirica*. Анализ современного распространения реликтовых видов, проведенный нами ранее, позволил предположить неоднородность хамар-дабанского рефугиума, который был представлен как минимум четырьмя плейстоценовыми микрорефугиумами: долины рек Утулик и Бабха (I), Снежная (II), Переемная (III) и Мишиха (IV). Наша работа была направлена на изучение влияния позднекайнозойских климатических изменений на формирование филогеографической структуры *E. sibirica* на территории Южной Сибири.

В качестве молекулярно-генетических маркеров в работе использовали регионы ядерной (ITS) и пластидной (*trnL* + *trnL-trnF* + *trnH-psbA*) ДНК. Результаты показали, что филогеографическая структура *Eranthis* в Южной Сибири представлена «восточной» и «западной» надгруппами популяций, сформировавшимися в результате дизъюнкции, вызванной горными поднятиями в позднем неогене – начале квартера и плейстоценовыми похолоданиями. Западная надгруппа целиком представлена западносаянскими популяциями. Восточная надгруппа объединяет популяции с Восточных Саян, хребтов Танну-Ола и Хамар-Дабан. Географическое распределение гаплотипов *E. sibirica* на хр. Хамар-Дабан соответствует филогеографической структуре других реликтов и положению предполагаемых плейстоценовых микрорефугиумов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00501, <https://rscf.ru/project/23-24-00501/>.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Protopopova M. V. *Eranthis salisb.* (Ranunculaceae) in South Siberia: Insights into phylogeography and taxonomy / M. V. Protopopova, V. V. Pavlichenko // Diversity. – 2022. – Vol. 14. – P. 779. doi: 10.3390/d14100779

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТКАНЯХ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

**И. М. Романова, И. А. Граскова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*Irina170885@mail.ru*

С использованием фотоколориметрического метода и метода нативного электрофореза исследована динамика активности пероксидазы, ее электрофоретических форм, динамика жирнокислотного состава в тканях хвои сосны обыкновенной в течение вегетационного периода определена методом газожидкостной хроматографии.

Низкая активность пероксидазы наблюдается в зимний, высокая – весенний и летний периоды.

Спектр изоформ пероксидазы характеризуется высокой лабильностью. В точке отбора проб «Олха» отмечены изоформы с ОЭП: 0,22, 0,27, 0,32, 0,37, 0,47, 0,58; «МП»: 0,22, 0,26, 0,27, 0,32, 0,37, 0,47, 0,58.

Изоформы с ОЭП 0,22 и 0,27 отмечены практически во всех пробах в течение всего вегетационного периода. Изоформа 0,32 в точке «Олха» обнаружена в каждом периоде вегетации не зависимо от возраста хвои, при этом в точке «МП» – в пробах хвои 2 и 3 годов вегетации и не детектируется в течение летнего периода. Изоформа 0,58 в «Олхе» обнаруживается круглогодично, в отличие от точки «МП», где не была идентифицирована в весенний период.

В отличие от перечисленных изоформы с ОЭП 0,26, 0,37, и 0,47 идентифицированы крайне редко. Так, изоформы 0,26 и 0,37 обнаружены только в марте в хвое всех генераций в точке «МП», изоформа 0,37 в пробах хвои 3 года вегетации в обеих точках, 0,47 – в обеих точках исследования в декабре.

Основные жирные кислоты в период исследования: пальмитиновая (C16:0), олеиновая (C18:1 (n-9)), линолевая (C18:2 (n-6)), α-линоленовая (C18:3 (n-3)). Также выявлены арахидоновая (C20:0) и бегеновая (C22:0) кислоты, характерные для голосеменных.

Самое низкое содержание ненасыщенных жирных кислот в точке сбора «Олха»: июнь (1 г), август (2 г), сентябрь (3 г); самое высокое – май (1, 2 г), январь (3 г). В точке сбора «МП» самое низкое содержание ненасыщенных жирных кислот: март (1 г), сентябрь (2, 3 г); самое высокое: апрель (1 г), май (2 г), февраль (3 г). Содержание насыщенных жирных кислот обратно пропорционально содержанию ненасыщенных жирных кислот.

Минимальные значения SDR наблюдались в летний период, высокие – в весенний, что связано с увеличением содержания олеиновой и синтезом линолевой кислот в период активного роста хвои. Низкие значения ODR отмечаются в весенний период, высокие – осенью и поздним летом. Наиболее высокие значения LDR конец летнего периода и осенью, низкие – весенне-летний период.

Способность растений изменять свой белковый и липидный составы в зависимости от условий окружающей среды играет главную роль в адаптации растительного организма к стрессорам различного генеза.

## ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ХВОИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА ЕЛЬ (*PICEA*) В ПЕРИОД АКТИВНОГО РОСТА ХВОИ

**Н. В. Семёнова, Л. В. Дударева**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
tashasemyonova@mail.ru

Липиды представляют собой широко распространенную группу соединений, которые не только являются в количественном отношении основным энергетическим резервом клеток, но и выполняют множество ключевых биологических функций. Известно, что многие типы липидов, в том числе жирные кислоты (ЖК), играют важную роль в росте и развитии растений как *in vivo*, так и *in vitro*. Жирные кислоты с очень длинной цепью (ЖКОДЦ) существенным образом влияют на направление роста и степень растяжения клеток растений в ходе морфогенеза. Однако, несмотря на уже имеющиеся в литературе сведения об участии ЖК в процессах роста и развития, у хвойных растений эти вопросы остаются малоизученными. Поэтому целью настоящей работы был сравнительный анализ особенностей жирнокислотного состава активно растущей хвои в весенне-летний период четырех видов ели: *Picea obovata*, *Picea obovata* var. *coerulea* Malyshev, *Picea abies*, *Picea pungens*. Экстракцию липидов проводили по методу Фолча. Анализ МЭЖК проводили методом газожидкостной хроматографии с использованием хромато-масс-спектрометра 5973/6890N MSD/DS Agilent Technologies (США).

В исследовании производился анализ активно растущей хвои, собранной в 2022 г., а именно 19 мая, 26 мая, 6 июня и 28 июня. Показано, что для *P. abies* содержание липидов оставалось практически неизменным (84,8–94,6 мг/г с.в.). Для *P. pungens*, *P. obovata*, *P. obovata* var. *coerulea* Malyshev содержание липидов снижалось до 65,5 мг/г с.в., 60,4 мг/г с.в., 90,7 мг/г с.в., соответственно (26 мая и 6 июня). 28 июня, когда хвоя уже сформирована, наблюдали повышение содержания липидов для трех изучаемых видов елей до 81,3–129,4 мг/г с.в. (кроме *P. abies*). Анализ ЖК-состава четырех видов ели показал, что относительное содержание насыщенных ЖК составляло порядка 30 %, а ненасыщенных ЖК – порядка 70 % для хвои всех исследуемых видов, отобранных в разные экспериментальные точки. В нашем исследовании показано, что содержание С18:1Δ9 кислоты для *P. abies*, *P. obovata*, *P. obovata* var. *coerulea* Malyshev в процессе развития хвои повышается в 1,5–1,8 раз (с максимумом 26 мая), а затем снижается. Для *P. pungens* отмечена обратная закономерность, содержание С18:1Δ9 снижается в 4 раза (с минимумом 26 мая), а затем возрастает. Что касается ЖКОДЦ, то их содержание во время развития хвои снижается примерно в 1,5 раза, а затем содержание этих кислот начинает повышаться к моменту формирования полноценной хвои для всех исследуемых видов елей. Таким образом, показано, что ЖК-состав активно растущей хвои для четырех видов ели изменяется в процессе ее роста, с увеличением, на определенном этапе, содержания ЖК (например, С18:1Δ9 кислоты и ЖКОДЦ), для которых показана значимая роль в этом процессе. Дальнейшие исследования липидного состава формирующейся хвои, в частности содержания фосфолипидов, их ЖК-состава, стероидного профиля тканей могут дать полезную информацию об участии липидных компонентов в ростовых процессах у хвойных.

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ БЕРЕЗОВЫХ И СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

**Л. Н. Скрипальщикова**<sup>1</sup>, **И. А. Гончарова**<sup>1,2</sup>, **А. П. Барченков**<sup>1,3</sup>, **В. В. Стасова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИЛ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> КГАУК «ККМ», Красноярск, Россия

<sup>3</sup> СФУ, Красноярск, Россия

*lara@ksc.krasn.ru*

В настоящее время весьма масштабное воздействие на природные объекты оказывает антропогенный фактор. Изучение устойчивости и ответной реакции фитоценозов естественного и искусственного происхождения на антропогенные нагрузки весьма актуально. Исследования устойчивости березовых насаждений Красноярской лесостепи в зоне воздействия антропогенного влияния г. Красноярска проводились в 2016–2021 гг., сосновых насаждений – в 2016–2022 гг. Искусственные сосновые посадки в г. Красноярске изучались в летний период 2020–2022 гг. Проведенная комплексная экологическая оценка на экосистемном, организменном и тканевом уровнях нарушенных лесных экосистем Красноярской лесостепи выявила ряд параметров, характеризующих снижение на них антропогенного воздействия г. Красноярска и выявила некоторые особенности их ответных реакций. В ходе исследований установлено заметное ухудшение состояния колковых березняков, приуроченных к экстремальным биотопам (наиболее прогреваемые участки на фоне повышенного техногенного загрязнения и значительных рекреационных нагрузок). Последнее обусловлено общей аридизацией условий произрастания в регионах Сибири. Исследования 2016–2022 гг. устойчивости сосновых насаждений Красноярской лесостепи показали, что в целом отмечена стабилизация экологического состояния сосняков, произрастающих в зоне многолетнего антропогенного воздействия в сравнении с фоновыми объектами и исследованиями, проведенными в сосняках до 2006 г. На наш взгляд, это обусловлено снижением уровня промышленных выбросов г. Красноярска, а также долговременной адаптацией фитоценозов к хроническим антропогенным воздействиям. Изучение устойчивости сосновых посадок в г. Красноярске показало, что наилучшие показатели роста и развития хвои сосны отмечены в посадках на территории города с относительно слабым техногенным воздействием и эти показатели значительно варьируют в зависимости от уровня загрязнения места их произрастания. Оценка устойчивости сосен в условиях города по методике комплексной балльной биоиндикационной оценке древесных видов к техногенному загрязнению на урбанизированных территориях, подтвердила зависимость роста этого вида от техногенного загрязнения различного состава и интенсивности.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Оценка компонентов нижних ярусов растительного покрова в антропогенно нарушенных березняках Красноярской лесостепи / И. А. Гончарова, Л. Н. Скрипальщикова, А. П. Барченков, А. С. Шушпанов // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2020. – № 1. – С. 75–87. doi: 10.37482/0536-1036-2020-1-75-87

Современное экологическое состояние компонентов сосновых экосистем Красноярской лесостепи / Л. Н. Скрипальщикова, А. П. Барченков, И. А. Гончарова, Т. В. Пономарева, А. С. Шушпанов, А. И. Татаринцев // Лесоведение. – 2022. – № 1. – С. 61–71. doi: 10.31857/S0024114822010090

## ТЕНДЕНЦИИ СТРУКТУРНОГО ОТКЛИКА БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ ПО МАКРОПРИЗНАКАМ СТВОЛОВ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТАХ И НА МОРСКИХ ПОБЕРЕЖЬЯХ САХАЛИНА И КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

**А. И. Тальских, А. В. Копанина, И. И. Власова**

ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия  
anastasiya\_talsk@mail.ru

Кора древесного растения в разных его возрастных состояниях представляет собой высокоспециализированный комплекс клеток и тканей, выполняющих различные функции (защитную, транспортную, ассимиляционную и др.), что характеризует ее как физиологически активную и «отзывчивую» на воздействие экологических факторов. В связи с этим, этот комплекс тканей древесного растения является очень информативным в отношении отклика на экологические условия. Одним из самых изучаемых признаков коры является ее толщина (ширина) и ряд расчетных показателей, связывающих ее с размером ствола, приростом древесины и возрастом растения. Цель исследования – изучение структурных особенностей коры, в частности ее толщины и скорости прироста в стволах березы плосколистной (*Betula platyphylla*) в различных экологических условиях на Сахалине и Курильских о-вах. В работе проанализированы морфологические признаки стволов и структурные признаки коры и древесины березы плосколистной, произрастающей в условиях морского побережья Охотского моря, ландшафтов активных магматических и грязевых вулканов Сахалина и Курильских о-вов: толщина коры, величина годичного прироста коры и древесины. Результаты исследования показали, что для березы под действием природного стресса свойственно формирование низкорослого многоствольного дерева со значительными повреждениями и деформациями кроны, искривленными эксцентричными стволами и структурными прикорневыми аномалиями – капами и сувелями. Выявлена структурная реакция коры и древесины, свойственная многим древесным растениям, адаптированным к экстремальным местообитаниям, проявляющаяся в уменьшении толщины коры и ее ежегодного прироста у высоковозрастных деревьев. Эта тенденция ярко выражена у березы на охотоморском побережье и в условиях грязевого вулкана. При этом годичный прирост коры березы в исследованных местообитаниях имеет разнонаправленную реакцию и выражается как типичным уменьшением, так и увеличением. В условиях газогидротермальных проявлений магматических вулканов годичный прирост коры увеличивается до 2,7 раз по сравнению с нормой, что, вероятно, определяется молодым в 10–20 лет возрастом деревьев. Данные структурного анализа стволов березы в условиях с различной степенью напряженности экологических факторов показывают, что толщина коры древесных растений и величина ее ежегодного прироста могут являться функциональными показателями (plant functional trait), характеризующими природные системы вулканических ландшафтов и другие экосистемы.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания (№ гос. регистрации 121022500177-6).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Тальских А. И. Особенности структурного отклика коры и древесины березы плосколистной (*Betula platyphylla*, Betulaceae) в ландшафтах морских побережий, магматических и грязевых вулканов Сахалина и Курильских островов / А. И. Тальских, А. В. Копанина, И. И. Власова // Геосистемы переходных зон. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 360–379. doi 10.30730/ gtr.2022.6.4.360-379



## ПОЧВЕННО-АЛЬГОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРНЫХ И НАСТОЯЩИХ СТЕПЕЙ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. Б. ГОЛОУСТНОЕ

**Г. С. Тупикова, И. Н. Егорова, О. В. Шергина, С. Г. Казановский**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

shambueva93galina@mail.ru

Нами изучены почвенные водоросли травянистых растительных сообществ окрестностей с. Б. Голоустное. Территория расположена на юго-западном побережье Байкала у подножия Приморского хребта, высоты которого в его южной части достигают отметок 900–1200 м над у. м. Исследуемые растительные сообщества функционируют на каштановых почвах. Каштановые почвы щелочные, с высоким содержанием гумуса, низкой и средней обеспеченностью фосфором под степными сообществами и высокой под лугом, низкой обеспеченностью калием.

Всего выявлен 71 вид водорослей из 5 отделов. Наибольшим числом представлены зеленые водоросли Chlorophyta – 34 вида, немногим меньше число видов цианопрокариот Cyanoprokaryota – 27, единичны водоросли других отделов, диатомовых Bacillariophyta – 4 вида, менее всего найдено желтозеленых Ochrophyta и зеленых Charophyta – по 3 представителя. Найдены новые для Байкальского региона виды, такие как cf. *Pseudochlorella pringsheimii*, *Protosiphon botryoides* (Chlorophyta). Состав и структура альгокомплексов степей имеют общие черты с таковыми других аридных и семиаридных регионов Евразии.

Особенностью изученных сообществ является широкая представленность макроскопической нитчатой колониальной цианопрокариоты *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault. Этот вид способен к кислородному фотосинтезу и фиксации атмосферного азота, играет большую роль в функционировании ряда наземных экосистем. Биомасса вида здесь достигала до 2,6 г/м<sup>2</sup> абс. сухого веса. Определены факторы, влияющие на развитие вида. Установлено, что биомасса *N. commune* была меньше при повышенном содержании в верхних горизонтах нитратного и аммиачного азота, подвижных форм фосфора и калия. Получены первые данные по элементному составу *N. commune*. Вид накапливал значительное количество С – 363000 мг/кг; N – 32000 мг/кг; Са – 9943 мг/кг; Mg – 2420 мг/кг; Fe – 2617 мг/кг; К – 1766 мг/кг; Na – 468 мг/кг. Менее вид накапливал Mn – 95 мг/кг; Zn – 18 мг/кг; Cu – 6 мг/кг; Pb – 1,34; Cd – 0,1 мг/кг. Полученные нами данные по содержанию элементного состава *Nostoc commune* частично согласуются с известными для вида из северных территорий России, Казахстана, Китая, Филиппин (Большев, 1968; Patova et al, 2000; Patova, Sivkov, 2003; Diao et al., 2012; Hoktha, Kaewmekha, 2016; Martinez-Goss et al., 2021; Wang W. et al., 2021; Liang et al., 2022).

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ *LUPINUS ALBUS* L. И *LUPINUS LUTEUS* L.

**А. С. Ханова, П. С. Крылова, М. С. Подлукский, Е. М. Шестерикова, Е. В. Бондаренко**

ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

*michenyuk-anastasi@mail.ru*

Для эффективного применения ионизирующего излучения в протоколах радиационного мутагенеза в селекции *Lupinus luteus* L. и *Lupinus albus* L. необходимо проведение ряда фундаментальных радиобиологических исследований. В связи с этим, цель исследования – изучение влияния  $\gamma$ -облучения семян люпина желтого и белого на морфометрические параметры проростков и активность ферментов антиоксидантной системы исследуемых растений.

Сухие семена *L. albus* сорта «Мичуринский» и *L. luteus* сорта «Надежный» (любезно предоставленные ВНИИ люпина – филиал ФГБНУ «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В. Р. Вильямса», г. Брянск) подвергли  $\gamma$ -облучению в дозах от 25 до 1200 Гр на УНУ ГУР-120 ( $^{60}\text{Co}$ , ВНИИРАЭ). Мощность дозы – 90 Гр/ч. Эксперимент проводили в 3-х повторностях по 30 семян в каждой. Содержание антиоксидантных ферментов анализировали при помощи спектрофотометра «NanoDrop OneC». Статистическую обработку результатов осуществляли непараметрическими методами в среде программирования R (версия 4.2.3) и Python (версия 3.11).

Анализ морфометрических параметров показал, что дозы от 100 до 1200 Гр оказали значимое негативное влияние на длину гипокотыля *L. luteus*. Воздействие  $\gamma$ -излучения в дозе 100 Гр ингибировало длину гипокотыля и стимулировало другие морфометрические параметры сорта «Надежный»: длину корня и биомассу проростков. Что касается *L. albus*, то диапазон доз от 100 до 1200 Гр оказал ингибирующий эффект не только на длину гипокотыля, но и на биомассу проростков. Ингибирование корней у сорта «Мичуринский» наблюдали с увеличением дозы от 200 Гр. Доза 50 Гр оказала стимулирующее воздействие на длину гипокотыля *L. albus*.

В листьях *L. albus* и *L. luteus* не выявлено статистически значимых различий в активности аскорбатпероксидазы в группах воздействия  $\gamma$ -излучения по сравнению с контролем. Активность каталазы у люпина белого значимо уменьшалась при дозах 400 и 1200 Гр, а активность гваяколовой пероксидазы (РОХ), наоборот, увеличивалась в диапазоне высоких доз (от 400 до 1200 Гр). В группах 50 и 200 Гр зафиксировано снижение активности каталазы у люпина желтого. Дозы 400 и 800 Гр статистически значимо увеличили активность РОХ, однако, при дозе 1200 Гр значимых различий в активности данного фермента у сорта «Надежный» обнаружено не было.

Дозы от 400 Гр и выше для *L. albus* и *L. luteus* будут расцениваться, как ингибирующие. Для дальнейших радиобиологических исследований рекомендуется использовать дозы в диапазоне от 100 до 400 Гр. Диапазон доз от 25 до 100 Гр рекомендуется использовать для изучения эффекта радиационного гомеозиса на *Lupinus* L.

## КСЕРОФИТНЫЕ СЕГЕТАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ЮЖНОГО УРАЛА

**Г. Р. Хасанова**<sup>1</sup>, **С. М. Ямалов**<sup>2</sup><sup>1</sup> Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН, Уфа, Россия<sup>2</sup> ЮУБСИ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

gulnazrim@yandex.ru

Ксерофитные сегетальные (сорно-полевые) сообщества Южного Урала распространены в пределах степной и южной части лесостепной зон. Флористический состав этих сообществ состоит из видов, хорошо приспособленных к недостатку влаги и приуроченных к разным типам чернозема. В отличие от других более мезофитных типов сегетальных сообществ в их ценофлоре, в последнее время, все чаще фиксируются опасные инвазивные и карантинные виды, которые постепенно расширяют свои северные границы ареалов при потеплении климата. Авторами с начала 2000-х гг. проводятся геоботанические обследования и мониторинг сорно-полевых сообществ разных культур степной и лесостепной зон в пределах Республики Башкортостан и Оренбургской области (Хасанова и др., 2019). В системе эколого-флористической классификации растительности Евразии они относятся к союзу *Lactucion tataricae* Rudakov in Mirkin et al. 1985. Сообщества союза диагностируются 2 видами – *Panicum miliaceum* и *Lactuca tatarica*. Ценофлора союза *Lactucion tataricae* насчитывает 207 видов. Имеют низкую видовую насыщенность – в среднем 13 видов на 100 м<sup>3</sup>. Всего на сегодняшний день описано 5 ассоциаций.

Сообщества ассоциации *Lactucetum tataricae* Rudakov in Mirkin et al. 1985 встречаются в посевах пропашных, озимых и яровых культур и является самой распространенной в степной зоне Предуралья и Зауралья. В их составе встречаются инвазивные виды: *Acroptilon repens*, *Sisymbrium volgense*, *Artemisia sieversiana*.

Ассоциация *Lactuо serriolae* – *Tripleurospermetum inodori* Khasanova et al. 2019 объединяет сорно-полевые сообщества озимых зерновых культур, распространенные в северной части степной и южной части лесостепной зон Предуралья и Зауралья на выщелоченных и обыкновенных черноземах.

Ассоциация *Lathyro tuberosi* – *Convolvuletum arvensis* Khasanova et al. 2019 объединяет сорно-полевые сообщества яровых и озимых зерновых культур южной части лесостепной зон Предуралья. От других ассоциаций союза отличаются более высокой константностью *Euphorbia virgata*.

Ассоциация *Echinochloо crusgalli* – *Panicetum miliacei* Khasanova et al. 2019 объединяет сорно-полевые сообщества пропашных культур – свеклы, нута, льна, подсолнечника, кукурузы, гороха, гречихи. Это наиболее мезофитная ассоциация, связанная с лесостепью Предуралья на выщелоченных и типичных черноземах.

Ассоциация *Amarantho blitoides* – *Lactucetum tataricae* Khasanova et al. 2019 объединяет сообщества посевов подсолнечника с доминированием на легких песчаных почвах в степной зоне с участием карантинных и инвазивных растений – *Orobanchе cumana* *Amaranthus blitoides*, *A. retroflexus*, *Conyza canadensis*, *Xanthium album*.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Сегетальная растительность Южного Урала: союзы *Caucalidion* Tx. ex von Rochow 1951 и *Lactucion tataricae* Rudakov in Mirkin et al. 1985 / Г. Р. Хасанова, С. М. Ямалов, М. В. Лебедева, З. Х. Шигапов // Растительность России. – 2019. – № 37. – С. 118–134.

**РЕПРОДУКТИВНЫЕ ВЗАИМОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ ТАКСОНОВ, МОРФОЛОГИЧЕСКИ БЛИЗКИХ К *ELYMUS CANINUS* (POACEAE: TRITICEAE)****Е. В. Шабанова, О. В. Дорогина, А. В. Агафонов**

ЦСБС СО РАН, Новосибирск, Россия

ekobozeva87@mail.ru

Род многолетних дикорастущих злаков *Elymus* L. трибы Triticeae Dumort. относится к третичному генпулу основных хлебных культур – пшеницы, ячменя и ржи. По числу видов (от 150 до 200) и общему биоразнообразию род *Elymus* является самым крупным в трибе. Тем не менее перенос ценных признаков из природного генофонда рода в селекционный материал через половую гибридизацию затруднен по причине филогенетической отдаленности геномов. С другой стороны, репродуктивные отношения внутри и между таксонами рода являются крайне сложными вследствие факультативного самоопыления и частых событий гибридизации и интрогрессии между особями. Именно поэтому построение таксономической модели рода, отражающей не только морфологическую дифференциацию, но и реальные филогенетические связи, представляет собой актуальную цель. В рамках данного исследования было проведено гибридологическое изучение биотипов видов, близких к *Elymus caninus* (L.) L.: *E. goloskokovii* Kotuch., *E. viridiglumis* (Nevski) Czer. и *E. prokudinii* (Seredin) Tzvelev, а также ряда морфологически отклоняющихся биотипов с территории России и Казахстана. Была поставлена задача изучить уровни репродуктивных взаимоотношений и степени интегрированности трех видов в комплекс *E. caninus*. Рассматриваемые нами таксоны были описаны в рамках так называемой «монотипической концепции вида», а диагностическими признаками послужили различия, традиционно используемые в систематике рода: длина остей и наличие трихом нижних цветковых чешуй. При этом сколько-нибудь комплексный анализ видовой обособленности в рамках концепции не предусматривался. При описании *E. prokudinii* был дополнительно применен географический критерий, согласно которому вид распространен в пределах Кавказского хребта. Показано, что биотипы названных видов, включенные в половую гибридизацию, образуют единый рекомбинационный генпул, внутри которого наблюдаются незначительные различия по репродуктивной совместимости. Главным подтверждением филогенетического единства этих таксонов являются высокие значения семенной фертильности гибридов уже в первом поколении и свободная рекомбинация диагностических признаков. Оценка наследования видовых диагностических признаков дает основание классифицировать вышеуказанные виды как внутривидовые таксоны *E. caninus* s. l. В комбинациях скрещивания *E. caninus* × *E. mutabilis* (Drob.) Tzvelev и *E. mutabilis* × *E. caninus* отмечены более низкие значения семенной фертильности гибридов в поколениях F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub>. Характер наследования различительных видовых признаков подтверждает возможность межвидовой интрогрессии при совместном произрастании. Тем не менее, хорологический и морфологический критерии подтверждают видовую самостоятельность *Elymus caninus* и *E. mutabilis*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00260, <https://rscf.ru/project/23-24-00260/>. При подготовке публикации использовались материалы биоресурсных научных коллекций ЦСБС СО РАН VHV № USU 440534 и № USU 440537 (NS, NSK).

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПО ISSR-МАРКЕРАМ СОРТОВ РОЗ ИЗ САДОВЫХ ГРУПП ГРАНДИФЛОРА И РОЗЫ КОРДЕСА****С. С. Юданова, О. В. Дорогина, О. Ю. Васильева**

ЦСБС СО РАН, Новосибирск, Россия

judanova.sophia@yandex.ru

Розы относятся к числу древнейших культивируемых растений. Наибольший интерес для создания розариев в условиях континентального климата представляют, наряду с розами чайно-гибридными и форибунда, сорта из групп грандифлора и розы Кордеса (кордезии). Проведено сравнение двух садовых групп роз – грандифлора (Гурзуф, Профессор Виктор Иванов, Лезгинка, Коралловый сюрприз, Queen Elizabeth, Комсомольский огонек, Love) и кордезии (Летние звезды, Dortmund, Гуцулочка) с целью определения родства внутри групп и возможного установления принадлежности выделяющихся сортов к той или иной группе. Анализ проводили по морфологическим (число лепестков, длина цветоноса, высота куста), фенологическим признакам (отрастание, бутонизация, первое и второе цветение и др.) и по молекулярно-генетическим маркерам (ISSR). Выделение ДНК осуществляли СТАВ методом. Построение дендрограмм выполнялось методом UPGMA с использованием программы TreeCon.

По комплексу морфо- и фенологических особенностей в группе грандифлора выделился сорт Комсомольский огонек. Форма цветка, мощный куст, позднее первое цветение, самое позднее и непродолжительное второе цветение свидетельствует о его тяготении к кордезиям. Анализ полиморфизма ISSR-маркеров показал, что этот сорт наиболее удален от других, образуя на дендрограмме отдельный кластер. Сравнение этих сортов по морфологическим признакам также показало достоверное отличие сорта Комсомольский огонек от сортов группы грандифлора. Анализ полиморфизма ISSR-маркеров при сравнении сорта Комсомольский огонек и роз Кордеса показал отсутствие близкого родства между ними: кордезии сформировали отдельный кластер. С высокой достоверностью наибольшее родство между собой выявлено у сортов Dortmund и Летние звезды. Данные сравнения морфологических показателей у кордезий и сорта Комсомольский огонек показало достоверное различие ( $p > 0,95$ ) по трем из четырех изученных морфологических признаков. Таким образом, как по морфологическим, так и по молекулярно-генетическим признакам близкое родство сорта Комсомольский огонек и роз Кордеса не подтвердилось, несмотря на то что из своей садовой группы, грандифлора, этот сорт выделяется, а по феноритмике он схож с сортом Dortmund из группы кордезий.

Сорт Комсомольский огонек из группы грандифлора обладает комплексной устойчивостью в условиях континентального климата, отличается по ряду хозяйственно-ценных признаков от типичных представителей своей садовой группы. Возможность его идентификации по ISSR-маркерам позволит в дальнейшем использовать технологии молекулярно-генетической паспортизации, необходимой для учета и сохранения ценных сортов.

*Исследование выполнено по комплексной программе фундаментальных научных исследований СО РАН, проект «Анализ биоразнообразия, сохранение и восстановление редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов» (№ АААА-А21-121011290025-2), с использованием материалов биоресурсной научной «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» (USU 440534).*

The background of the entire page is a close-up photograph of water ripples, creating a complex, organic pattern of light and dark blue tones. The ripples are concentric and overlapping, giving a sense of movement and depth. The lighting is bright, highlighting the crests of the waves and casting soft shadows in the troughs.

**СЕКЦИЯ 3**

**РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫЕ  
АССОЦИАЦИИ**

**ЭНДОФИТНОЕ СООБЩЕСТВО СОРТОВ ВИНОГРАДА ПРИМОРСКОГО КРАЯ РОССИИ**

**А. А. Береш<sup>1,2</sup>, О. А. Алейнова<sup>1</sup>, Н. Н. Нитяговский<sup>1</sup>, А. Р. Супрун<sup>1</sup>,  
А. А. Ананьев<sup>1</sup>, К. В. Киселёв<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> ДВФУ, Владивосток, Россия

*a.beresh@mail.ru*

Растения часто выступают мишенью для опасных бактерий и грибов, но, помимо этого, они способны образовывать и симбиозы с эндофитными микроорганизмами. Многие эндофиты винограда выделяют вещества, положительно влияющие на рост и развитие растения, а также обеспечивающие его адаптацию к различным абиотическим и биотическим стрессам. Дальневосточные сорта винограда являются уникальным объектом исследований, так как они выращиваются в холодном и влажном климате с коротким летним периодом.

В данной работе впервые было проанализировано биоразнообразие эндофитных бактерий и грибов наиболее распространенных сортов винограда Приморского края: *Vitis vinifera* × *Vitis amurensis* cv. Адель (гибрид № 82-41 F3), *Vitis riparia* × *V. vinifera* cv. Мукузани (родословная неизвестна), *Vitis labrusca* × *V. riparia* cv. Альфа и *Vitis Elmer Swenson 2-7-13* cv. Прэйри стар.

Бессимптомные образцы винограда были собраны с двух разных виноградников в Приморском крае России в июле 2022 г. В частности, с каждого виноградника Макаревич (Уссурийский городской округ, село Заречное) и PrimOrganica (Черниговский район, пгт Сибирцево) были собраны молодые побеги с тремя листьями двух 10–15-летних виноградных лоз двух сортов Адель и Мукузани, и два сорта Альфа и Прэйри стар соответственно. Используя технологию Illumina, участки *16S* и *ITS1* образцов ДНК были успешно секвенированы, и были созданы библиотеки. NGS в общей сложности произвело 3 285 397 и 743 375 парных прочтений *16S* и *ITS1* соответственно. После выравнивания парных концов, качественной фильтрации и удаления синглетонов, химерных и небактериальных или негрибных последовательностей из 8 образцов растений (по 2 образца с каждого растения) было получено в общей сложности 1 983 876 бактериальных *16S* и 256 028 грибных *ITS1* последовательностей. Основными представителями эндофитных микроорганизмов были бактерии классов Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Bacteroidia, Actinobacteria и грибы классов Dothideomycetes, Malasseziomycetes, Tremellomycetes, Microbotriomycetes. Также был проведен сравнительный анализ эндофитного сообщества сортов винограда, произрастающих на виноградниках, с эндофитным сообществом дикорастущего винограда *Vitis amurensis* Rupr. Было обнаружено, что биоразнообразие эндофитов дикого винограда *V. amurensis* было значительно богаче, чем у культивируемых сортов винограда.

Результаты, полученные в этом исследовании, могут быть использованы для создания потенциальных средств биоконтроля виноградников для защиты растений от абиотических воздействий и патогенов.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-10001, <https://rscf.ru/project/22-74-10001/>.*

## ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЕВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *CLEMATIS* DILL. EX L. К МИКОЗАМ В КОЛЛЕКЦИИ ДОНЕЦКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА (ДБС)

**И. В. Бондаренко-Борисова, Л. В. Митина**

ГБУ «ДБС», Донецк, ДНР, Россия  
irina\_bondarenko\_2022@mail.ru

Клематисы (Ranunculaceae) – многолетние травянистые или одревесневающие растения, широко применяющиеся в декоративном садоводстве. В степной зоне клематисы проявляют низкую устойчивость к погодным условиям, патогенам и вредителям, что, однако, не снижает их востребованность в приусадебном озеленении. Это требует регулярных фитосанитарных наблюдений с целью подбора оптимального ассортимента видов и сортов (с учетом их географического происхождения) для региональных условий. Начиная с 1965 г. в ДБС интродукционные испытания прошли 28 видов, 5 форм и 7 сортов рода *Clematis* L. Растения ежегодно страдали от микозов и мелойдогиноза. Это привело к выпаду 10 видов, выходцев из восточно-азиатских флористических областей. В настоящее время коллекция насчитывает 18 видов и 6 культиваров.

В вегетационные периоды 2018–2022 гг. был проведен мониторинг микозов клематисов в коллекции. Собранный материал изучался в соответствии с общепринятыми методами микологических исследований.

Наиболее вредоносными болезнями были ржавчина и «аскохитоз» (бурая пятнистость листьев, или вилт клематиса). Ржавчина (возбудитель – *Puccinia agropyri* Ellis & Everhart) ежегодно проявлялась в эцидиальной стадии в июне, приводя к деформации и перфорации листовых пластинок. Болезнь вызывала преждевременный листопад, снижая декоративность растений. Ржавчиной поражались *C. integrifolia* L., *C. recta* L., *C. viticella* L., крупноцветковый гибрид *C. ×jackmanii* T. Moore. Устойчивость к заболеванию в полевых условиях продемонстрировали *C. lathyrifolia* Besser ex Rchb., *C. orientalis* L., *C. serratifolia* Rehder, *C. terniflora* var. *mandshurica* (Rupr.) Ohwi.

Бурая пятнистость листьев и вилт побегов, вызывались микромицетом *Calophoma clematidina* (Thüm.) Q. Chen & L. Cai (syn. *Ascochyta clematidina*), поражавшим крупноцветковые раннецветущие (Patens Group) и поздноцветущие (Jackmanii Group) сорта. Среди видовых клематисов вилтом поражен только *C. integrifolia*.

У некоторых южно-европейских и средиземноморских видов (*C. integrifolia*, *C. lathyrifolia*, *C. recta*, *C. viticella*) отмечалось развитие листовых пятнистостей, вызываемых микромицетами родов *Septoria*, *Passalora*, *Alternaria*.

За весь период наблюдений в ДБС не выявлена мучнистая роса клематиса (возбудители – *Erysiphe aquilegiae* var. *aquilegiae* de Candolle, *E. a.* var. *ranunculi* (Greville) Zhang & Chen, *Leveillula taurica* (Léveillé) Arnaud), повсеместно встречающаяся в Европе.

Таким образом, полевую устойчивость к микозам за 4-летний период наблюдений проявили клематисы восточно-центральноазиатского (*C. serratifolia*, *C. terniflora* var. *mandshurica*) и средиземноморско-азиатского (*C. orientalis* L.) происхождения, что позволяет рекомендовать их для регионального озеленения.

Исследование выполнено в рамках тематики научной работы ГБУ «ДБС» № I-3-21 ((№ гос. регистрации 0122D000027).



## ВЛИЯНИЕ АУКСИН-ПРОДУЦИРУЮЩЕГО ШТАММА *PSEUDOMONAS SP. GEOT18* НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

**А. А. Бычкова, А. В. Сидоров, В. Р. Трофименко, Ю. В. Зайцева, О. А. Маракаев**

ЯрГУ им. П. Г. Демидова, Ярославль, Россия  
anasanby98@mail.ru

Ключевая роль в регуляции основных процессов роста и развития растений принадлежит фитогормонам. Одну из наиболее важных групп гормонов растений составляют ауксины. Ауксины регулируют рост побегов и корней растений, обеспечивают адаптацию к стрессовым условиям.

Известно, что некоторые штаммы бактерии, ассоциированные с растениями, способны синтезировать индол-3-уксусную кислоту (ИУК). Применение таких штаммов в растениеводстве может способствовать повышению посевных характеристик семян, оптимизировать минеральное питание растений, стимулировать цветение и формирование плодов. В связи с этим, поиск новых более эффективных ауксин-продуцирующих штаммов бактерий является актуальной задачей.

В ходе данной работы мы оценивали способность штамма *Pseudomonas sp. GEOT18*, выделенного из внутренних тканей подземных органов *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo (Orchidaceae Juss.), к синтезу ауксинов, а также оценивали его влияние на всхожесть семян, корнеобразование, линейный рост и накопление биомассы яровой твердой пшеницы сорта «Харьковская-46» в условиях почвенной культуры.

Семена пшеницы в течение 20 мин предварительно обрабатывали суточной суспензией исследуемого бактериального штамма. В качестве контроля использовали семена без обработки, а также семена, обработанные раствором экзогенной ИУК в концентрации  $10^{-6}$  М. У опытных растений оценивали такие показатели роста и развития, как энергия прорастания и общая всхожесть семян, длина главного корня, общая и рабочая поверхность корней, сырая и сухая масса надземных и подземных органов.

В результате проведенного исследования было установлено, что предварительная инокуляция семян пшеницы сорта «Харьковская-46» штаммом *Pseudomonas sp. GEOT18* способствует увеличению энергии прорастания и всхожести семян по отношению к контролю на 27 и 33 % соответственно. При этом длина главного корня у инокулированных проростков пшеницы увеличилась по отношению к контролю на 52 %, общая и рабочая поверхность корня – на 6 %. Также было отмечено увеличение длины надземной части проростков на 11 %. Общая сырая масса опытных растений на 12,5 % выше по сравнению с показателями растений контрольной группы.

Согласно полученным данным, штамм *Pseudomonas sp. GEOT18* проявляет стимулирующее действие, выражающееся в увеличении показателей энергии прорастания и всхожести семян, линейных показателей, а также массы подземных и надземных органов пшеницы.

*Исследование выполнено в научно-образовательной лаборатории «Молекулярная генетика и биотехнология» в рамках программы развития ЯрГУ до 2030 г. (№ 123042800011-6).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Biotechnological potential of phosphate-solubilizing *Pseudomonas migulae* strain GEOT18 / A. A. Bychkova, Y. V. Zaitseva, A. V. Sidorov, A. S. Aleksandrova, O. A. Marakaev // International Journal of Agricultural Technology. – 2022. – Vol. 18, N 4. – P. 1403–1414.

## ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ В ВЕГЕТАЦИОННОМ ОПЫТЕ

**В. А. Валиева, Л. И. Пусенкова**

Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН, Уфа, Россия  
valiyeva.valeriya.01@mail.ru

Картофель – одна из важнейших полевых культур, обладающая высоким потенциалом урожайности. Перед отечественными картофелеводами стоит задача по повышению урожайности и улучшению товарного вида клубней. На сегодняшний день ученые разрабатывают микробные биопрепараты на основе эндофитных штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, которые рассматриваются как биологически активная стратегия для повышения продуктивности картофеля.

В данной работе проанализировано влияние предобработки мини-клубней штаммами эндофитных бактерий *B. subtilis* 10-4 и *B. subtilis* 26D на содержание фотосинтетических пигментов в листьях в период вегетации и продуктивность растений картофеля. Исследования проводили на растениях картофеля (*Solanum tuberosum* L., сорт Башкирский), выращенных из оздоровленных аэропных мини-клубней в климатической камере с контролируемыми условиями. Клубни обрабатывали погружением в растворы с суспензиями бактерий *B. subtilis* 10-4 и 26D в концентрации  $10^7$  КОЕ/мл и высаживались в торфяной грунт. Содержание хлорофилла в листьях картофеля определяли методом спектрофотометрии.

По результатам исследований выявлено, что через 14 дней после посадки среднее количество стеблей на одно растение картофеля в контроле составило три штуки, в вариантах обработок *B. subtilis* 10-4 26D – 2,7 и 2,3 шт. соответственно. Средняя высота растений в контроле составила 5,3 см, в вариантах с предобработками штаммами *B. subtilis* 10-4 и *B. subtilis* 26D – 4,7 и 4,5 см соответственно. Вместе с тем инокуляция штаммами способствовала более ускоренному по сравнению с контролем наступлению фаз растений картофеля. Предобработка *B. subtilis* 10-4 и 26D стимулировала фотосинтез за счет увеличения содержания зеленых пигментов и каротиноидов в листьях. В фазе бутонизации суммарное содержание хлорофилла *a* и *b* увеличивалось по отношению к контролю на 78%, а каротиноидов на 60 %. Но в фазе полного цветения в вариантах с обработкой клубней штаммом 26D содержания хлорофилла и каротиноидов снизилось до уровня контроля. Обработка клубней штаммом 10-4 в фазе бутонизации не привела к значительному повышению хлорофилла и каротиноидов относительно контроля, а в фазе полного цветения зафиксировано повышение суммарного содержания хлорофилла *a* и *b* на 85 %, каротиноидов на 60 % от уровня контроля. Через 70 дней после посадки масса ботвы растений картофеля в контроле составила 55 г/куст, в вариантах с предобработками штаммами 10-4 и 26D – 55 и 65 г/куст соответственно. При этом масса корней в вариантах обработки *B. subtilis* 10-4 и 26D составила 3,13 и 3,30 г соответственно, что выше контроля на 53,4 и 61,7 % контроля (2,04 г/куст). Количество сформировавшихся клубней картофеля в контроле составило 3 штуки на куст, в вариантах обработки 10-4 и 26D – 5 и 6 штук/куст соответственно. Биологическая продуктивность растений картофеля в контроле составила 58,5 г/куст, в вариантах обработки 10-4 и 26D – 57,3 и 68,2 г/куст соответственно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00262, <https://rscf.ru/project/23-26-00262/>.

## МИКРОБИОМ ЭНДЕМИЧНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИОЛЬХОНЬЯ *HEDYSARUM ZUNDUKII* И *OXYTROPIS TRIPHYLLA* (FABACEAE) КАК ИСТОЧНИК МИКРООРГАНИЗМОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**И. А. Васильев, Д. А. Кривенко, И. С. Петрушин, Ю. А. Маркова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*ivasil85@gmail.com*

Стабильный эукариотный геном растения не способен в течение жизненного цикла своевременно адаптироваться к постоянно меняющимся условиям окружающей среды. Устойчивость к недостатку влаги и засолению почвы, обеспечение недостающими питательными веществами, стимуляция роста и ингибирование фитопатогенных грибов и бактерий – являются результатом сложного процесса растительно-микробного симбиоза. Растения, обитающие в экстремальных условиях, содержат микроорганизмы, которые могут обладать признаками полезности для использования в сельском хозяйстве. Цель работы – изучение эндо- и ризосферных микроорганизмов стенотопных эндемичных видов растений Прибайкалья, представителей сем. Fabaceae – *Hedysarum zundukii* Peschkova (копеечника зундукского) и *Oxytropis triphylla* (Pall.) Pers. (остролодочника трехлисточкового). Эти виды растений произрастают в низкотравных сухих каменистых степях, характеризующихся широким распространением выходов мраморов, известняков и кальцитов, малым количеством осадков (около 200 мм в год), а также повышенной инсоляцией.

Извлеченные из грунта растения стерилизовали в 10% растворе перекиси водорода в течение 30 мин и растирали в ступке. Полученный гомогенат высевали на среды Эшби, Чапека, крахмало-аммиачный агар и ГМФ-агар (НИЦФ Санкт-Петербург).

В результате было выделено 102 штамма микроорганизмов из копеечника зундукского и 41 – из остролодочника трехлисточкового. Из них 63 являются грамотрицательными бактериями, в том числе 6 азотобактерами, 52 грамположительными, 20 предварительно идентифицированы как актиномицеты и 8 как микромицеты. Нескольким штаммам было идентифицировано с использованием метода секвенирования фрагмента гена 16s рПНК. Это *Arthrobacter* sp., *Lisobacter* sp., *Mesorhizobium* sp., *Moraxella osloensis*, *Neorhizobium* sp., *Pantoea agglomerans*, *Peribacillus frigiditolerans*, *Phyllobacterium zundukense*, *Sinorhizobium* sp. и *Xanthomonas* sp. На следующем этапе исследований планируется идентификация и изучение биологических свойств выделенных микроорганизмов.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00204.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Korchagina O. S. Genetic diversity of four species of the Genus *Astragalus* L. Section *Cenantrum* Bunge (Fabaceae) in the Asian part of Russia according to the data of *trnL-trnF* chloroplast DNA variability and isozyme markers / O. S. Korchagina, D. A. Krivenko, A. Y. Belyaev // Russ J Genet. – 2022. – Vol. 58. – P. 27–35. doi: 10.1134/S1022795422010057

Изучение взаимодействия ризосферных бактерий с неризобияльными эндофитными бактериями растений гороха (*Pisum sativum* L.), перемещающимися из их корней в прикорневую зону / Л. Е. Макарова, Ю. А. Маркова, А. С. Мориц, М. С. Карпова, А. В. Сидоров, Н. А. Соколова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2021. – Т. 57, №. 4. – С. 394–401. doi: 10.31857/S0555109921040103

**BRACHYPODIUM DYSTACHION КАК МОДЕЛЬНОЕ РАСТЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАТОГЕННОСТИ ГРИБОВ – ПРОДУЦЕНТОВ Т-2 И НТ-2 ТОКСИНОВ****О. П. Гаврилова, Т. Ю. Гагкаева**ФГБНУ ВИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия  
olgavrilova1@yandex.ru

Злак *Brachypodium dystachion* (Bd) в последние годы активно используют как модельное растение для оценки взаимоотношений в патосистеме «гриб – растение-хозяин» при изучении фитопатогенных грибов, в том числе *Fusarium* (Peraldi et al., 2011; Tancic, 2017; Dinolfo et al., 2021). Преимуществом Bd является его относительная легкость культивирования в лабораторных условиях с получением зерна за короткий период (2 месяца), поскольку часто проведение иммунологического и фитопатологического анализов заболеваний генеративных органов зерновых культур в поле лимитировано возможностью получения только одного урожая в год.

Фузариоз зерна вызывают грибы рода *Fusarium* – группа чрезвычайно разнообразных организмов, характеризующихся широким диапазоном свойств – от эндофитов до патогенов (O'Donnell et al., 2015). И, если взаимоотношения зерновых растений с высокоагрессивными грибами *F. graminearum* и *F. culmorum* достаточно подробно проанализированы (Chen et al., 2019; Miedaner et al., 2021; Xu et al., 2022), то процесс инфицирования растений слабопатогенными грибами *F. langsethiae* и *F. sibiricum* до сих пор остается малоизученным. Инокуляция колосьев пшеницы или метелок овса этими грибами не приводит к появлению симптомов фузариоза (Martin et al., 2018; Aamot et al., 2022; Somma et al., 2022), однако в зерне накапливаются продуцируемые ими Т-2 и НТ-2 токсины (Т-2/НТ-2).

Целью нашего исследования являлась оценка в лабораторных условиях реакции двух линий Bd 21 и Bd 31 на заражение токсинопродуцирующими грибами *F. langsethiae* и *F. sibiricum*. Опрыскивание растений проводили суспензиями штаммов различного географического происхождения (по 4 штамма каждого вида) и учитывали количественные показатели заражения – количество ДНК грибов с помощью реал-тайм ПЦР и суммарное содержание Т-2/НТ-2 в зерне иммуноферментным методом.

В зерне всех инокулированных вариантов выявлены ДНК *F. langsethiae* (0,4–13,3 нг/нг) или *F. sibiricum* (0,5–56,9 нг/нг), а также их микотоксины (124–3797 мкг/кг). В вариантах Bd, инокулированных штаммами *F. langsethiae*, количество Т-2/НТ-2 было достоверно ниже (в среднем 729±163 мкг/кг), чем в вариантах, инокулированных штаммами *F. sibiricum* (2081±409 мкг/кг). В среднем, линия Bd 21 оказалась более восприимчивой к заражению *F. langsethiae* и *F. sibiricum*, чем линия Bd 31. При инокуляции Bd 21 штаммами двух видов причинно-следственная связь между выявленными количествами ДНК грибов и микотоксинов в зерне была достоверно выше (коэффициенты корреляции составили  $r = 0,93$  и  $0,99$ , при  $p < 0,05$ ), чем при инокуляции Bd 31 ( $r = 0,13$  и  $0,70$ ).

Варьирование количественных показателей демонстрирует перспективность изучения различных аспектов взаимоотношений грибов *Fusarium* и зерновых культур, с использованием злака Bd в качестве модельного растения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-76-30005).

## РЕАКЦИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА РИЗОСФЕРЫ РАСТЕНИЙ-ФИТОРЕМЕДИАНТОВ НА НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ

**А. С. Григориадз<sup>1</sup>, Р. Г. Фархутдинов<sup>1</sup>, Н. В. Зобкова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> УУНиТ, Уфа, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО ОрГМУ Минздрава России, Оренбург, Россия

Grigoriadis@iust.ru

Нефть, нефтепродукты или нефтеотходы являются частой причиной загрязнения почвы и, как следствие, причиной нарушения структуры микробиомов и фитосеносов. Разработка эффективных методов борьбы с данным типом поллютантов относится к перспективным направлениям экологической биотехнологии. Для рекультивации нефтезагрязненных объектов окружающей среды перспективно использовать комплексные методы, включающие препараты на основе углеводородокисляющих микроорганизмов и растения-фиторемедианты, в прикорневой зоне которых активно развиваются микроорганизмы, участвующие в деструкции поллютантов. В нашем исследовании проводилась оценка микробиологической активности в ризосфере растений, произрастающих в условиях нефтяного загрязнения и в присутствии биопрепаратов разного спектра действия. Это позволило охарактеризовать интенсивность протекания процессов очистки почвы и стадии адаптации структуры микробного сообщества. В качестве фиторемедиантов нами были выбраны представители *Helianthus annuus* L. и *Agropyron cristatum* L. из-за особенностей их корневой системы. Предварительно проводилось исследование уровня фитотоксичности почв с разным уровнем загрязнения в отношении выбранных растений для выявления оптимальной концентрации нефти, которая не будет значительно подавлять ростовые процессы.

Основной эксперимент проводили на образцах южного чернозема Оренбургской области с массовой долей нефти 4%. Для дополнительной обработки почвы использовался ряд микробных препаратов: «Ленойл» – в качестве активного агента деструкции нефтяных углеводородов, «Азолен» – биоудобрение, обогащающее почву азотом и стимулирующее рост растений; «Елена» – биофунгицид с ростостимулирующим эффектом, позволяющий защитить от развития фитопатогенных микроорганизмов, которые часто активно развиваются в загрязненной почве. Биопрепараты вносили в соответствии с рекомендованными нормами производителя. Для определения микробиологической активности почвы использовали показатели численности микроорганизмов разных эколого-физиологических групп.

В результате было показано, что в ризосфере растений под влиянием загрязнения увеличилось общее микробное число, но снизилась численность олигонитрофилов, бактерий, использующих минеральные формы азота, и целлюлозолитиков. Внесение в почву биопрепаратов активировало развитие микроорганизмов-деструкторов, несмотря на то, что большинство из них имеет неспецифическое действие на данную группу. Активность олигонитрофилов под влиянием биопрепаратов отличалась в зависимости от типа растения («Елена» стимулировал данную группу в прикорневой зоне подсолнечника, а «Азолен» и «Ленойл» – в ризосфере житняка гребневидного). Целлюлозоразлагающие микроорганизмы активнее развивались под посевами житняка при обработке почвы микробными препаратами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00358, <https://rscf.ru/project/23-24-00358/>.

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ И ГРИБОВ ДИКОРАСТУЩЕГО ВИНОГРАДА *VITIS AMURENSIS* RUPR. И *VITIS COIGNETIAE* PULLIAT., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ**

**А. А. Днепровская<sup>1,2</sup>, О. А. Алейнова<sup>1</sup>, Н. Н. Нитяговский<sup>1</sup>, А. Р. Супрун<sup>1</sup>,  
А. А. Ананьев<sup>1</sup>, К. В. Киселёв<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> ДВФУ, Владивосток, Россия

*dneprovskayaalina@yandex.ru*

Виноград является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых человеком с незапамятных времен. Комплексное изучение дикорастущих видов винограда, способных противостоять неблагоприятным внешним условиям и стрессам в виде перепадов температур, УФ и патогенов, поможет более эффективно возделывать данную культуру. Обнаружение, выделение и применение эндофитов, подавляющих развитие патогенных микроорганизмов, в дикорастущем винограде приведут к увеличению производительности полей без генетического вмешательства. Используя геномный подход и классический метод микробиологии, были изучены бактериальные и грибные эндофитные сообщества дикорастущих сортов винограда *Vitis amurensis* Rupr. и *Vitis coignetiae* Pulliat, произрастающих на Дальнем Востоке России. Согласно анализу NGS, в *V. amurensis* и *V. coignetiae* присутствовали бактерии 23 и 18 таксонов уровня класса соответственно. Для *V. amurensis* доминирующим классом эндофитных бактерий были Gammaproteobacteria (35 %), а для *V. coignetiae* – Alphaproteobacteria (46 %). Наиболее распространенными родами для *V. amurensis* и *V. coignetiae* были таксоны *Sphingomonas*, *Methylobacterium* и *Hemynobacter*. Метагеномный анализ показал наличие 24 и 22 грибов и грибоподобных таксонов классового уровня в виноградных лозах *V. amurensis* и *V. coignetiae* соответственно. Преобладающими классами были Dothideomycetes (63–67 %) и Tremellomycetes (11 %). Наиболее распространенными родами микромицетов для *V. amurensis* и *V. coignetiae* были *Cladosporium* и *Aureobasidium*. Также был проведен сравнительный анализ эндофитного сообщества *V. amurensis* и *V. coignetiae*, полученный в этом исследовании, с ранее изученным эндофитным биоразнообразием винограда *Vitis vinifera*. Бактериальное разнообразие образцов винограда *V. amurensis* и *V. coignetiae* было сходно по альфа-разнообразию с бактериальным разнообразием *V. vinifera*. Альфа-разнообразие грибов *V. amurensis* и *V. coignetiae* статистически отличалось от *V. vinifera*. Бета-разнообразие бактериальных и грибных эндофитов представлено так, что образцы *V. vinifera* образуют отдельные кластеры, а образцы *V. amurensis* образуют отдельный кластер, включающий образцы *V. coignetiae*.

Полученные в ходе исследования данные об эндофитных сообществах дикорастущих сортов винограда *V. amurensis* и *V. coignetiae* представляют собой фундаментальное значение для биологии и могут в будущем при дальнейших исследованиях быть использованы в качестве базы для подбора эндофитов для повышения продуктивности виноградников.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-10001, <https://rscf.ru/project/22-74-10001/>.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ НАВЫКОВ УЧАЩИХСЯ В ХОДЕ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОБНЫХ АССОЦИАЦИЙ ПОЧВ ГОРОДСКИХ РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Э. Р. Зиннатова, О. В. Семенова**

МАУ ДО ГорСЮН, Нижний Тагил, Россия

*elvira\_nt@list.ru*

Деятельность почвенных микроорганизмов играет большую роль в формировании почвы, создании ее плодородия. Различные микроорганизмы осуществляют огромную работу по минерализации попадающих в почву органических веществ, переводят многие соединения в доступные для растений формы, обуславливают круговорот минеральных элементов в природе.

К сожалению, почвы рекреационно нагруженных территорий на сегодняшний день испытывают значительное антропогенное воздействие, поэтому актуальной является грамотная оценка их экологического состояния для последующей рекультивации. Именно это определило привлечение школьников старших классов к изучению данного раздела экологии, представляющего как научный, так и профориентационный интерес, особенно на территории крупных промышленных центров Среднего Урала.

Исследование проводилось на отвалах вскрышных и пустых пород, вынутых из Главного карьера Высокогорского рудника, г. Нижний Тагил. Оценивался физико-химический состав почв, а также активность азотфиксирующих и многофункциональных бактерий из почвенных образцов. Было установлено, что почвы отвалов относятся к тяжелосуглинистым, рН почвенной вытяжки = 7, содержание нитратов – 25 мг/л. На почвенных образцах наблюдался активный рост и развитие бактерий (100 % обрастание почвенных комочков на 3–4 день культивирования). В образцах присутствовали бесцветные колонии (*Azotobacter agilis*), колонии желто-зеленого цвета и колонии с коричнево-черным пигментом (*Azotobacter chroococcum*), анализ активности многофункциональных бактерий (фосфатомобилизирующие и мобилизирующие калий штаммы, микроорганизмы-продуценты сидерофоров, целлюлозолитические микроорганизмы) из почвенных образцов показал хорошее экологическое состояние почвы.

Все вышеперечисленное позволяет предположить, что микробные сообщества могут рассматриваться как индикаторы техногенного загрязнения почв, а также как один из элементов начального этапа биологической рекультивации.

Опыт работы со школьниками показал, что изучение почвенных микроорганизмов может быть предложен не любому ребенку, а только способному к длительному, кропотливому проведению эксперимента, а также умеющему интерпретировать полученные результаты в соответствии с уровнем научной подготовки в области биологии. В то же время данный эксперимент можно использовать для повышения заинтересованности учащихся к изучению дисциплин биологического и экологического цикла. Привлечение учащихся к исследовательской деятельности такого характера обеспечивает более осознанный выбор ребенком будущей профессии и позволяет более успешно реализовывать собственные знания и умения.

**ВОЗДЕЙСТВИЕ КОЛОНИИ СЕРОЙ ЦАПЛИ (*ARDEA CINEREA* L.) НА БИОГЕОХИМИЮ ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ: ЕСТЕСТВЕННЫЙ ДОЛГОСРОЧНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СОСНОВОЙ ПОСАДКЕ****А. Р. Каюмов<sup>1</sup>, М. И. Богачев<sup>2</sup>, Д. В. Тишин<sup>1</sup>, Б. И. Гараев<sup>1</sup>, Р. Г. Имаев<sup>1</sup>, М. И. Маркелова<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ФГАОУ ВО КФУ, Казань, Россия<sup>2</sup> СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

kairatr@yandex.ru

Общими недостатками искусственных лесонасаждений являются снижение биоразнообразия и устойчивости экосистем. В данной работе мы представляем комплексное исследование воздействия крупной колонии серой цапли (*Ardea cinerea* L.) на биогеохимию почвы и растительность в сосновой посадке, представляющей собой естественный эксперимент *in situ* в искусственно созданной экосистеме.

После заселения примерно в 2006 г. колония разрасталась в течение 15 лет, что привело к интенсивному отложению питательных веществ с фекалиями, остатками пищи и перьями, что значительно изменило местную биогеохимию почвы. Так, наблюдается падение pH до 4,5, увеличение концентрации фосфора и азота в 10 и 2 раза соответственно, изменение количества K, Li, Mn, Zn и Co в 1,2 раза, в то время как содержание органического углерода не изменилось. Это говорит о подавлении растительности, что также отражается в индексах вегетации, полученных с помощью дистанционного зондирования. Кроме того, выявлено снижение микробного разнообразия почвы со значительным изменением относительного обилия Proteobacteria, Firmicutes, Acidobacteriota, Actinobacteriota, Verrucomicrobiota, Gemmatimonadota, Chujaiabacter, Rhodanobacter, Bacillus. На повышенную уязвимость деревьев к комбинированным биогеохимическим и климатическим стрессам также указывает их ограниченное восстановление после сильного стресса засухи 2010 г., в отличие от окружающего леса ( $p = 3 \cdot 10^{-5}$ ). Сложная взаимосвязь между различными показателями показана в модели байесовской сети, построенной по результатам исследований. Также мы подтвердили предсказуемость моделей биоразнообразия и динамики роста деревьев с учетом концентраций основных загрязнителей почвы с корреляцией  $R > 0,8$  между наблюдением и прогнозом, что указывает на возможность оценки риска, которую можно было бы в дальнейшем использовать для обоснованной корректировки управления лесонасаждениями.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания (№ FZSM-2023-0013). Дистанционное зондирование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-10042, <https://rscf.ru/project/22-76-10042/>.*



## ГОРМОНАЛЬНЫЙ ОТВЕТ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM* L.) НА ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ – КЛЮЧЕВОГО СТРЕСС-ФАКТОРА ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

**А. Б. Китаева, В. Е. Цыганов**

ФГБНУ ВНИИСХМ, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

*anykitaeva@gmail.com*

В связи с глобальным потеплением климата исследования влияния повышенных температур на бобовые культуры становятся особенно актуальными. Ранее нами было выявлено, что при воздействии повышенной температуры (28 °С) на растения гороха линии дикого типа SGE при инокуляции штаммом *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* индуцируется старение в апикальной части клубенька, визуальное проявляющееся в изменении окраски с розовой на зеленую. Следует отметить, что ранее было показано, что как естественное, так и индуцированное старение активируются в базальной части клубенька. При этом было выявлено, что в процессе старения симбиотических клубеньков гороха абсцизовая кислота (АБК) и этилен являются позитивными регуляторами, в то время как гиббереллины – негативными. В данном исследовании была изучена роль фитогормональной регуляции в активации старения клубенька в его апикальной части при воздействии повышенной температуры.

Трехнедельные растения гороха линии дикого типа SGE, выращенные при оптимальной температуре (21 °С), переносились в условия повышенной температуры (28 °С). Распределение фитогормонов в тканях клубеньков анализировали с помощью методов иммунофлуоресценции и лазерной сканирующей конфокальной микроскопии через 1, 5 и 9 сут. экспозиции.

Через сутки после переноса в клубеньках наблюдалось повышение уровня предшественника синтеза этилена 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты (АЦК) и АБК по сравнению с контролем. Через 5 сут. после переноса уровень АЦК и АБК уменьшался, при этом через 9 сут. наблюдалось значительное снижение сигнала обоих гормонов. При этом в контрольных клубеньках уровень сигнала АЦК и АБК увеличивался с увеличением возраста клубеньков.

В то же время уровень сигнала гиббереллиновой кислоты (ГАЗ) снижался через сутки после переноса по сравнению с контролем. Через 5 сут. происходило значительное снижение уровня сигнала ГАЗ и через 9 сут. в клубеньках детектировались лишь следы ГАЗ в отдельных деградирующих клетках.

Таким образом, повышенный уровень АБК и АЦК является одним из ранних ответов, запускающих формирование зоны старения в апикальной части клубенька. Падение сигнала в последующие сроки анализа, вероятно, связано с деградацией симбиотических структур. Выявленное уменьшение уровня сигнала ГАЗ в клубеньках, подвергнутых действию повышенной температуры, особенно через 9 дней экспозиции, подтверждает, что гиббереллины являются негативными регуляторами старения клубенька.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-16-00117.*

**БАКТЕРИИ РОДА *BACILLUS* В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ СМОРОДИНЫ К МИКОЗАМ**

**А. С. Козлова**<sup>1</sup>, **Т. В. Шпатова**<sup>1</sup>, **В. С. Масленникова**<sup>1,2</sup>, **Е. В. Бедарева**<sup>1,2</sup>,  
**К. А. Табанохов**<sup>2</sup>, **И. М. Дубовский**<sup>1</sup>, **М. В. Штерншис**<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ ФТМ, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> ФГБНУ ФНЦБЗР, Краснодар, Россия

AnastasiaKozlova970711@ya.ru

Смородина черная занимает одно из лидирующих мест среди ягодных культур в России. Наиболее распространенными и вредоносными грибными заболеваниями смородины являются септориоз и антракноз, при поражении снижается урожайность и ухудшается качество плодов. Для усиления иммунного ответа растений в подавлении микозов перспективно применение биопрепаратов на основе штаммов рода *Bacillus* – антагонистов фитопатогенных грибов.

Цель исследования – изучить влияние бактериальных препаратов серии Фитоп на пораженность смородины грибными микозами.

Объекты исследования: смородина сорта Мила, септориоз (*Septoria ribis* Desm), антракноз (*Gloeosporium ribis* Mont, et Desm), биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* Фитоп 8.1, 8.67, 4.70 и 14.72 предоставлены ООО НПФ «Исследовательский центр» наукоград Кольцово (Новосибирская область). Полевой деляночный опыт включал 10 вариантов с использованием препаратов на основе разных штаммов: Фитоп 8.67, Фитоп 8.1, Фитоп 4.70 и Фитоп 14.72 в двух концентрациях:  $10^4$  и  $10^5$  КОЕ/мл. Действие биопрепаратов оценивали по показателю развития болезни (%) в сравнении с контролем и рассчитывали биологическую эффективность. При этом определяли комплекс биохимических показателей. Исследования проводили в насаждениях смородины сорта Мила в Новосибирской области в 2022 г. и в лаборатории биологической защиты и биотехнологии Новосибирского ГАУ.

Применение в полевых условиях биопрепаратов Фитоп 8.1 и 8.67, Фитоп 4.70 и 14.72 позволило длительный период сдерживать пораженность микозами листьев смородины. Пораженность септориозом и антракнозом вызывала значительные изменения в функциональном состоянии смородины, что отражалось на уровне ферментативной активности и концентрации фотосинтетических пигментов. Выявлены достоверные различия по увеличению концентрации хлорофилла *a* и *b* под влиянием биопрепаратов серии Фитоп в листьях смородины, а также рост активности пероксидазы и полифенолоксидазы.

Эти биохимические изменения в листьях соответствовали снижению развития болезней смородины. Так, развитие заболеваний снижалось в 2,2–2,7 раза относительно контроля. Биологическая эффективность применения Фитоп 8.1 и 8.67 в отношении микозов достигала 59,4–78,4 %, Фитоп 4.70 и 14.72 – 64,8–62,9 % в зависимости от заболевания.

Таким образом, продемонстрирована связь биохимических изменений в листьях с развитием болезней и перспективность использования экспериментальных биопрепаратов серии Фитоп в отношении микозов черной смородины, распространенных в условиях Новосибирской области.

## НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ МИКРОМИЦЕТОВ В ЭВРИБИОНТНЫХ РАСТЕНИЯХ ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

**Г. П. Кононенко, А. А. Буркин**

ВНИИВСТЭ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ им. К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко РАН, Москва, Россия

kononenkogr@mail.ru

Современная биологическая наука рассматривает растения как ассоциаты с сообществами эндогенных микроорганизмов (бактерий и грибов), вовлеченными в биохимические процессы. Участие низкомолекулярных вторичных метаболитов растений в ответных реакциях на стрессовые абиотические воздействия широко известно. Недавно установлены отчетливые различия по составу и содержанию метаболитов, свойственных токсигенным микромицетам, у стенобионтов (галофитов) из супралиторальной зоны побережья Кандалакшского залива Белого моря, которые адаптированы к обитанию при частичном заплескивании и при регулярном полном осушении и погружении в приливную морскую воду. Цель данной работы – профилирование микотоксинов у эврибионтных видов, растущих в прибрежной полосе того же участка побережья – горошка узколистного *V. angustifolia* Reichard (сем. Бобовые), желтушника Маршалла *Erysimum marschallianum* Andr. (сем. Крестоцветные), гирчовника татарского *Conioselinum tataricum* Hoffm. и борщевика сибирского *Heracleum sibiricum* L. (сем. Зонтичные). Подготовка образцов вегетативных частей растений и процедура выполнения иммуноферментного анализа на Т-2 токсин, фумонизины группы В, охратоксин А, роридин А, РR-токсин, циклопиазоновую кислоту (ЦПК), микофеноловую кислоту (МФК), альтернариол (АОЛ), афлатоксин В<sub>1</sub> (АВ<sub>1</sub>), стеригматоцистин (СТЕ), дезоксиниваленол, эргоалкалоиды (ЭА), эмодин (ЭМО), цитринин (ЦИТ) и зеараленон (ЗЕН) не отличались от описанных ранее (Кононенко, Буркин, 2019). В борщевике сибирском присутствовали ЦПК (мин. – средн. – макс. уровень, мкг/кг, 257-308-380), МФК (63-82-102), АОЛ (25-32-40) и АВ<sub>1</sub> (2-3-3), а в гирчовнике татарском – ЦПК (240-350-500), МФК (24-36-58), АОЛ (22-56-79) и АВ<sub>1</sub> (2-3-4). Состав и содержание метаболитов у этих видов внутри семейства совпадали, как уже отмечалось и ранее, например, для бобовых растений – люпина многолистного и солодки голой. В желтушнике Маршалла присутствовали ЦПК (118 мкг/кг), АОЛ (14 мкг/кг), ЭА (15 мкг/кг) и ЭМО (19 мкг/кг), а также ЦИТ (46 мкг/кг) и ЗЕН (287 мкг/кг). Контаминация ЦПК, АОЛ, ЭА и ЭМО типична для крестоцветных, но обнаружение ЦИТ является редким, как и столь высокое накопление ЗЕН. У горошка узколистного выявлены СТЕ (20-280-790), АОЛ (12-71-110), ЭМО (29-62-150) и ЭА (2-6-9). Полученные результаты послужат основой для продолжения обследования этих растений из географически удаленных мест произрастания.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Кононенко Г. П. Вторичные метаболиты микромицетов в растениях семейства Fabaceae родов *Lathyrus*, *Vicia* / Г. П. Кононенко, А. А. Буркин // Известия РАН. Серия биологическая. – 2019. – № 3. – С. 229–235. doi: 10.1134/S0002332919030044

Буркин А. А. Вторичные метаболиты микромицетов в растениях семейства Brassicaceae (*Cruciferae*) / А. А. Буркин, Г. П. Кононенко // Известия РАН. Серия биологическая. – 2022. – № 3. – С. 237–245. doi: 10.31857/S1026347022030052

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ГРИБОВ РОДА *TRICHODERMA* ПРОТИВ ФИТОПАТОГЕНОВ

**В. Е. Кузнецова, Е. А. Матвеева, Л. А. Беловежен**

ИрИХ СО РАН, Иркутск, Россия

*uchiha-viksyia@mail.ru*

Во всем мире крупномасштабные потери сельскохозяйственной продукции, необходимой для удовлетворения огромного спроса растущего населения, связаны с болезнями растений. Около половины возбудителей всех повреждений приходится на долю микроскопических грибов. Один из наиболее эффективных способов борьбы такими грибами – использование химических веществ с антисептическим действием (фунгицидов). Но избыточная обработка подобными препаратами способна привести к негативным последствиям, таким как накопление в почве соединений, токсичных для микрофлоры, растений и животных, загрязнение окружающей среды, возрастание резистентности. В связи с этим особый интерес представляет исследование альтернативы химической борьбе с помощью использования микробов-антагонистов. *Trichoderma* является важным антагонистом патогенных грибов и может быть использована в сельском хозяйстве для борьбы с различными заболеваниями растений. Ее антагонистические свойства достигаются через продукцию антибиотиков и гидролитических ферментов, а также обмен с патогенными грибами гормонами роста и сигнальными молекулами.

Целью данного исследования было изучение антагонистических взаимодействий двух микромицетов рода *Trichoderma*, выделенных со спилов древесины в Восточной Сибири, и фитопатогенных грибов.

В ходе данной работы были выделены 2 микромицета со спилов древесины в Восточной Сибири. По совокупности макро- и микроморфологических признаков, а также молекулярно-генетических характеристик (на базе ВКПМ) выделенные микромицеты были идентифицированы как *Trichoderma atroviride* и *Trichoderma harzianum*.

Следующим этапом работы было определение антагонистической активности культур путем вычисления процента ингибирования радиального роста фитопатогенов. Для этого активность *Trichoderma* против четырех фитопатогенов *Fusarium (orthoceras) oxysporum* F-845, *Alternaria botrytis* F-737, *Stemphylium botryosum* F-3044, *Phytophthora drechsleri* F-3149 из музея ИрИХ СО РАН тестировали *in vitro* методом встречных культур.

Выделенные штаммы *Trichoderma* эффективно подавляют развитие исследуемых патогенных грибов (до 80 %). Различия в действии на патогены *Trichoderma atroviride* и *Trichoderma harzianum* скорее всего связаны с различными доминирующими метаболитами исследуемых штаммов. Высокая скорость роста *Phytophthora drechsleri* не позволяет *Trichoderma* на первом этапе культивирования локализовать патоген, но через две недели эксперимента антагонист полностью колонизирует субстрат и поверхность патогена.

Таким образом проведенные нами исследования позволяют сделать вывод о возможности использования *Trichoderma atroviride* и *Trichoderma harzianum* в дальнейшем изучении средств биоконтроля болезней растений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10008, <https://rscf.ru/project/23-26-10008/>.*

## МИКРОБИОМ КЛЕВЕРА РОЗОВОГО (*TRIFOLIUM HYBRIDUM*) В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ АКАРИЦИДНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ

**М. В. Куркина, В. А. Евдокимова**

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия  
Mkurkina@kantiana.ru

С целью исследования микробиома растений под влиянием акарицидной обработки, проводимой ежегодно на эндемичных территориях, изучали качественный и количественный состав почвенной, ризосферной и эпифитной микрофлор клевера розового (*Trifolium hybridum*) под воздействием акарицидных препаратов растительного и химического происхождения – пиретрина и циперметрина.

Исследование проводили в ходе модельного эксперимента в лабораторных условиях. Для этого почву, взятую в парке Южный г. Калининграда, засеивали клевером розовым и после появления первых всходов, в фазе первого настоящего листа, осуществляли их обработку путем опрыскивания растений акарицидными препаратами: инсектицидом «Спрей бона форте» на натуральных пиретринах и инсектоакарицидным концентратом «Циперметрин 25» в концентрациях согласно инструкциям к данным препаратам.

Через две недели после обработки растений исследовали почвенную, ризосферную и эпифитную микрофлоры. Разные группы микроорганизмов выделяли на элективных питательных средах: аммонифицирующие микроорганизмы на мясо-пептонном агаре (МПА); спорообразующие бактерии рода *Bacillus* на МПА с услоу агаром; микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, в том числе и актиномицеты, на крахмало-аммиачном агаре. Количество микроорганизмов рассчитывали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на грамм сухого веса исследуемого материала. Опыты проводили в трех повторностях. Полученные результаты обработаны статистически с помощью пакета Microsoft Excel.

В ходе проведенной работы было установлено, что под действием пиретрина снижается численность аммонифицирующих микроорганизмов в почвенной, ризосферной и эпифитной микрофлорах – в 1,5, 1,6 и 2,7 раза соответственно по сравнению с контролем. Пиретрин вызывает увеличение количества спорообразующих бактерий рода *Bacillus* во всех исследуемых микрофлорах; оказывает стимулирующее действие на численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, в том числе и актиномицеты, в ризосферной микрофлоре в 1,18 раза, но снижает рост числа этих микроорганизмов в 5,2 раза в почвенной и в 4,2 раза в эпифитной микрофлорах. Циперметрин несколько увеличивает численность аммонифицирующих микроорганизмов в почвенной и ризосферной микрофлорах и подавляет их рост в 3,6 раза в эпифитной микрофлоре; оказывает стимулирующее действие на численность спорообразующих бактерий в ризосфере (в 1,8 раза) и в эпифитной микрофлоре (в 5,4 раза); стимулирует в 1,2 раза рост численности микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, в ризосферной микрофлоре, и угнетает их рост в остальных микрофлорах: в 3,8 раза в почвенной и 1,6 раза в эпифитной микрофлорах.

Установлено, что почвенная микрофлора по сравнению с ризосферной и эпифитной характеризуется наибольшим разнообразием актиномицетов. Однако акарицидные препараты оказали негативное воздействие на почвенные актиномицеты в части их разнообразия, а также повлияли на морфологические характеристики колоний актиномицетов и их спораносцев, что проявилось в появлении колоний актиномицетов с редуцированным воздушным мицелием и более простым строением спораносцев.

**О РОЛИ N-ФЕНИЛ-2-НАФТИЛАМИНА И ФТАЛАТОВ В РИЗОСФЕРЕ РАСТЕНИЙ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.)****Л. Е. Макарова<sup>1</sup>, Л. А. Ломоватская<sup>1</sup>, А. М. Гончарова<sup>1</sup>, С. С. Макаров<sup>2</sup>**<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Иркутск, Россия

makarova@sifibr.irk.ru

Компонентами интерфейса при растительно-бактериальных взаимодействиях в прикорневой среде являются соединения корневых экссудатов. Они регулируют рост и метаболические процессы у бактерий, определяют их вирулентность и жизнеспособность. Особую роль в контроле концентрации бактерий и состава бактериального микробиома в ризосфере растений следует отнести негативным аллелопатическим соединениям. К таковым у гороховых культур отнесены фитоалексин пизатин, N-фенил-2-нафтиламин и фталаты, синтезируемые в их клетках и выделяемые в корневые экссудаты.

В докладе будут приведены данные, характеризующие некоторые особенности регуляции N-фенил-2-нафтиламином и фталатами, выделяемыми корнями растений гороха, ряда важных процессов у бактерий. К этим процессам относятся рост бактерий в планктонной культуре и в биопленках, жизнеспособность, активность аденилатциклазной системы и синтеза факторов вирулентности. Будут приведены данные о различной активности в деградировании N-фенил-2-нафтиламина до фталатов у ряда исследованных видов ризосферных бактерий, что может иметь значение для межбактериальных взаимоотношений в ризосфере растения.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Изучение деградации n-фенил-2-нафтиламина бактериями *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*, *Clavibacter michiganensis* ssp. *Sepedonicus* / Л. Е. Макарова, А. С. Мориц, Н. А. Соколова, И. Г. Петрова, А. А. Семенов, Л. В. Дударева, М. С. Третьякова, А. В. Сидоров // Прикладная биохимия и микробиология. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 165–173. doi: 10.31857/S0555109920010122

Influence of endophytoc and epiphytic nitrogen-fixing bacteria on the content of negative allelopathic compounds in root exudates of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings / L. E. Makarova, I. G. Petrova, N. A. Sokolova, S. S. Makarov, V. A. Pionkevich // Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 394–405. doi: 10.21285/2227-2925-2022-12-3-394-405

## БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ PGP-РИЗОБАКТЕРИЙ *BUTTIAUXELLA NOACKIAE* И БИОЧАРА ПОВЫШАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ РАПСА К ДЕЙСТВИЮ МЕДИ И СПОСОБСТВУЕТ ЕГО БИОФОРТИФИКАЦИИ

**М. Г. Малева, Г. Г. Борисова, О. В. Воропаева, Н. В. Чукина, А. С. Тугбаева, Трипти**

ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
maria.maleva@mail.ru

На современном этапе развития агропромышленного комплекса все большую актуальность приобретает разработка экологически безопасных бактериальных биодобрений (БУ), которые могли бы не только повышать продуктивность и стрессоустойчивость культурных растений, но и способствовать их обогащению эссенциальными элементами, витаминами и антиоксидантами. Цель работы – изучение морфобиологических характеристик и устойчивости к меди культурных растений (на примере рапса, *Brassica napus* L.) при добавлении в почву БУ на основе штамма *Buttiauxella noackiae* EA20 и древесного биочара (БЧ).

Штамм *B. noackiae* EA20 был выделен из ризосферной почвы *Eripactis atrorubens* (Hoffm.) Besser, произрастающего в естественном лесном фитоценозе (вблизи п. Новоасбест, Свердловская область) на серпентинитовых подстилающих породах. Изолят продемонстрировал достаточно высокую устойчивость к Cu, Zn, Ni и ростстимулирующую (PGP) активность (способность к синтезу ауксинов, солиubilизации фосфатов, азотфиксации и образованию сидерофоров), поэтому был выбран для приготовления БУ (~10<sup>8</sup> КОЕ/мл). Растения рапса выращивали в фитокамерах в течение 36 сут.: фотопериод – 14:10 (день:ночь), освещенность – 150 ± 20 мкМ/(м<sup>2</sup> с), температура – 23 ± 2 °С. Эксперимент включал 3 варианта (по 5 горшков объемом 0,3 л): контрольный торфяной субстрат (КС), КС + 5% БЧ, КС + 5% БУ (по объему) и 2 независимых линии – без меди и с добавлением 200 мг Cu<sup>2+</sup>/кг почвы.

Добавление сульфата меди в вариантах КС и КС + 5% БЧ повышало содержание металла в побегах и корнях рапса в среднем в 2,4 и 9,4 раза, соответственно. В присутствии БУ накопление Cu в растениях увеличивалось в 1,4 раза. При добавлении Cu к КС длина побега, площадь листа и скорость поглощения CO<sub>2</sub> уменьшались на 34, 17 и 30%, соответственно. Увеличение содержания малонового диальдегида (МДА) сопровождалось повышением водного дефицита и выхода электролитов из клеток листьев рапса (на 43 и 25%, соответственно). При этом увеличивалось содержание растворимых фенольных соединений, особенно флавоноидов (на 46%). Совместное применение БЧ и Cu снижало содержание МДА и выход электролитов, однако не оказывало существенного влияния на другие изученные показатели. В присутствии БУ, независимо от наличия меди, площадь листа и надземная биомасса увеличивались по сравнению с КС в среднем в 1,6 раза. При этом интенсивность перекисного окисления липидов, вызванного действием меди, а также водный дефицит и выход электролитов из клеток листьев рапса достоверно снижались. Суммарное содержание хлорофиллов возрастало в среднем в два раза, в то время как скорость поглощения CO<sub>2</sub> – в 1,4 раза, по сравнению с КС. Общее содержание растворимых фенолов, включая флавоноиды, повышалось в 1,4 раза, при этом доля последних при добавлении Cu уменьшалась.

Таким образом, биодобрение на основе PGPР *B. noackiae* штамм EA20 и биочара повышало Cu-устойчивость рапса, улучшало его продукционные показатели, а также способствовало биофортфикации медью и низкомолекулярными антиоксидантами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292>.

## СОРТ-ШТАММОВАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *BACILLUS SUBTILIS* РАСТЕНИЯМИ *PHASEOLUS VULGARIS* L. ПРИ СОЛЕВОМ СТРЕССЕ

**О. В. Маркова<sup>1</sup>, С. Р. Гарипова<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> УУНиТ, Уфа, Россия

<sup>2</sup> Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

garipovasvetlana@gmail.com

Эндофитные бактерии оказывают положительный эффект на растения, стимулируя рост и повышая устойчивость к стрессам. Однако механизмы влияния бактерий на растения разнообразны и реакции сортов сельскохозяйственных культур на инокуляцию их эндобактериями часто специфичны. Ранее было выявлено, что инокуляция разных сортов фасоли штаммами *B. subtilis* 26Д и 10-4 приводила как к эффективному, так и неэффективному симбиозу. Целью данного исследования явился анализ влияния инокуляции двух сортов фасоли штаммами *B. subtilis* 26Д и 10-4 на физиолого-биохимические показатели растений в условиях солевого стресса.

Семена фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) сортов Золотистая и Уфимская обрабатывали штаммами *B. subtilis* 26Д и 10-4. Растения выращивали в песке при температуре 23–25 °С. Трехнедельные растения на 48 ч подвергали засолению 1%-ным раствором NaCl. Содержание пролина, малонового диальдегида и фотосинтетических пигментов в листьях растений определяли спектрофотометрическим методом.

Установлено, что при взаимодействии с сортом Золотистая как в норме, так и при стрессе оба штамма стимулировали рост биомассы растений по сравнению с соответствующим контролем. Тогда как при взаимодействии штаммом 26Д с сортом Уфимская инокуляция в норме приводила к торможению, а при стрессе – к ускорению роста растений, инокуляция штаммом 10-4 стимулировала рост в условиях стресса. Содержание МДА, как в норме, так и при стрессе соответствовало степени эффективности симбиоза, оцениваемого по приросту биомассы растений. Содержание пролина при взаимодействии обоих штаммов с сортом Золотистая было ниже контроля в норме и на уровне контроля при стрессе, тогда как в растениях сорта Уфимская этот показатель увеличился в 1,5 раза по сравнению с контролем в норме и в два раза – при стрессе. Содержание зеленых пигментов в инокулированных растениях снижалось по отношению к контролю в норме и увеличивалось при взаимодействии со штаммом 26Д у обоих сортов при стрессе, содержание каротиноидов наиболее контрастно изменялось по отношению к контролю в норме и при стрессе в реакциях на инокуляцию штаммом 10-4. Таким образом, эндобитные бактерии специфично влияли на метаболические процессы растений разных сортов фасоли. Обсуждаются возможные механизмы и маркеры специфичности эффективного/неэффективного симбиоза.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00602.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Malondialdehyde and proline content in bean cultivars following the inoculation with endophytic bacteria / S. R. Garipova, O. V. Markova, K. A. Fedorova, M. A. Dedova, M. A. Iksanova, A. A. Kamaletdinova, O. V. Lastochkina, L. I. Pusenkova // Acta Physiologiae Plantarum. – 2022. – Vol. 44, N 7. – Art. number 89. doi: 10.1007/s11738-022-03427-1



## ВЛИЯНИЕ *BACILLUS THURINGIENSIS* НА РОСТОВЫЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ *SOLANUM TUBEROSUM* L. ПРИ ГРИБНОМ ПАТОГЕНЕЗЕ

**В. С. Масленникова, Е. В. Бедарева, И. М. Дубовский**

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

*vladislava.maslennikova@mail.ru*

Исследовано действие штаммов бактерий *Bacillus thuringiensis* spp. *morrisoni* и *Bacillus thuringiensis* spp. *dacota* на ростовые (высота надземной и подземной части, количество столонов, сырая биомасса надземной растений) и физиологические (содержание фотосинтетических пигментов в листьях, интенсивность перекисного окисления липидов в листьях, стебле и корнях) показатели картофеля сорта Тулеевский при искусственном заражении *Rhizoctonia solani*. Заражение фитопатогенным грибом оказывало выраженный негативный эффект на рост и столонообразование картофеля, что в дальнейшем повлияло и на снижение фотосинтетических пигментов в листьях. В вариантах с обработкой клубней *Bacillus thuringiensis* spp. *morrisoni* и spp. *dacota* происходило увеличение значений морфометрических показателей: биомасса увеличивалась в 1,15 раза (*Bt* spp. *morrisoni*), длина надземной часть – на 9,5 % (*Bt* spp. *dacota*) – 15,3 % (*Bt* spp. *morrisoni*). В контрольном варианте при искусственном заражении *Rhizoctonia solani* происходило увеличение содержания малонового диальдегида и усиление активности пероксидазы. Активность пероксидазы возрастала в 1,4 раза ( $p < 0,05$ ), концентрация малонового диальдегида увеличилась на 42,5 % ( $p = 0,0009$ ). При обработке клубней бактериями *Bacillus thuringiensis* spp. *morrisoni* отмечено увеличение концентрации хлорофилла *a* в листьях картофеля до 30,7 мг/г. Полученные результаты могут лечь в основу создания биологического препарата полифункционального действия для защиты и повышения урожайности картофеля.

*Исследование выполнено за счет гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ НШП 129.2022.2.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Ростостимулирующие, антиоксидантные и фунгицидные свойства эндофитных бактерий *Bacillus thuringiensis* на картофеле при заражении ризоктониозом / В. С. Масленникова, В. П. Цветкова, Е. В. Бедарева, Г. В. Калмыкова, И. М. Дубовский // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 7. – С. 49–55. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_7\_49

**ВЛИЯНИЕ ФИТОПАТОГЕННОГО ГРИБА *PORODAEDALEA NIEMELAEI* НА МИКРОБИОМ ЛИСТВЕННИЦЫ (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.), ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ****К. А. Мирошникова<sup>1</sup>, Ю. А. Литовка<sup>2</sup>, И. Н. Павлов<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия<sup>2</sup> ИЛ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

mixe96@mail.ru

*Porodaedalea niemelaei* M. Fischer является уникальным патогеном хвойных деревьев, сохраняющим высокую агрессивность даже в условиях вечной мерзлоты. Этот базидиальный гриб вызывает белую гниль корней и нижней части ствола хвойных деревьев. Особенно подвержены заболеванию представители рода *Larix*, что вызывает беспокойство, учитывая их важную роль в формировании лесов в условиях вечной мерзлоты Арктики. *Larix sibirica* сосуществуют с различными микроорганизмами, образующими сложные микробные сообщества, которые влияют на рост, продуктивность и адаптацию деревьев. Мало что известно о составе и особенностях ризосферных и филлосферных микробиомах лиственницы сибирской, инфицированной грибом *P. niemelaei*. Целью исследования было оценить влияние фитопатогенного гриба *P. niemelaei* на изменение состава микробных сообществ почвы и хвои лиственницы.

Для анализа микробиомов были отобраны образцы почвы и хвои деревьев на разных стадиях поражения. Керна использовались для идентификации инфицирования *P. niemelaei*. Образцы почвы отбирались на разных глубинах: 3–6 см (слой ризосферы), 25–30 см и на глубине 60 см. В каждом образце был определен таксономический состав грибного и бактериального сообщества на основании анализа ампликонных библиотек фрагментов рибосомальных оперонов. Для контроля были выбраны деревья с отсутствием корневой и стволовой гнили, а также без признаков поражения в филосфере. Ампликоны фрагментов рибосомальных оперонов грибов (ITS2), были получены методом ПЦР с использованием праймеров ITS1F/ITS2. Таксономический анализ бактериального сообщества проводили с универсальными праймерами F515/R806 на переменный участок гена 16S rRNA. Библиотеки ампликонов секвенировали на приборе Illumina MiSeq, с получением парных прочтений (2\*300 н). Полученные последовательности обрабатывались в программе QIIME2 версии 2023.2, в результате были получены варианты последовательностей ампликонов (ASVs). Таксономическая идентификация проводилась с помощью баз данных UNITE версии 9.0 и SILVA версии 138.1, для последовательностей ITS и последовательностей 16S rRNA, соответственно. Визуализация результатов выполнялась в RStudio и KronaTools.

Состав грибных сообществ почвы был представлен в основном представителями отделов *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Mucoromycota* и *Mortierellomycota*. Их соотношение менялось в зависимости от образца, но доминирующим отделом всегда оставался *Ascomycota*. Также немногочисленно встречались представители отделов *Rozellomycota* и *Kickxellomycota*. Грибное сообщество хвои представлено только отделами *Ascomycota* и *Basidiomycota*. Бактериальное сообщество хвои характеризуется большим разнообразием и обилием представителей *Actinobacteria*, *Proteobacteria* и *Firmicutes*.

Исследование выполнено в рамках Гос. задания ФИЦ КНЦ СО РАН № FWES-2022-0003. Результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ».

## ВЛИЯНИЕ *PAENIBACILLUS NICOTIANAE* НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАРЛИКОВЫХ СОРТОВ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICON* L.) В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

Г. В. Мирская<sup>1</sup>, Ю. В. Хомяков<sup>1</sup>, В. Е. Вертебный<sup>1</sup>, В. И. Дубовицкая<sup>1</sup>,  
В. Н. Пищик<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ Агрофизический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ ВНИИСХМ, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

galinanm@gmail.com

Помидоры являются важным сельскохозяйственным продуктом, поскольку содержат высокие концентрации биологически активных веществ, таких как фолиевая кислота, аскорбат, полифенолы и каротиноиды, а также многие другие необходимые элементы. В последнее время возрос интерес к использованию полезных микроорганизмов в беспочвенных культурах для индуцирования устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, а также для увеличения роста растений и урожайности. В этом исследовании мы изучили влияние PGPR (*Paenibacillus nicotianae*), продуцента индолил-3-уксусной кислоты (IAA) и гиббереллиновой кислоты (GA), на рост, качество и урожайность двух карликовых сортов томата Natasha и Timosha, адаптированных к выращиванию в светокультуре. Показано положительное воздействие инокуляции на сроки наступления фазы плодоношения, продуктивность растений и качество растительной продукции. Инокуляция *Paenibacillus nicotianae* увеличивала уровни хлорофиллов и каротиноидов и снижала перекисное окисление липидов, влияла на активность ферментов пероксидаза и каталаза в листьях растений обоих генотипов. Качество плодов томата улучшилось за счет увеличения количества сухого вещества, углеводов, сахаросодержащей кислоты и аскорбиновой кислоты. Кроме того, при инокуляции было увеличено содержание в плодах (N, P и K). Выявлены сортовые особенности реакции растений томата исследуемых сортов на инокуляцию бактериями *Paenibacillus nicotianae*. Результаты показывают, что инокуляция *Paenibacillus nicotianae* может быть успешно использована для улучшения урожайности и качества карликовых сортов томатов в светокультуре. Выраженную сортовую отзывчивость на действие эндофитных штаммов бактерий необходимо учитывать при создании и использовании биопрепаратов при выращивании томатов.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Plant development of early-maturing spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under inoculation with *Bacillus* sp. V2026 / G. V. Mirskaya, Y. V. Khomyakov, N. A. Rushina, V. E. Vertebny, E. P. Chizhevskaya, V. K. Chebotar, Y. V. Chesnokov, V. N. Pishchik // Plants. – 2022. – Vol. 11. – Art. 1817. doi: 10.3390/plants11141817

## ВЛИЯНИЕ *RHODOCOCCUS QINGSHENGII* VKM AC-2784 D НА ЭНДО- И РИЗОСФЕРНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ РАСТЕНИЙ *SOLANUM TUBEROSUM* СОРТА ЛУГОВСКОЙ

**А. С. Мороз, И. С. Петрушин, Ю. А. Маркова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

[acnitkaaco@gmail.com](mailto:acnitkaaco@gmail.com)

Микробиом поддерживает рост и развитие растения, способствуя его адаптации к условиям среды обитания. Вмешательство в микробиом может привести к изменению его структуры, что неблагоприятно скажется на здоровье растения. Бактерии рода *Rhodococcus* оказывают благоприятное воздействие на развитие растений, вместе с тем они являются продуцентами биологически активных соединений с антимикробным действием. Следовательно, использование родококков в качестве биоудобрений может привести к изменению ризосферного и эндофитного микробиомов.

Целью исследования было изучить влияние *Rhodococcus qingshengii* VKM Ac-2784D на бактерии ассоциированные с *Solanum tuberosum* сорта Луговской.

При проведении лабораторных исследований использовался штамм *Rhodococcus qingshengii* VKM Ac-2784D из коллекции СИФИБР СО РАН. Анализ генома на наличие генов, кодирующих вторичные метаболиты, проводили в программе AntiSMASH. Для определения антимикробной активности исследуемого штамма были выделены бактерии из эндо- и ризосферы *S. tuberosum* сорта Луговской, произрастающего на территории бассейнов рек Малой Олхи и Большой Олхи на юго-западе Прибайкалья. Бактерии культивировали на ГМФ-агаре (ООО «НИЦФ») при температуре 26 °С. Чувствительность бактерий к вторичным метаболитам *R. qingshengii* VKM Ac-2784D определяли диско-диффузионным методом. Для моделирования межмикробного взаимодействия использовали растения *S. tuberosum* сорта Луговской *in vitro*. Эксперимент проводили в течение 10 сут. на жидкой питательной среде Мурасиге-Скуга (Sigma, США) с добавлением 20 г/л сахарозы.

При анализе генома *R. qingshengii* VKM Ac-2784D было предсказано наличие восьми генов, кодирующих нерибосомные пептидсинтетазы, которые могут продуцировать антибиотики. Определение антагонистического действия *R. qingshengii* VKM Ac-2784D проводили на бактериях, ассоциированных с картофелем. Для этого из эндосферы и ризосферы *S. tuberosum* сорта Луговской было выделено 74 изолята. Установлено, что 7 % всех изолятов характеризовались высокой чувствительностью к супернатанту *R. qingshengii* VKM Ac-2784D, 23 % средней и 32 % слабой. При моделировании взаимодействия *R. qingshengii* VKM Ac-2784D с бактериями, входящими в состав растительного микробиома, использовали высокочувствительный штамм. Оказалось, что родококк существенно подавлял распространение этого микроорганизма в эндосфере картофеля *in vitro*.

Таким образом, *R. qingshengii* VKM Ac-2784D обладает антагонизмом по отношению к бактериям, ассоциированным с картофелем. Следовательно, существует возможность изменения микробиома растения при использовании этого микроорганизма в качестве биопрепарата.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10049, <https://rscf.ru/project/23-26-10049/>.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЗБУДИТЕЛЯ ЛОЖНОЙ МУЧНИСТОЙ РОСЫ *PLASMOPARA VITICOLA* СРЕДИ ВИНОГРАДА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

**Н. Н. Нитяговский, О. А. Алейнова, А. А. Ананьев, А. Р. Супрун, К. В. Киселёв**

ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

[nikit1996@gmail.com](mailto:nikit1996@gmail.com)

Ложная мучнистая роса является серьезным заболеванием, вызывающим существенные потери урожая винограда во всем мире. Одним из основных возбудителей ложной мучнистой росы является оомицет *Plasmopara viticola*. Разработка методов раннего выявления этого патогена и поиск эндофитных организмов, способных подавлять и сдерживать развитие *P. viticola* являются важными задачами для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству. С помощью высокопроизводительного секвенирования (NGS) ампликонов *ITS* (*ITS1*/*ITS2* регион) и *16S* (*V4* регион) нами были проанализированы по 42 пробы листьев и стеблей дикорастущего винограда *Vitis amurensis* Rupr. и *Vitis coignetiae* Pulliat (всего 84 пробы), произрастающих на различных участках Дальнего Востока России, а также сортового винограда *V. vinifera* × *V. amurensis* cv. Адель, *Vitis riparia* × *V. vinifera* cv. Мукузани (плодовый питомник «ЛПХ Макаревич», Приморский край), *Vitis labrusca* × *V. riparia* cv. Альфа и *Vitis* cv. Прэри стар (виноградник «PrimOrganica», Приморский край).

Анализ данных NGS показал наличие *P. viticola* в 42 пробах винограда (из 84, 50%), а именно: в «ЛПХ Макаревич» (11 пораженных проб из 16 собранных), на винограднике PrimOrganica (3 из 12), в теплице лаборатории биотехнологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (1 из 4), на острове Рикорда (4 из 4), в Верхне-уссурийском лесном стационаре (3 из 4), в п. Ивановка (1 из 6), в Силинском лесу (4 из 4), в п. Литовко (3 из 4), в ботаническом саду о. Сахалин (6 из 8), рядом с г. Невельском (2 из 4) и г. Холмском (4 из 4). Из пораженных оомицетом проб только 2, собранные в «ЛПХ Макаревич», имели симптомы заболевания, тогда как остальные пробы выглядели здоровыми. Патоген *P. viticola* не был обнаружен в пригороде Владивостока (0 из 8) и на острове Русском (0 из 6). Используя метод анализа данных секвенирования DESeq2, мы сравнили здоровые и пораженные *P. viticola* пробы с целью выявить предположительных микроорганизмов-антагонистов этого патогена. В результате *in silico* анализа нами была отмечена повышенная представленность в здоровых пробах по сравнению с больными отдельными вариантами последовательностей ампликонов *16S* и *ITS*, относящихся к следующему родам: грибы *Aureobasidium* и *Vishniacozyma*; бактерии *Escherichia-Shigella*, *Sphingomonas*, *Polaromonas*, *Hymenobacter*, *Massilia*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Allorhizobium-Neorhizobium-Pararhizobium-Rhizobium*, *Chryseobacterium*, *Methylobacterium-Methylorubrum*, *Aureimonas*, *Dyadobacter*, *Rhodococcus*, *Pedobacter*, *Nevskia*, *Advenella*, *Nocardioideis*, *Spirosoma*, *Phyllobacterium*, *Devosia*, *Brevundimonas* и *Mucilaginibacter*.

Таким образом, высокопроизводительное секвенирование *ITS1* можно использовать для ранней диагностики возбудителя ложной мучнистой росы *P. viticola*. Полученная *in silico* информация о потенциальных микроорганизмах-антагонистах *P. viticola* является теоретической основой для создания средств биоконтроля ложной мучнистой росы винограда.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-10001, <https://rscf.ru/project/22-74-10001/>.

## ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА НА МИГРАЦИЮ СВИНЦА В РИЗОСФЕРЕ И РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

**О. Л. Овсиенко, Л. А. Чайковская, М. И. Баранская**

ФГБУН «НИИСХ Крыма», Симферополь, Россия  
ovsien@mail.ru

Среди наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды тяжелые металлы (ТМ) занимают ведущее положение. Они не только накапливаются в экосистеме, но и мигрируют в живые организмы, приводя к различным негативным последствиям. Так, к первому классу опасности относят свинец (Pb), водорастворимые формы которого при попадании в почву способны к миграции в растения, выращиваемые на загрязненных территориях. Исследование мигрирующей способности ТМ в системе почва – растение и поиск приемов снижения их токсического действия, в частности в агроценозах, является приоритетным и актуальным.

Задача наших исследований заключалась в определении влияния микробиологического препарата Фосфостим-Агро (биоагент – фосфатмобилизующая и ростстимулирующая бактерия – *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3) на миграцию водорастворимых форм Pb в системе чернозем южный – растения *Triticum aestivum* L. (модельные полевые эксперименты). Перед закладкой опыта в почву вносили водный раствор ацетата свинца ( $Pb(CH_3COO)_2$ ) в расчетном количестве, соответствующем уровням загрязнения почвы: 5, 10 и 20 ПДК. После уборки урожая проводили количественное определение содержания водорастворимых форм свинца в образцах почвы, корней, соломы и зерна методом атомно-абсорбционного анализа.

В результате проведенных исследований установлено, что накопление водорастворимых соединений Pb в ризосфере озимой пшеницы варьировало в пределах 54–202 мг/кг в зависимости от уровня загрязнения почвы ТМ. Согласно полученным данным, количественное содержание подвижных соединений свинца в корнях пшеницы превысило их накопление в ризосфере и составило 56–367 мг/кг. Установлено, что значительно меньшее количество водорастворимых соединений Pb мигрирует из корней в наземную массу: их содержание в соломе варьировало в пределах 9–48 мг/кг на фоне различных уровней загрязнения почвы ТМ: 5; 10 и 20 ПДК. Минимальное количество свинца выявлено в зерне озимой пшеницы: оно варьировало в пределах 0,05–0,3 мг/кг в зависимости от уровня загрязнения почвы.

Применение микробного препарата Фосфостим-Агро для предпосевной обработки семян озимой пшеницы позволило снизить содержание подвижных форм Pb как в прикорневой почве, так и в самих растениях. Установлено, что в ризосфере инокулированных растений количественное содержание водорастворимых форм свинца снизилось на 5–35 % по сравнению с контролем. Подобная тенденция отмечена и при анализе растительных образцов. В корнях, соломе и зерне бактеризованных растений накопление Pb снижалось на 18–21 %, 6–35 % и 10–25 % соответственно по сравнению с растениями, выросшими из неинокулированных семян.

Таким образом, в ходе исследований установлено, что наибольшее количество свинца накапливается в ризосфере и мигрирует в корни озимой пшеницы. Наименьшее содержание подвижных форм Pb, не превышающее ПДК (0,05 мг/кг), обнаружено в зерне. Применение микробного препарата Фосфостим-Агро для предпосевной обработки семян озимой пшеницы позволило снизить содержание подвижных форм свинца, как в ризосфере, так и в корнях, соломе и зерне *T. aestivum*.

## РАЗНООБРАЗИЕ ГРИБОВ РОДА *FUSARIUM*, АССОЦИИРОВАННЫХ С СУХОЙ ГНИЛЬЮ КАРТОФЕЛЯ

**А. С. Орина, О. П. Гаврилова, И. И. Трубин, Т. Ю. Гагкаева**

ФГБНУ ВИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

*orina-alex@yandex.ru*

Фузариозная сухая гниль клубней (ФСГК), вызываемая грибами рода *Fusarium* – широко распространенное заболевание картофеля, которое снижает продовольственное и семенное качество урожая в период хранения.

В результате выявления разнообразия грибов рода *Fusarium*, вызывающих ФСГК в разных регионах России, установлено, что доминируют представители комплексов видов *Fusarium sambucinum* (FSAMSC), *F. oxysporum* (FOSC) и *F. solani* (FSSC). Для уточнения видового статуса штаммов секвенировали фрагмент гена фактора элонгации трансляции EF-1 $\alpha$  (*TEF*), последовательность которого сравнивали с референсными последовательностями в базе данных NCBI GenBank. Установили, что все 17 анализированных штаммов комплекса видов FSAMSC относились к виду *F. sambucinum*, из 9 штаммов комплекса видов FSSC шесть были идентифицированы как *F. solani*, а видовой статус ещё трех штаммов требует анализа большего числа локусов. Провели детальное изучение физиолого-биохимических свойств генетически охарактеризованных штаммов *F. sambucinum* и *F. solani*.

Патогенность штаммов оценивали в результате инокуляции картофеля с. Гала, вырезая в клубнях отверстие глубиной 20 мм и помещая в них диск Ø5 мм картофельно-сахарозного агара (КСА) с культурой гриба. Через 4 недели (23 °С, темнота) клубни разрезали пополам и измеряли размеры симптомов. Все штаммы двух видов *Fusarium* оказались патогенными – вызывали развитие сухой гнили с образование внутренних полостей в клубнях. Штаммы *F. sambucinum* вызывали повреждения клубней размером 26,3–46,0 мм (в среднем 37±9 мм), а штаммы *F. solani* – от 26,0 до 47,4 мм (в среднем 40±3 мм), без достоверных различий между видами.

Влияние на рост штаммов четырех фунгицидов, рекомендованных для обработки клубней и содержащих беномил 500 г/кг, флудиоксонил 25 г/л, азоксистробин 250 г/л, а также комбинацию пенфлуфена и протиокназола 100+18 г/л, определяли методом диффузии фунгицидов в агаризованной среде. Рабочий раствор препарата, содержащего максимальную рекомендованную норму расхода, вносили в две лунки, вырезанные в КСА на расстоянии 1 см от края чашки Петри. В центр чашки помещали диск культуры гриба. Через 7 сут. инкубации (25 °С, темнота) определяли размер колонии гриба и рассчитывали ее площадь.

Анализируемые фунгициды подавляли рост всех штаммов *Fusarium*. Наибольший ингибирующий эффект проявил препарат, содержащий беномил: площадь колоний *F. sambucinum* и *F. solani*, по сравнению с контролем, уменьшалась в среднем на 70±5 и 93±1 % соответственно. Наименее эффективным оказался препарат, содержащий азоксистробин, который ограничивал рост штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* соответственно на 40±3 и 19±2 %. Два препарата, содержащих флудиоксонил и комбинацию пенфлуфена и протиокназола, ингибировали рост колоний *F. sambucinum* и *F. solani* в среднем на 34±5–65±11 % без достоверных различий между препаратами. В отношении препарата, содержащего флудиоксонил, штаммы обоих видов проявили высокую вариабельность по чувствительности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00105, <https://rscf.ru/project/23-26-00105/>.

## РОЛЬ СИДЕРОФОРА ЭНТЕРОБАКТИНА В ВИРУЛЕНТНОСТИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕКТОБАКТЕРИЙ

**О. И. Парфирова**<sup>1</sup>, **О. Е. Петрова**<sup>1</sup>, **Н. Е. Гоголева**<sup>1,2</sup>, **Ю. В. Гоголев**<sup>1,2</sup>,  
**В. Ю. Горшков**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО КФУ, Казань, Россия

parfirovaolga.i@gmail.com

Фитопатогенные пектобактерии являются возбудителями болезни мягкой гнили растений. Их основными детерминантами вирулентности являются ферменты, разрушающие клеточную стенку растений. Однако развитие мягкой гнили определяется действием как этих ферментов, так и неферментативных факторов вирулентности. Наше исследование посвящено выявлению потенциальных низкомолекулярных факторов вирулентности у пектобактерий и выяснению возможного влияния этих метаболитов на растительно-микробные взаимодействия.

С помощью транскриптомного анализа мы показали, что в условиях *in planta* увеличивается экспрессия генов, связанных с сидерофорами фитопатогена *Pectobacterium atrosepticum* SCRI1043 (*Pba*). Сидерофоры представляют собой небольшие метаболиты, которые доставляют железо в клетку через специфические рецепторы. Известно, что *Dickeya didantii* продуцируют два типа сидерофоров – хризобактин и ахромобактин, и оба сидерофора необходимы для успешного заражения хозяина. Однако *Pba* синтезирует другой тип сидерофора – энтеробактин. И роль энтеробактина во взаимодействии *Pba* с растением до настоящего времени не была изучена. Поэтому мы предположили, что энтеробактин может способствовать вирулентности *Pba* и/или его устойчивости к различным стрессорам, в том числе к защитным реакциям колонизированного растения. Целью нашего исследования было понять роль энтеробактина в вирулентности и резистентности *Pba*.

Для выяснения роли энтеробактина в вирулентности пектобактерий использовали мутантный штамм *Pba* с нокаутом гена *entA*, кодирующего один из ферментов биосинтеза сидерофоров. Нокаут гена *entA* не снижал вирулентность *Pba* и активность бактериальных внеклеточных ферментов. Но у *entA* мутанта снижается устойчивость к окислительному стрессу, и эти данные согласуются с данными о том, что сидерофоры вносят вклад не только в вирулентность, но и в устойчивость к некоторым стрессорам. Поэтому мы сравнили вирулентность дикого типа и *entA* мутанта в отношении растений, предварительно обработанных салициловой кислотой (СК). Эта обработка привела к значительному снижению случаев заболевания, вызванных *entA* мутантом, но не диким типом. Наблюдаемый эффект был обусловлен тем, что обработка растений приводила к повышению уровня H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, к которому был восприимчив *entA* мутант. Повышенный уровень АФК в растениях, обработанных СК, может препятствовать проявлению полной вирулентности *entA* мутанта из-за его высокой уязвимости к АФК.

Наши результаты показывают, что энтеробактин повышает устойчивость пектобактерий к АФК, уровень которых повышается при трансформации латентной инфекции в типичную. Действие энтеробактина как фактора вирулентности не проявляется в условиях, наиболее благоприятных для развития инфекции; однако этот сидерофор необходим для вирулентности против праймированных растений, у которых повышен уровень АФК. Учитывая тот факт, что в природных условиях растения находятся в основном в праймированном состоянии, энтеробактин можно рассматривать как условный фактор вирулентности *Pba*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-14-00194.



## НАНОПРАЙМИНГ СЕМЯН СОИ *GLYCINE MAX* (L.) С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОБИОКОМПОЗИТОВ СЕЛЕНА И МАРГАНЦА В МАТРИЦЕ АРАБИНОГАЛАКТАНА

**А. И. Перфильева**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*alla.light@mail.ru*

Исследовано влияние нанопрайминга с применением двух видов химически синтезированных нанокомпозигов (НК): НК гидроксида марганца и сульфатированного арабиногалактана (НК  $Mn(OH)_2/Ag$ ) и НК селена и арабиногалактана (НК  $Se/Ag$ ), а также комбинированного воздействия этих НК на физиолого-биохимические показатели проростков семян сои здоровых и подвергнутых инфицированию фитопатогенной бактерией *Pectobacterium carotovorum*.

Исследования проводились на проростках сои *Glycine max* (L.) сорта «Саяна» с повышенной холодо- и заморозкоустойчивостью. Для инфицирования семян использовали бактерии *P. carotovorum* (штамм ВКМ В-1274). Семена стерилизовали, замачивали в суспензии *P. carotovorum* на 2 ч. После осуществляли нанопрайминг 30 мин. Затем семена высаживали на увлажненную фильтровальную бумагу в чашки Петри. Спустя 7 сут. подсчитывали количество не проросших семян, измеряли биометрические и биохимические параметры (количество активных форм кислорода (АФК), активность общей гваяколизависимой пероксидазы, анализ активности каталазы, содержание диеновых конъюгатов (ДК)).

Инфицирование семян сои увеличивало количество не взшедших семян по сравнению с контролем на 73 % и снижало все биометрические показатели проростков сои. Заражение повышало АФК в корнях, увеличивая активность пероксидазы в корнях и каталазы в гипокотильях, повышало количество ДК в корнях проростков.

НК  $Mn(OH)_2/Ag$  стимулировал прорастание незараженных семян и снижал негативный эффект фитопатогена, увеличивая длину и биомассу корней проростков. Нанопрайминг семян, подверженных заражению, повышал длину и массу гипокотилей, а также длину корней проростков сои. НК  $Mn(OH)_2/Ag$  увеличивал активность пероксидазы в тканях корней; повышал активность каталазы гипокотилей и снижал ее в корнях; при этом снижая содержание ДК в гипокотильях. Нанопрайминг семян, подверженных заражению, повышал активность каталазы в корнях проростков.

НК  $Se/Ag$  увеличивал биомассу и длину гипокотилей и корней. Нанопрайминг НК  $Se/Ag$  зараженных семян, увеличивал длину корней. НК  $Se/Ag$  повышал активность каталазы в тканях гипокотилей и не оказывал снижающего эффекта по содержанию ДК в проростках сои, выросших из неинфицированных семян. Комбинированное воздействие на проростки сои заражения и нанопрайминга НК  $Se/Ag$  стимулировало активность каталазы в тканях корней, увеличивало количество ДК в тканях гипокотилей.

НК  $Mn(OH)_2/Ag$ +НК  $Se/Ag$  стимулировали увеличение биомассы корней. Нанопрайминг зараженных семян снижал негативное действие патогена в отношении длины и массы гипокотеля. НК  $Mn(OH)_2/Ag$ +НК  $Se/Ag$  уменьшали количество АФК как зараженных, так и неинфицированных проростков, влияли на активность антиоксидантных ферментов.

## ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ *BACILLUS SUBTILIS* НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В ПОСТВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Л. И. Пусенкова<sup>1</sup>, С. Р. Гарипова<sup>1,2</sup>, О. В. Ласточкина<sup>3</sup>, В. М. Валиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup> УУНиТ, Уфа, Россия

<sup>3</sup> ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

L.Pusenkova@mail.ru

Картофель – важнейшая сельскохозяйственная культура, обеспечивающая продовольственную безопасность страны. Клубневые гнили, особенно в период хранения, приводят к значительным экономическим потерям. Бактерии эндофиты способны проникать во внутренние ткани растений и участвовать в регуляции механизмов защиты клеток от патогенов и стрессовых факторов среды. Ранее нами изучена способность штамма *B. subtilis* 10-4 колонизировать внутренние ткани клубней картофеля, а также модулировать защитные механизмы гидропонных стерильных клубней при обработке непосредственно перед закладкой на хранение.

Проведен анализ защитных реакций картофеля в период хранения при предпосадочной инокуляции клубней *B. subtilis* 10-4. Оценивали в динамике степень накопления конечного продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида (МДА), стрессового метаболита пролина, выполняющего роль осмолита и антиоксиданта, содержание неферментативного антиоксиданта аскорбиновой кислоты.

Опыты проводили на клубнях картофеля сорта Башкирский, выращенных из предобработанных штаммом *B. subtilis* 10-4 ( $10^8$  КОЕ/мл) клубней в полевых условиях, и заложённых на хранение при температуре  $3 \pm 1$  °С. Концентрацию МДА клубнях определяли согласно (Heath, Packer, 1968), пролина – по методу Bates (1973) в модификации Калинкиной (1985), аскорбиновой кислоты – по ГОСТ 24556-89.

Установлено, что клубни картофеля, выращенные из предобработанных *B. subtilis* 10-4 семян, характеризовались пониженным содержанием МДА через 30, 60 и 90 дней хранения по сравнению с необработанным контролем. Содержание пролина в клубнях повышалось, что свидетельствовало о проявлении защитного действия биопрепарата. Содержание аскорбиновой кислоты в клубнях превышало контроль в 1,2–1,4 раза, что указывает не только на их большую питательную ценность, но и на потенциальную способность противостоять инфекции при хранении.

Таким образом, полученные предварительные данные свидетельствуют о положительном влиянии предпосадочной обработки бактериями *B. subtilis* 10-4 на физиолого-биохимический статус хранящихся клубней, в частности, посредством снижения окислительных и осмотических повреждений клеток, а также повышения содержания неферментативного антиоксиданта аскорбиновой кислоты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00262, <https://rscf.ru/project/23-26-00262>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

The effect of endophytic bacteria *Bacillus subtilis* and salicylic acid on some resistance and quality traits of stored *Solanum tuberosum* L. tubers infected with fusarium dry rot / O. Lastochkina, L. Pusenkova, D. Garshina, I. Mardanshin, S. Garipova, R. Yuldashev, I. Shpirnaya, C. Kasnak, R. Palamutoglu, M. Sobhani, S. Alimiaiefard // Plants. – 2020. – Vol. 9 (6). – P. 738. doi.org/10.3390/plants9060738

## АНАЛИЗ СТАРЕНИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM* L.), ИНДУЦИРОВАННОГО ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ, В СОЧЕТАНИИ С ОБРАБОТКОЙ ГИББЕРЕЛЛИНОМ И ИНГИБИТОРОМ СИНТЕЗА ЭТИЛЕНА

**Т. А. Серова, А. Б. Китаева, П. Г. Кусакин, В. Е. Цыганов**

ФГБНУ ВНИИСХМ, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

[t\\_serova@rambler.ru](mailto:t_serova@rambler.ru)

В условиях глобального потепления климата исследования влияния повышенных температур на функционирование азотфиксирующих клубеньков приобретают высокую значимость.

В работе были использованы растения гороха (*Pisum sativum* L.) линии SGE и полученные на ее основе мутанты SGEFix-3 (*sym26*) и SGEFix-7 (*sym27*), формирующие рано стареющие клубеньки. Через 10 или 21 день после инокуляции *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841 растения переносили в условия повышенной температуры (28 °C). Обработка гиббереллином (ГАз) или ингибитором синтеза этилена (АВГ) начиналась одновременно с экспозицией растений при повышенной температуре.

В условиях выращивания при 28 °C было отмечено первоначальное разрушение клеток зоны инфекции и ранней зоны азотфиксации в апикальной части клубенька уже через 1 и 3 дня экспозиции с последующим значительным разрушением клеток целого клубенька. Дегградация тканей симбиотических клубеньков также сопровождалась возрастанием экспрессии генов, ассоциированных со старением и защитными реакциями, и генов белков теплового шока.

В клубеньках растений гороха, выращиваемых при 28 °C на протяжении семи дней в сочетании с обработкой ГАз, наблюдалось формирование небольшой зоны старения в апикальной части клубенька, при этом значительная его часть была представлена зоной азотфиксации. Замедление дегградации азотфиксирующих тканей клубенька гороха сопровождалось снижением содержания транскриптов генов, ассоциированных со старением и защитными реакциями. При более длительном, 9-дневном, выращивании при 28 °C этот эффект гиббереллина ослабевал. При обработке АВГ на фоне воздействия повышенной температуры эффект замедления дегградации клубенька был выражен слабо.

У мутантов гороха по генам *Sym26* и *Sym27* при выращивании при 28 °C в течение трех дней наблюдалось ускоренная дегградация симбиотических структур, сопровождаемая снижением уровня экспрессии большинства маркерных «генов старения» и генов защитных реакций.

Таким образом, была показана активация старения симбиотического клубенька гороха в условиях повышенной температуры с первоначальным повреждением его апикальной части. При этом обработка экзогенной ГАз замедляла апикальное старение клубенька. У мутантов гороха с рано стареющими клубеньками при повышенной температуре ускорялось индуцированное мутациями старение симбиотического клубенька.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-16-00117, <https://rscf.ru/project/21-16-00117>.

## ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ НА АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРОКЛОНОВ КАРТОФЕЛЯ В АЭРОПОНИКЕ

**О. В. Ткаченко**<sup>1</sup>, **Н. В. Евсеева**<sup>2</sup>, **К. Ю. Каргаполова**<sup>1</sup>, **А. Ю. Денисова**<sup>1</sup>,  
**А. А. Куликов**<sup>1</sup>, **Н. Н. Позднякова**<sup>2</sup>, **Г. Л. Бурыгин**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Вавиловский университет, Саратов, Россия

<sup>2</sup> ИБФРМ РАН, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия

oktkachenko@yandex.ru

Культивирование растений в условиях *in vitro* приводит к снижению их адаптационного потенциала, что негативно сказывается на приживаемости и первоначальных темпах роста после высадки *ex vitro*. Инокуляция микрорастений на этапе культивирования *in vitro* ростостимулирующими ризобактериями способствует повышению устойчивости растений к стрессовым факторам. Целью данного исследования являлось изучение механизмов защиты микроклонов картофеля при инокуляции ростостимулирующими ризобактериями в процессе адаптации их к условиям *ex vitro* в аэропонной установке.

В экспериментах были использованы микрорастения картофеля сортов Невский и Кондор, ко-инокулированные *in vitro* двумя штаммами ризобактерий *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 или *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Kocuria rosea* T1Ks19. В процессе адаптации в условиях аэропоники в течение 21 сут. анализировали микрорастения по морфометрическим и биохимическим показателям. Содержание на корнях растений ризобактерий каждого штамма контролировалось иммунохимическими методами с использованием иммунофлуоресцентной микроскопии.

Инокуляция микрорастений во всех вариантах опыта приводила к стимулированию роста микрорастений в условиях культивирования *in vitro* и в аэропонной установке. На этапе адаптации к условиям *ex vitro* микрорастения испытывали стресс, что проявлялось в повышении содержания перекиси водорода и малонового диальдегида, а также в повышенной активности антиоксидантных ферментов, в основном каталазы и пероксидазы. При этом бактериализация микрорастений вызывала существенный рост активности антиоксидантных ферментов каталазы и пероксидазы, что приводило к ускоренному снижению уровня перекиси водорода в листьях опытных растений по сравнению с контрольными. Установлено положительное влияние бактериализации микрорастений картофеля на урожай миниклубней, в первую очередь на их количество на растениях, что является важным фактором увеличения эффективности семеноводства оздоровленного посадочного материала этой сельскохозяйственной культуры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00087, <https://rscf.ru/en/project/22-26-0008.7>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Повышение активности про/антиоксидантной системы микрорастений картофеля ризосферными бактериями в условиях аэропоники / О. В. Ткаченко, Н. В. Евсеева, К. Ю. Каргаполова, А. Ю. Денисова, А. А. Куликов, Н. Н. Позднякова, Г. Л. Бурыгин // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 3. – С. 65–72. doi: 10.28983/asj.y2023i3pp65-72

## ВЛИЯНИЕ *PSEUDOMONAS PLECOGLOSSICIDA* 2,4-D И ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ НА РОСТ, ХЛОРОФИЛЛ И АЗОТНЫЙ СТАТУС РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

**А. В. Феоктистова, М. Д. Тимергалин, Т. В. Рамеев, С. П. Четвериков**

УИБ УФИЦ РАН, Уфа, Россия  
feoktistova.arisha@yandex.ru

Цель работы – изучение влияния ауксинпродуцирующего штамма бактерий и гуматов на рост, содержание хлорофилла, индекс азотного баланса у растений пшеницы в условиях дефицита почвенной влаги.

В работе использовали ростостимулирующий штамм бактерий *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-D и гуминовые вещества (ГВ), состоящие из гумусовых кислот (гуминовые и фульвокислоты), извлеченные из бурого угля. Опыт проводили на мягкой яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.). Концентрацию хлорофилла и индекс азотного баланса (NBI) измеряли с помощью анализатора растений Dualex Scientific+ (Франция).

Без обработок засуха подавляла рост растений пшеницы, что проявлялось в снижении массы, как побегов, так и корней по сравнению с поливаемыми растениями. Обработка пшеницы, испытывающих засуху, бактерией, либо ГВ, отдельно или в комбинации, стимулировала рост побегов, так что их длина не отличалась от длины хорошо поливаемых растений. Не было никакой разницы в длине побега между растениями, обработанными бактерией или гуминовыми веществами, но их комбинация была более эффективной, что проявлялось в наибольшей длине побега. Масса побегов растений в условиях засухи была ниже, чем у растений, не испытывающих недостаток влаги. Масса корня растений, без обработок, также снижалась в условиях засухи. Совместная обработка растений пшеницы бактериями и ГВ повышала массу корня при засухе до уровня политых растений.

Концентрация хлорофилла снижалась при дефиците воды, а все обработки растений увеличивали этот показатель до уровня хорошо поливаемых растений. Не было никакой разницы в содержании хлорофилла между растениями, обработанными или бактериями, или ГВ, но их комбинация привела к более высокой концентрации. У растений, ничем не обработанных, NBI в листьях уменьшался в условиях засухи, но каждая обработка и их комбинация повышали показатель до уровня растений, не испытывающих дефицит воды. Повышение NBI коррелировало с содержанием хлорофилла под влиянием штамма бактерий и ГВ. Увеличение хлорофилла было наиболее выражено у растений, обработанных бактериями и их комбинацией с гуматами.

Таким образом, была показана стимуляция роста растений в условиях засухи при совместной обработке их *P. plecoglossicida* 2,4-D с ГВ. Показано, что накопление массы растений связано с активацией роста корня, что приводило к увеличению индекса азотного баланса и хлорофилла при обработке растений. Высокая эффективность совместного использования бактерий и гуматов, чем любым из них по отдельности, может найти применение в сельскохозяйственной практике для повышения устойчивости пшеницы к засухе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00147, <https://rscf.ru/project/22-26-00147/>.

## РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА ПРОРОСТКИ ПШЕНИЦЫ

**В. С. Чернова, С. А. Ибрагимова**

НИИ МГУ им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия  
chernovaleria27@mail.ru

Для исследования были использованы семена пшеницы сорта «Мироновская 808». Перед использованием семена стерилизовали смесью 70% этанола и 3 % раствора пероксида водорода в соотношении 1:1 в течение 5 минут. Для обработки семян применяли биопрепараты на основе монокультур *Pseudomonas aureofaciens* В-11634 и *Azotobacter vinelandii* Д-08, а также их консорциума, полученного в результате культивирования бактерий на мелассной среде с добавлением минеральных солей при  $28 \pm 1$  °С в течение 24 ч. Семена в количестве 100 штук замачивали в биопрепаратах (БИ), разведенной водой в соотношении 1:100 (опыт) и водопроводной воде (контроль) в течение 1 ч. Семена раскладывали в чашки Петри на стерильную фильтровальную бумагу и выдерживали 2 сут., после чего проростки заворачивали в рулон фильтровальной бумаги и помещали в среду Хогланда-Арнона. Проращивание проводили в климатической камере в течение 5 сут. По окончании инкубации образцов проводили оценку морфометрических параметров проростков.

Максимальный ростостимулирующий эффект был достигнут при обработке семян пшеницы бактериальным консорциумом. При этом энергия прорастания и всхожесть составила на 12,5 % больше относительно контроля, а прибавка в массе корня и побега на 85 и 50 % соответственно. Также отмечено увеличение длины корня опытных вариантов на 42,9 % и побега на 22,0 %. У биообработанных проростков отмечено большее развитие ростовой трубки, корневых волосков и утолщение корешков, что обусловлено ростостимулирующим влиянием микробных метаболитов.

В результате проведенного исследования показано, что препарат на основе консорциума бактерий *Pseudomonas aureofaciens* и *Azotobacter vinelandii* оказывает более положительное влияние на морфометрические показатели, по сравнению с монокультурными, что, вероятно, связано с проявлением суммарного эффекта.

Таким образом, проведенное комплексное исследование основных морфометрических параметров, показывает, что применение биопрепаратов на основе ризосферных бактерий может быть использовано как эффективный способ воздействия на рост, развитие и повышение стрессоустойчивости проростков пшеницы.

Однако применение жидких препаративных форм ограничено короткими сроками хранения. В связи с этим были проведены дополнительные исследования функциональных свойств биопрепаратов с добавлением органических наполнителей.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Чернова В. С. Влияние наполнителей на функциональные свойства биопрепарата / В. С. Чернова, С. А. Ибрагимова // Интеграция науки и высшего образования в области био- и органической химии и биотехнологии : материалы XVI Всерос. науч. интернет-конф. – 2022. – С. 110–111.

## АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ОТВЕТ НА ИНОКУЛЯЦИЮ ДВУХ СОРТОВ ФАСОЛИ РАЗНЫМИ ДОЗАМИ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ

**А. В. Чистоседова, В. Д. Матюнина, О. В. Маркова, И. А. Шпирная, С. Р. Гарипова**

УУНиТ, Уфа, Россия  
achistoyedova@mail.ru

Эндофитные бактерии – типичные представители внутренней микробиоты растительного организма, стимулирующие рост растения. При инокуляции семян бактерии способны улучшать фосфорное и азотное питание, оказывать влияние на рост и развитие растения благодаря продукции гормонов, снижать или предотвращать отрицательное воздействие на растения фитопатогенных микроорганизмов. Однако для формирования эффективного симбиоза необходимо подобрать не только штамм к определенному растению, но и дозу препарата, поскольку уровень инфекционной нагрузки обуславливает степень проявления фитоиммунных реакций, которые могут различаться у разных сортов. В связи с этим представляет интерес оценить активность антиоксидантных ферментов растения в ответ на инокуляцию эндофитными бактериями как реакцию на окислительный взрыв, возникающий при заселении бактериями растительных тканей. Цель исследования – анализ влияния инокуляции двух сортов фасоли разными дозами бактерий *Bacillus subtilis* 10-4 и 26Д на рост проростков и активность пероксидазы и каталазы в растительных тканях.

Поверхностно стерилизованные семена фасоли сортов Уфимская и Золотистая инокулировали штаммами *B. subtilis* 10-4 и 26Д в малой ( $5 \cdot 10^5$  кл/мл) и большой ( $5 \cdot 10^8$  кл/мл) дозах, контролем служили семена, обработанные водой. Семена проращивали на бумажных фильтрах в темноте при комнатной температуре. Недельные проростки оценивали по всхожести, энергии прорастания, длине осевых органов, количеству боковых и придаточных корней. Пероксидазную активность в проростках определяли по (Азнабаева и др., 2002), каталазную – по (Королюк, 1988). Каждый вариант опыта включал три биологических и четыре аналитических повтора. Данные обрабатывали статистически при  $p = 0,95$ .

Инокуляция семян сорта Уфимская обоими штаммами приводила к торможению роста растений по всем ростовым показателям. Положительное влияние на сорт Золотистая отмечено в вариантах инокуляции штаммом 26Д в малой дозе: повысилась всхожесть на 69 %, масса проростка 28 %, увеличилось количество придаточных корней на 31 % и длина корня – на 83 %.

Сорта отличались по активности каталазы и пероксидазы в контрольных растениях. В проростках сорта Уфимская их активность была на 20 % выше, чем у сорта Золотистая. При инокуляции обоими штаммами в малой дозе активность каталазы была снижена по сравнению с контролем в проростках обоих сортов. В наиболее эффективном по ростовым параметрам варианте (Золотистая+26Д  $10^5$  кл/мл) активность каталазы была минимальна (ниже относительно контроля на 15 %). Активность пероксидазы во всех вариантах бактериальных обработок была выше контроля только в растениях сорта Золотистая.

По активности каталазы и пероксидазы в тканях 7-суточных проростков фасоли прослеживается дозо-специфичное и сорто-специфичное влияние инокуляции эндофитными бактериями, однако штаммо-специфичный эффект несущественный.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00602, <https://rscf.ru/project/23-24-00602/>.

**РОЛЬ РИЗОСФЕРНОЙ БАКТЕРИИ *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* 2137  
В АКТИВАЦИИ ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЙ ЯЧМЕНЯ ПРИ ФУЗАРИОЗЕ**

**А. И. Шапошников**<sup>1</sup>, **М. И. Лебединский**<sup>1</sup>, **В. Ю. Шахназарова**<sup>1</sup>,  
**Н. А. Вишневская**<sup>1</sup>, **Е. В. Бородин**<sup>1</sup>, **Д. С. Сырова**<sup>1</sup>, **О. Н. Ковалева**<sup>2</sup>,  
**О. К. Струнникова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ ВНИИСХМ, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ ВИР, Санкт-Петербург, Россия

ai-shaposhnikov@mail.ru

*Fusarium culmorum* (W. G. Sm.) Sacc. – опасный почвообитающий фитопатогенный грибок, являющийся возбудителем корневой и стеблевой гнили. Фузариозы зерновых, вызванные этим фитопатогеном, приводят к снижению урожая и ухудшению качества зерна. Одним из агентов биоконтроля фузариозной корневой гнили, вызываемой грибом *F. culmorum*, являются ризобактерия *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (Струнникова и др., 2010). При изучении влияния штамма SPB2137 на скорость колонизации корневой ячменя грибом *F. culmorum* был получен неожиданный результат: в присутствии бактерии данный фитопатоген колонизировал корни ячменя восприимчивого к фузариозу генотипа раньше, а его количество на поверхности корней в первые несколько суток после инокуляции было выше, чем в контрольном варианте. Однако в дальнейшем в варианте «гриб+бактерия» интенсивность корневой гнили существенно снижалась (Струнникова и др., 2010), в связи с чем возникло предположение, что SPB2137 в присутствии *F. culmorum* предохраняет растение от болезни благодаря активации системного иммунитета растения.

Используя метод полимеразной цепной реакции в реальном времени, мы выяснили, что штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 способен индуцировать гены хозяйской защиты *PAL*, *PR1* и *LOX* у ячменя в ответ на колонизацию его корневой фитопатогенным грибом *Fusarium culmorum*. Моноинокуляция штаммом SPB2137 не приводила к увеличению уровня экспрессии генов хозяйской защиты. В корнях ячменя, в которых присутствовал только грибок *F. culmorum*, отмечено подавление экспрессии генов *PAL* и *PR1* на 1-е сут. и гена *LOX* на 1-е и 2-е сут., но усиление экспрессии гена *PAL* на 2-е и 12-е сут. Совместное присутствие в корнях ячменя гриба и бактерии сопровождалось усилением экспрессии гена *LOX* в течение всего наблюдаемого периода, гена *PAL* на 2 и 12-е сут. и гена *PR1* на 1-е сут. после инокуляции, при этом наблюдалось существенное снижение интенсивности корневой гнили ячменя. Уровень экспрессии генов *PAL*, *PR1* и *LOX* в корнях, совместно колонизированных грибом и SPB2137, был выше, чем при инокуляции только грибом.

Исследование выполнено за счет грантов РФФИ № 18-016-00111 и РНФ № 22-26-00341.

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Струнникова О. К. Колонизация корней ячменя *Fusarium culmorum* и влияние *Pseudomonas fluorescens* на этот процесс / О. К. Струнникова, Н. А. Вишневская, И. А. Тихонович // Микология и фитопатология. – 2010. – Т. 44, вып. 2. – С. 160–168.

The role of root exudates of barley colonized by *Pseudomonas fluorescens* in enhancing root colonization by *Fusarium culmorum* / N. Vishnevskaya, V. Shakhnazarova, A. Shaposhnikov, O. Strunnikova // Plants. – 2020. – Vol. 9. – Art. 366. doi:10.3390/plants9030366





СЕКЦІЯ 4

**БИОТЕХНОЛОГИЯ  
РАСТЕНИЙ  
И МИКРООРГАНИЗМОВ**

## ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА НА КАЛЛУСНУЮ КУЛЬТУРУ *CAMELLIA SINENSIS*

**М. А. Аксенова, М. Ю. Зубова, Н. В. Загоскина**

ИФР РАН, Москва, Россия

*akse.masha@yandex.ru*

Свет является одним из важных факторов окружающей среды, который оказывает значительное влияние на жизнедеятельность растений, а также на образование различных метаболитов, в том числе вторичной природы, к числу которых относят фенольные соединения (ФС). Стоит отметить, что эти вещества обладают различными фармакологически ценными свойствами, а именно противоопухолевой, противовирусной, антибактериальной, иммуностимулирующей и капилляроукрепляющей активностями.

К числу «уникальных» продуцентов ФС относят чайное растение (*Camellia sinensis* L.). В его молодых листьях их содержание достигает 30% на сухой вес. При введении в культуру *in vitro* образование ФС сохраняется, но не превышает 10 %. Для увеличения биосинтетической способности культур используют различные экзогенные факторы, в том числе свет, активирующий некоторые ферменты фенольного метаболизма.

Целью работы было сравнение ответной реакции каллусных культур чая на действие различной интенсивности светового воздействия, оценивая их морфологические характеристики, содержание ФС и малонового диальдегида.

Объект исследования – каллусные культуры чая, выращиваемые в камере фитофона ИФР РАН в темноте при 25 °С и относительной влажности воздуха 70 % на питательной среде Хеллера, содержащей 2,4-дихлорфеноксиуксуную кислоту (5 мг/л) и глюкозу (25 г/л). При постановке опытов каллусы переносили в световые условия и культивировали при интенсивности освещения 5000 Лк (НИС) и 10000 Лк (ВИС) в течение 40 сут.

Из каллусов чая ФС экстрагировали 96%-ным этанолом и определяли их количество спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина-Чокольтеу. Содержание малонового диальдегида анализировали по реакции с нитросиним теразолием по стандартной методике. Воздействие различной интенсивности света не вызывало значительных изменений в росте и морфологических характеристиках каллусных культур чая. При этом во второй половине пассажа (к 30-м сут.) было отмечено позеленение клеток на поверхности каллусов, особенно при ВИС, а в конце пассажа (40 сут.) – формирование клеток с антоциановой пигментацией (розовый цвет). В варианте с НИС содержание ФС в каллусах было выше такового при ВИС (в среднем на 20–30 %) и в обоих случаях почти не изменялось до начала стационарной фазы роста (30 сут.). Увеличение их количества было отмечено только в конце пассажа (40 сут.), которое при ВИС было на 26 % выше, относительно НИС. Содержание малонового диальдегида, как показателя стрессовой реакции клеток на световое воздействие, не повышалось в течение всего периода культивирования.

Таким образом, выращивание каллусных культур чая при ВИС способствует повышению накопления в них ФС, как эффективных антиоксидантов, успешно используемых в фармакологии.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00359, <https://rscf.ru/project/23-24-00359/>.*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНДОФИТОВ ВИНОГРАДА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

**О. А. Алейнова, Н. Н. Нитяговский, А. А. Ананьев, А. Р. Супрун, К. В. Киселёв**

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

*aleynova@biosoil.ru*

Многие эндофитные микроорганизмы винограда обладают большим потенциалом в подавлении и сдерживании развития патогенов винограда, способны стимулировать рост и приспособленность растения к различного рода стрессам, а также повышать содержание полезных для здоровья человека веществ в урожае. Микробиом дикорастущего винограда является важным источником потенциально полезных эндофитных микроорганизмов для биологической борьбы с болезнями и сельскохозяйственными вредителями. Используя геномные подходы и классические методы микробиологии, были изучены эндофитные сообщества бактерий и грибов дикорастущих сортов винограда *Vitis amurensis* Rupr. и *Vitis coignetiae* Pulliat, произрастающих на Дальнем Востоке России. Также проанализировано биоразнообразие эндофитных бактерий и грибов наиболее распространенных сортов культивируемого винограда Приморского края: *Vitis vinifera* × *Vitis amurensis* cv. Адель, *Vitis riparia* × *V. vinifera* cv. Мукузани, *Vitis labrusca* × *V. riparia* cv. Альфа и *Vitis* Elmer Swenson 2-7-13 cv. Прэри стар. Для *V. amurensis* доминирующим классом эндофитных бактерий были Gammaproteobacteria (35 %), а для *V. coignetiae* – Alphaproteobacteria (46 %). Преобладающими классами эндофитных грибов для всех проб винограда были Dothideomycetes (63–67 %) и Tremellomycetes (11 %).

Далее на основе выделенных эндофитных микроорганизмов была сформирована коллекция эндофитов дикорастущих виноградов *V. amurensis* и *V. coignetiae*. На основе экспериментальных данных нами были обнаружены эндофитные микроорганизмы, которые повышают рост и урожайность модельного растения *Arabidopsis thaliana*, путем активации экспрессии генов, отвечающих за биосинтез или деградацию фитогормонов. При помощи ВЭЖХ анализа проведен поиск стильбен-содержащих эндофитов винограда. Установлено, что синтезы веществ, которые по времени удерживания и пику поглощения соответствуют стильбенам, снижаются или исчезают при длительном культивировании эндофитных микроорганизмов в условиях *in vitro*. Также были обнаружены штаммы эндофитных бактерий рода *Bacillus* и грибов рода *Phoma* способные сдерживать рост патогенных грибов *Botrytis cinerea*, *Cladosporium oxysporum*, *Mucor hiemalis*, *Nemania diffusa* и патогенных бактерий *Agrobacterium tumefaciens*, *Erwinia billingiae*, *Pantoea agglomerans*, *Xanthomonas campestris*.

Полученные данные об эндофитном сообществе дикорастущего винограда *V. amurensis* и *V. coignetiae*, а также культивируемых сортов винограда являются основой для отбора интересных штаммов эндофитных микроорганизмов для создания потенциальных биологических агентов для защиты сельскохозяйственных культур и функциональных исследований растений. Полученные данные важны как для сельского хозяйства, виноделия, так и для получения новых штаммов – продуцентов биологически активных веществ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-10001, <https://rscf.ru/project/22-74-10001/>.

**МОДУЛЯЦИЯ РОСТА И АККУМУЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В РАСТЕНИЯХ *FRAGARIA* × *ANANASSA* В УСЛОВИЯХ *IN VIVO*  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ХЕЛАТОВ КРЕМНИЯ****Е. В. Амброс<sup>1</sup>, Е. С. Крупович<sup>1,2</sup>, Ю. П. Колмогоров<sup>3</sup>, Е. Г. Трофимова<sup>4</sup>,  
И. С. Гусев<sup>5</sup>, Б. Г. Гольденберг<sup>5,6</sup>**<sup>1</sup> ЦСБС СО РАН, Новосибирск, Россия<sup>2</sup> ИНХ СО РАН им. А. В. Николаева, Новосибирск, Россия<sup>3</sup> ИГМ СО РАН им. В. С. Соболева, Новосибирск, Россия<sup>4</sup> ИХТМ СО РАН, Новосибирск, Россия<sup>5</sup> ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия<sup>6</sup> ЦКП «СКИФ», Кольцово, Новосибирская область, Россия

ambros\_ev@mail.ru

Применение биостимуляторов рассматривается как одна из стратегий повышения устойчивости растений к факторам среды. Среди биостимуляторов большой интерес вызывают препараты на основе соединений кремния (Si). Большинство исследований по влиянию Si на растения связаны с его ролью в условиях био- и/или абиотических стрессов. Аккумуляция Si и трансформация эссенциальных элементов у ягодных культур изучена фрагментарно. В качестве источника Si в работе использован механикохимический комплекс (МК) из шелухи риса и зеленого чая на основе растворимых хелатных комплексов диоксида кремния. Эффективность МК испытывали в условиях теплицы на растениях *Fragaria* × *ananassa* (сорт Солнечная полянка) микроклонального происхождения. Растения в горшках объемом 250 мл с почвенным субстратом из смеси торфа с перлитом, перегноя, песка и кокосового субстрата (1:1:0,25:0,25) поливали водой без МК или раствором с 0,3 г/л МК дважды за период. Субстрат увлажняли до 50 % от полной влагоемкости. Отбор образцов на показатели вегетативной продуктивности растений и содержание Si, P, S, Cl, K, Ca в листьях и корнях растений проводили через неделю после последней обработки. Химический состав определен методом рентгенофлуоресцентного анализа на синхротронном излучении (РФА СИ) в вакууме. В отличие от рутинных методов, основанных на жидкостном химическом или термическом преобразовании образцов, при РФА СИ не происходит уничтожение образцов и потеря информации. Условия эксперимента оптимизированы для регистрации фотонов с энергией менее 3,6 кэВ, характерных для легких элементов, таких как Si, P, S, Cl и труднодоступных для регистрации на других установках РФА СИ. Обработка МК существенно повлияла на развитие корневой системы растений: длина корней увеличилась на 20 % ( $p < 0,05$ ), сухая масса корней – на 30 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем. Содержание Si в корнях растений под действием МК превышало варианты без МК на 23 %, P – на 27 %, S – на 2 %, при этом снизилось содержание Cl на 35 %, K – на 14 %, Ca – на 26 %. В листьях растений в вариантах с МК содержание Si увеличилось на 459 %, P – на 2 %, S – на 41 %, Cl – на 34 %, содержание K снизилось на 2 %, Ca – на 4 %. Таким образом, впервые для *F.* × *ananassa* показана связь между продуктивностью корневой системы, аккумуляцией Si и полезных химических элементов в листьях и корнях растений под действием МК. Увеличение содержания Si в растениях *F.* × *ananassa* определяет перспективность дальнейших исследований в области функционального питания.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области, проект № 22-26-20061.*

**АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭНДОФИТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДИКОРАСТУЩЕГО ВИНОГРАДА *VITIS AMURENSIS* RUPR.****А. А. Ананьев, О. А. Алейнова, Н. Н. Нитяговский, А. Р. Супрун, К. В. Киселёв**

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

Ananev.All@yandex.ru

Патогены растений снижают глобальный годовой урожай сельскохозяйственных культур примерно на 30–50 %, а использование агрохимикатов при защите растений от патогенов приводит к загрязнению почвы, наземных и водных экосистем. Известно, что многие эндофитные микроорганизмы обладают способностью подавлять или сдерживать рост патогенов растений. Данный факт указывает на возможное использование эндофитных микроорганизмов как альтернативу химическим пестицидам.

В данной работе были проанализированы антимикробные свойства эндофитных микроорганизмов *Phoma* sp. штамм R61S, *Bacillus subtilis* BSO, *B. subtilis* BSP, *B. subtilis* BSN, выделенные из дикорастущего винограда *Vitis amurensis* Rupr., против широко-распространенных патогенов растений, таких как грибы *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* и бактерии *Erwinia billingiae*, *Pantoea agglomerans*, *Xanthomonas campestris*. Антимикробную активность эндофитов в отношении патогенных бактерий исследовали методом агарозных блоков на среде PDA. Тест антифунгицидной активности производили с использованием метода двойного культивирования на среде PDA. Измерение диаметра зоны подавления осуществляли спустя 7–10 сут. культивирования при 25°C. В результате исследования была выявлена антимикробная активность у всех исследуемых штаммов, выделенных из *V. amurensis*. Было обнаружено, что высокую антагонистическую активность против *B. cinerea* проявлял штамм эндофитного гриба *Phoma* sp. R61S, индекс ингибирования составил 70%. Кроме того, штаммы эндофитных бактерий *B. subtilis* BSO и BSN также ингибировали рост патогенного гриба *B. cinerea*, индекс ингибирования составил 42 и 54 % соответственно. Уровень антагонистической активности против *A. alternata* у всех исследуемых штаммов эндофитных микроорганизмов винограда был более 60 %. В отношении патогенных бактерий антибактерицидную активность в большей степени проявили штаммы бактерий *B. subtilis* BSO и BSP, в особенности против *P. agglomerans*, где зона задержки роста, составляла 21,6±0,6 мм и 21,5±0,6 мм соответственно. Стоит отметить, что исследуемый штамм эндофитного гриба *Phoma* sp. R61S не проявлял антибактерицидной активности в отношении исследуемых бактерий. Для определения за счет чего эндофитные бактерии винограда подавляют рост и развитие патогенных микроорганизмов, при помощи ВЭЖХ-МС/МС был исследован метаболом эндофитных бактерий штамма BSO. В результате анализа спектра метаболитов эндофитных бактерий штамма BSO были обнаружены вещества, которые способны подавлять рост и развитие микроорганизмов, такие как сурфактин Ц – поверхностно-активное вещество и цикло-(Лей-Про) – циклический пептид, состоящий из аминокислотных остатков лейцина и пролина.

Таким образом, эндофитные микроорганизмы дикорастущего *V. amurensis* имеют перспективу для создания биопрепаратов на их основе для борьбы с патогенами сельскохозяйственных растений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-10001, <https://rscf.ru/project/22-74-10001/>.

## ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК *DRACOSEPHALUM PALMATUM* STEPH.

**Е. Е. Антонова, Ю. А. Егоров, Ж. М. Охлопкова**

СВФУ, Якутск, Россия

*ee.antonova@s-vfu.ru*

Растения рода *Dracosephalum* L. представляют интерес как источники вторичных метаболитов, востребованных для разработки профилактических и лечебных средств. *Dracosephalum palmatum* Steph. используется в тибетской медицине, якутской народной медицине, настой из надземной части и цветков применяют при язвенной болезни желудка, а в Средней Азии – при сердечной недостаточности, астении, болезнях желудка и как потогонное средство. Известно, что на основе химических и спектральных работ из надземной фитомассы змеоголовника дланевидного было выделено 23 соединения (фенилпропаноиды, кумарины, флавоноиды и тритерпены), среди которых впервые для рода *Dracosephalum* были обнаружены сальвианоловая кислота В, кафтаровая кислота, цихоровая кислота, умбеллиферон, эскулетин, апигенин-7-О-β-D-глюкуронопиранозид, изорхоифолин и лютеолин-4'-О-β-D-глюкопиранозид. В свою очередь, технологии и методы культивирования клеток растений *in vitro* считаются альтернативным путем получения растительного лекарственного сырья.

Целью исследования является получение первичной суспензионной культуры клеток *Dracosephalum palmatum*. В качестве материала нами использованы образцы интактных растений и семена, собранные в течение экспедиционных работ 2016–2020 гг. в окрестностях участка Кюбюма Оймяконского района Якутии.

На первом этапе от семян дикорастущих растений получали стерильные проростки в контролируемых по температуре, освещенности и влажности условиях климатической камеры. Из кусочков тканей от настоящих листьев стерильных проростков инициировали получение каллусной ткани на питательной среде Мурасиге-Скуга (МС) с добавлением соответствующих фитогормонов. Далее производили оптимизацию питательной среды с целью получения циклического роста биомассы каллусной ткани с изучением кривой роста и морфологической структуры клеток. При достижении рыхлой каллусной ткани с соответствующими типами клеток начали перенос части каллусной ткани в жидкую питательную среду с разной комбинацией и соотношением фитогормонов с культивированием в условиях мультишейкера. Наиболее интенсивный переход в суспензионную культуру клеток наблюдали на питательной среде МС с добавлением 0,5 мг/л нафтилуксусной кислоты и 0,2 мг/л дихлорфеноксиуксусной кислоты. Анализ динамики роста суспензионной биомассы в течение 19-дневного цикла показал прирост сырого веса – 1,2463 г (±0,3), сухого веса – 0,119 г (±0,04), индекс роста – 8,74. Другие варианты культивирования значительно уступали по показателям роста.

Таким образом, получена первичная суспензионная культура клеток *Dracosephalum palmatum* темно-коричневого оттенка, состоящая из светло-бежевых агрегатов из двух морфологических групп клеток, преимущественно из паренхимных клеток округлой формы, а также вытянутой формы. Планируется улучшить ростовые характеристики суспензионной культуры как источника вторичных метаболитов, востребованных для разработки лекарственных средств.

*Исследование выполнено при поддержке НИП № 6 Проектного финансирования УНЛ «Молекулярно-генетические и клеточные технологии».*

## ПОЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ РЕГЕНЕРАНТОВ ЯЧМЕНЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СОРТА ЛЕОН

**Д. Д. Бабина, Я. А. Блинова, М. Ю. Король, А. С. Ханова, А. А. Празян, Е. В. Бондаренко**

ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

*babinadd@gmail.com*

Ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare*) – одна из ведущих сельскохозяйственных культур не только в Российской Федерации и в странах СНГ, но и в мире. Ячмень используют в кормовых целях, пивоварении и в продовольственных нуждах. Получение растений регенерантов является актуальным направлением в современной биотехнологии и генетике для получения растений с отредактированным геномом. Геномное редактирование дает возможность ускорить создание сортов с улучшенными хозяйственно-ценными признаками, с устойчивостью к инфекционным заболеваниям и изменениям климата.

Целью нашего исследования была адаптация и оптимизация протокола получения регенерантов ячменя обыкновенного из андрогенного каллуса на примере отечественного сорта Леон.

Можно выделить несколько основных этапов получения растений-регенерантов:

1. Выращивание растений-доноров.
2. Отбор колосьев с подходящей стадией микроспор.
3. Инокулирование пыльников на индукционной питательной среде.
4. Получение растений из каллусогенной или эмбрионной ткани на регенерационной среде.
5. Адаптация растений *ex vitro*.

Растения-доноры выращивали в фитотронной комнате при температуре 19 °С, 50 % влажности и фотопериоде 14/10, день/ночь. Отбор, предобработка колосьев и получение асептической культуры пыльников были проведены по методикам, опубликованным ранее. Каллусы, полученные из пыльников ячменя сорта Леон, были пересажены на безгормональную среду Мурасиге-Скутта и культивировались при слабом освещении при температуре 25 °С в течение 2–3 недель, после чего проводилась оценка количества зеленых растений и растений альбиносов. Далее проводили адаптацию зеленых растений *ex vitro*. Для этого растения переносили в горшки с грунтом и в течение 1–2 недель поддерживали влажность не менее 70 %. После этого растения помещали в условия фитотронной комнаты.

Показателем эффективности оптимизации протокола служил процент каллусогенеза от общего количества пыльников, выход зеленых и хлорофиллдефектных растений, высокий процент растений, адаптированных к условиям *ex vitro*.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-1068 от 28.09.2021).*

## СОЗДАНИЕ ГЕННО-ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ CRISPR/CAS РЕДАКТИРОВАНИЯ ГЕНА УБИКВИТИН-ЛИГАЗЫ *TaCer9* МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Э. А. Баймухаметова, Х. Г. Мусин, Б. Р. Кулуев

ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия  
elvina.baimuhametova@yandex.ru

Одним из революционных направлений генной инженерии является *CRISPR/Cas* технология генетического редактирования, благодаря которой стало возможным «выключать» определенные гены растений, например, с целью улучшения их сельскохозяйственных признаков. Одним из таких генов-кандидатов является ген убиквитин-лигазы *TaCer9* (*ECERIFERUM9*) мягкой пшеницы. Фермент, кодируемый этим геном, контролирует синтез восковых веществ, образующих поверхностный слой на эпидермисе растений. Мутантные по данному гену растения *Arabidopsis thaliana* характеризовались отсроченным увяданием при дефиците воды, а также низкой скоростью транспирации. Кроме того, *TaCer9* связан с сигналингом абсцизовой кислоты во время прорастания семян. Мутантные *TaCer9* формы пшеницы показывали более быстрое прорастание. Таким образом, мутации в гене *TaCer9* могут привести к изменению структуры и состава воска на поверхности листьев и стеблей пшеницы, что может способствовать повышению засухоустойчивости растений, а также к более быстрому прорастанию семян, что является важным качеством культур в засушливых регионах.

Для создания генно-инженерной конструкции последовательности гена *TaCer9* были найдены в GenBank и выравнены в программе «MEGA X». Ген находится во всех гомоаллелях 7-й хромосомы и имеет длину кодирующей части в 3635 п.н. Выравненные последовательности с наиболее консервативными участками загружали в систему для подбора гидовых РНК CRISPOR. Входная последовательность имела длину 2185 п.н. и содержала 250 возможных гидовых последовательностей. Далее полученные последовательности проверяли на сайте RNAfold Webserver для того, чтобы выяснить будет ли иметь полученная с помощью данной гидовой последовательности РНК оптимальную структуру. Структура гидовой РНК должна иметь двушипичную форму, иначе взаимодействие с белком Cas будет затруднено. После, проверяли места нецелевого прикрепления гидовых последовательностей в базе данных Ensemble, чтобы избежать делеции других генов. Таким образом, было подобрано 6 последовательностей гидовой РНК для образования делеции в гене *ECERIFERUM9* в геноме мягкой пшеницы. Сборку гидовых РНК осуществляли в модульную генетическую конструкцию pTrans230 с помощью реакции Golden Gate. Полученную конструкцию клонировали в бактерии *Escherichia coli* штамма XL1-blue и с помощью ПЦР-анализа проверяли правильность сборки конструкции и отбирали подходящие колонии. Целевую генетическую конструкцию далее методом электропорации внедряли в клетки бактерий *Agrobacterium tumefaciens* штамма EHA105 для дальнейшего использования их для трансформации мягкой пшеницы и редактирования гена *ECERIFERUM9*.



## МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ *IN VITRO* ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА

**А. А. Батукаев**<sup>1,2</sup>, **К. У. Куркиев**<sup>2</sup>, **Д. О. Палаева**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Грозный, Россия

<sup>2</sup> Дагестанская ОС, филиал ФИЦ ВИР им. Н. И. Вавилова, Дербент, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова», Грозный, Россия  
batukaevmalik@mail.ru

Современное виноградарство России должно базироваться на производстве сертифицированного посадочного материала. Производство посадочного материала винограда высших категорий в РФ отсутствует. Объектом исследований явились перспективные столовые сорта винограда (Кишмиш ВИРа, Августин, Мускат Дербентский). В качестве исходного материала были взяты интенсивно растущие зеленые побеги винограда, которые разрежали на одноглазковые черенки и далее проводили вычленение меристем в ламинарных боксах. Одноглазковые черенки перед вычленением меристемы стерилизовали в 2%-ном растворе гипохлорита натрия. При этом использовали модифицированную питательную среду MS с витаминами. В качестве регуляторов роста в питательную среду добавляли ауксины и цитокинины в различных концентрациях и сочетаниях.

**Результаты исследований.** Степень приживаемости апикальных меристем на этапе введения в культуру *in vitro* составлял в среднем – 40 % ( $n = 20$ ). Гибель апикальных меристем в процессе культивирования, по-видимому, наступает за счет повреждения апикальных структур в процессе вычленения. Прижившиеся апикальные меристемы, через месяц после посадки были пересажены на питательную среду с содержанием тех же компонентов. Пересадку производили в биологические пробирки размером 40×120 мм, в течение 45–55 дней образовались регенеранты размерами 6–10 см. Далее эти микрорастения были расчернованы и получены микроклоны. Одним из важнейших и неотъемлемых компонентов питательной среды являются регуляторы роста. Проведенные эксперименты показали, что регенерация побегов из изолированных апексов происходила при всех концентрациях 6-БАП. Микропобеги, выращиваемые на среде с концентрацией 0,1 мг/л 6-БАП, развивались очень медленно. Вероятно, это связано с тем, что такие низкие концентрации препарата слабо стимулируют процессы органогенеза растений. Эффективное влияние 6-БАП оказал в диапазоне концентрации 0,5–1,0 мг/л. Тем не менее следует отметить наибольший прирост микропобегов, который был зафиксирован в варианте с концентрацией 1,0 мг/л. Для ускорения процесса удлинения микропобегов параллельно проводили изучение действия гибберелловой кислоты в различных концентрациях в сочетании 6-БАП. Как показал опыт, при сочетании 0,5 мг/л 6-БАП + 1,0 мг/л ГК был достигнут наилучший результат. Таким образом, проведенные нами эксперименты показали эффективное действие ГК (1,0 мг/л) и пониженной концентрации 6-БАП (0,5 мг/л) для удлинения побегов микроклонов виноградного растения.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Батукаев А. А. Оптимизация основных элементов размножения винограда биотехнологическим методом / А. А. Батукаев, Д. О. Палаева, М. С. Батукаев. – Махачкала, 2021. – 151 с.

Use of growth regulators in grapes grinding by *in vitro* method / A. A. Batukaev, M. D. Mukailov, M. S. Batukaev, T. Minkina S. Sushkova // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2018. – Vol. 18, N 6.2. – P. 783–790. doi: 10.5593/sgem2018/6.2/S25.103

## ВОДНЫЙ МОХ *VESICULARIA DUBYANA* BROTH. КАК ИСТОЧНИК НЕЙРОАКТИВНЫХ ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**А. Ю. Бельшенко, М. М. Моргунова, Е. В. Малыгина, М. Е. Дмитриева, Н. А. Имидоева, В. Н. Шелковникова, А. А. Власова, Т. Ю. Тельнова, Д. В. Аксёнов-Грибанов**

ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия  
al.belyshenko@gmail.com

Лекарственные растения широко используются в качестве альтернативных терапевтических средств и средств народной медицины для профилактики или вспомогательной терапии различных заболеваний. Среди всех наземных растений мохообразные рассматриваются как слабо изученный природный источник новых биологически активных метаболитов. На сегодняшний день у мохообразных был обнаружен немногочисленный ряд природных соединений, которые проявляют различную биологическую активность, в том числе противомикробную, противогрибковую, противоопухолевую, антиоксидантную, противовоспалительную и др.

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

Исследования проведены на образцах мхов *Vesicularia dubyana* Broth. (1908). Растения *V. dubyana* культивировали в лабораторных условиях при комнатной температуре в диапазоне 18–25 °С. Для культивирования мхов использовали полипропиленовые прозрачные контейнеры. Резервуары наполняли наполовину водопроводной водой, которую предварительно отстаивали в пластиковых емкостях. Замену воды в контейнерах проводили каждые 10 дней. Для освещения использовали фитолампы (900–1300 Лк.) с фотопериодом 12/12 ч, фотосинтетическим фотонным потоком 9 мкМоль/с. Для перемешивания водной массы в контейнере использовали погружную аквариумную помпу. Культивацию проводили на протяжении 4 недель или до прироста биомассы в объеме не менее чем на 50 %. Из образцов *V. dubyana*, экспонированных в культивационных установках, проводили экстракцию вторичных метаболитов. Идентификацию нейроактивных аминов проводили методом ВЭЖХ-МС в режиме мониторинга множественных реакций на базе хромато-масс-спектрометрического комплекса Agilent Infinity II с масс-спектрометрическим детектором QQQ 6470В. В образцах экстрактов мхов оценивали наличие таких биогенных аминов, как дофамин, гистамин, триптамин, тирамин, кинуренин и кинуреновая кислота.

Анализ хроматограмм показал, что триптамин, тирамин, кинуренин и кинуреновая кислота присутствуют в образцах мхов *V. dubyana*, выращенных в лабораторных условиях. Дофамин не был найден в анализируемых пробах. Также в ходе проведенного исследования обнаружен гистамин. Данный метаболит обнаружен не только в растении, но и в воде, в которой проводили культивацию. Это выявляет способность *V. dubyana* к внеклеточному синтезу данного биогенного амина.

В ходе настоящего исследования показано, что биогенные амины могут быть синтезированы растениями в лабораторных условиях. Это дает возможность для безопасного биосинтеза, накопления и выделения биогенных аминов и формирования биотехнологического производства с данными объектом исследования.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания FZZE 2021-0013 и МНОЦ Байкал.*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ АНДРОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ ПЫЛЬНИКОВ ЯЧМЕНЯ СОРТА «ЛЕОН»

**Я. А. Блинова, Д. Д. Бабина, А. С. Ханова, М. Ю. Король, Е. С. Макаренко,  
Е. А. Казакова, Е. В. Бондаренко**

ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, Россия

*yana.manuhina@yandex.ru*

Получение удвоенных гаплоидов ячменя обыкновенного позволяет значительно ускорить селекционный процесс этой культуры, а также является важным этапом в технологии редактирования генома, поскольку позволяет получить гомозиготные растения по измененному гену. В качестве экспланта для получения гаплоидов у ячменя используют преимущественно культуру пыльников или изолированных микроспор с последующим образованием первичного андрогенного каллуса. Способность к андрогенезу сильно зависит не только от вида сельскохозяйственных культур, но и от сорта, генотипа, условий выращивания растений-доноров (температура, влажность, наличие стимуляторов роста), стадии развития, способа обработки экспланта и т. д. В связи с этим, существует необходимость в оптимизации процессов каллусообразования в культуре пыльников.

Таким образом, в данном исследовании нашей целью является оптимизация условий выращивания, отбора экспланта и индукции каллуса для эффективного андрогенеза на примере отечественного сорта ячменя «Леон».

Донорные растения выращивали в условиях фитотронной комнаты из семян, любезно предоставленных ФГБНУ «АНЦ «Донской». На стадии удлинения влагалища флагового листа отбирали колосья, фиксируя расстояние между флаговым и вторым листом, флаговым листом и верхушкой находящегося в трубке колоса. Андрогенез зависит от процентного содержания микроспор, находящихся на оптимальном этапе развития, которая соответствует поздней одноядерной, сильно вакуолизированной стадии. Определение стадии проводили на световом микроскопе с окрашиванием в 2%-ном растворе ацетокармина. Из колосьев с большим процентом подходящих микроспор (> 50 %) извлекали пыльники и помещали на среду с добавлением маннитола для индукции удвоения хромосом. Через 4–6 дней пыльники переносили на индукционную среду трех разных составов, отличающихся по содержанию макроэлементов. Инкубация пыльников на индукционной среде осуществляли при 24 °С в течение 5 недель. Спустя обозначенное время определяли процент образования каллуса.

В результате были определены наиболее подходящие морфологические признаки, соответствующие поздней одноядерной стадии микроспор, а также показано, что использование сред разного состава не привело к значимым изменениям в проценте образования каллусной ткани.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-1068 от 28.09.2021).*

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЛЕРАНТНОСТИ К СТРЕССОВЫМ УСЛОВИЯМ И ПРОДУКЦИИ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ЗЕЛЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *LOBOSPHAERA* ПРИ ИММОБИЛИЗАЦИИ

**С. Г. Васильева**<sup>1,2</sup>, **Е. С. Лобакова**<sup>1,2</sup>, **К. А. Шибзухова**<sup>1</sup>, **О. А. Горелова**<sup>1</sup>,  
**О. Б. Чивкунова**<sup>1</sup>, **А. Е. Соловченко**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> ТГУ им. Г. Р. Державина, Тамбов, Россия

vankat2009@mail.ru

Известно, что существование клеток микроорганизмов в иммобилизованном состоянии, например, в составе биопленок, является широко распространенной в природе стратегией, обеспечивающей выживание клеток. В настоящее время искусственно иммобилизованные клетки микроводорослей применяются в различных областях биотехнологии, таких как получение биомассы и ценных метаболитов, очистка водных акваторий и сточных вод от тяжелых металлов, избытка биогенных элементов и органических загрязнителей. Иммобилизация микроводорослей облегчает процесс сбора биомассы, может способствовать большей устойчивости культур к стрессовым условиям, а также увеличению их продуктивности в сравнении с суспензионными культурами.

Культура зеленой микроводоросли *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 является перспективным объектом фотобиотехнологии, так как способна в стрессовых условиях к накоплению высоких количеств полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), таких как арахидоновая, линолевая и  $\alpha$ -линоленовая кислоты. В качестве носителей для иммобилизации клеток микроводоросли использовали высокопористые, биосовместимые и биодеградируемые полимеры на основе природного поликатионита хитозана (ПХ) и синтетического – полиэтиленimina (ПЭИ), синтезированные методом криополимеризации с использованием глутарового альдегида и диэтиленгликоль диглицидилового эфира в качестве сшивающих агентов.

Иммобилизация клеток *Lobosphaera* sp. на ПХ и ПЭИ, способствовала повышению толерантности культуры *Lobosphaera* sp. к отсутствию азота в среде культивирования и увеличению объемной продуктивности по накоплению жирных кислот на 15–35 % в сравнении с суспензионной культурой. Тип носителя (ХТ или ПЭИ), использованный для иммобилизации клеток *Lobosphaera* sp. оказывал различное влияние на метаболизм липидов и профиль жирных кислот. В случае иммобилизации клеток на ПЭИ регистрировали увеличение количества арахидоновой кислоты на 72–81 %, а при иммобилизации на ХТ – линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислот на 32–45 % в сравнении с суспензионной культурой.

Таким образом, полимеры на основе ХТ и ПЭИ перспективны в качестве носителей для культивирования клеток микроводорослей и получения обогащенной ПНЖК биомассы.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075-15-2021-1396).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Immobilization on polyethylenimine and chitosan sorbents modulates the production of valuable fatty acids by the chlorophyte *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 / S. Vasilieva, K. Shibzukhova, A. Solovchenko, O. Chivkunova, C. Antipova, A. Morozov, E. Lobakova // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11, N 4. – P. 865.

## ПОЛУПРОМЫШЛЕННОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПЛОСКОСТНЫХ ФОТОБИОРЕАКТОРАХ

**Д. А. Габриелян, М. А. Синетова, Б. В. Габель, А. К. Габриелян, А. Г. Маркелова, П. А. Леусенко, Н. В. Шчербакова, Д. А. Лось**

ИФР РАН, Москва, Россия  
gabrielyanda@ifr.moscow

С середины прошлого столетия микроводоросли и цианобактерии применяются в различных сферах деятельности человека: в сельской и пищевой промышленности, в фармакологии и косметологии. в фиторемедиации и утилизации CO<sub>2</sub>. В последнее время активно рассматриваются вопросы производства биотоплива и создания замкнутых биотехнических систем жизнеобеспечения на основе технологий интенсивного культивирования фотосинтезирующих микроорганизмов. Основная проблема заключается в том, чтобы разработать технологию эффективного производства биомассы в контролируемых условиях.

Доклад посвящен реализации технологической линии по производству биомассы фотосинтезирующих микроорганизмов от лабораторных до пилотных объемов в плоскостных фотобиореакторах (ФБР), разработанных в ИФР РАН. Основным преимуществом таких ФБР является вариативность и мобильность в создании условий для культивирования микроводорослей и цианобактерий по заданным параметрам: температуре окружающей среды, интенсивности и спектральному составу света, содержанию CO<sub>2</sub> в газовой смеси и др.

В работе представлены результаты интенсивного культивирования микроводорослей *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1, *Neochlorella semenkoi* IPPAS C-1210 и мутантного штамма цианобактерии *Synechococcus sp.* PCC 7942, продуцирующего полиненасыщенные жирные кислоты. В рамках исследований проведена оптимизация условий культивирования *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 в плоскостных ФБР различного объема; рассмотрены три режима полу-проточного культивирования в сравнении с накопительным режимом. В завершении доклада определены проблемы масштабирования процесса интенсивного культивирования и представлены возможные пути их решения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-74-30003.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Optimization of CO<sub>2</sub> supply for the intensive cultivation of *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 in the laboratory and pilot-scale flat-panel photobioreactors / D. A. Gabrielyan, B. V. Gabel, M. A. Sinetova, A. K. Gabrielyan, A. G. Markelova, N. V. Shcherbakova, D. A. Los // Life. – 2022. – Vol. 12. – P. 1469. doi: 10.3390/life12101469

Лабораторная система для интенсивного культивирования микроводорослей и цианобактерий / Д. А. Габриелян, М. А. Синетова, А. К. Габриелян, Л. А. Бобровникова, В. С. Бедбенов, А. Ю. Стариков, А. А. Зорина, Б. В. Габель, Д. А. Лось // Физиология растений. – 2023. – Т. 70, № 2. – С. 202–213. doi: 10.31857/S0015330322600486

## РАЗРАБОТКА СИНБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ЛАКТОБАКТЕРИЙ И ЕГО ОЦЕНКА НА ПЕРЕПЕЛАХ

**Е. А. Гаврилова**<sup>1</sup>, **О. С. Карасева**<sup>1</sup>, **Я. М. Монир**<sup>1</sup>, **А. М. Ежкова**<sup>2</sup>, **В. О. Ежков**<sup>2</sup>,  
**Е. В. Никитина**<sup>1,3</sup>, **Д. Р. Яруллина**<sup>1</sup>, **А. Р. Каюмов**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО КФУ, Казань, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ, Казань, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, Россия

Alalila@yandex.ru

Применение кормовых добавок на основе пробиотических препаратов и агроминералов способствует повышению резистентности сельскохозяйственных животных и птиц к неблагоприятным факторам внешней среды, улучшению иммунного статуса организма, стимуляции роста и развития молодняка, повышению качества получаемой продукции. В качестве пробиотиков в биотехнологии и пищевой промышленности широко применяются лактобациллы.

Целью работы являлась разработка нового синбиотического препарата на основе новых штаммов лактобактерий. В работе использовали штаммы: *Lactiplantibacillus plantarum* AG10, *Lactiplantibacillus plantarum* AG16, *Ligilactobacillus salivarius* LS 4-4, *Lactiplantibacillus plantarum* FCa3L, выделенные из растительного сырья, и штамм *Limosilactobacillus fermentum* HFD1 и из кишечника человека.

Для опыта отобрали 46 перепелов в возрасте двух недель и сформировали из них 6 групп, каждая из которых получала вместе с кормом в качестве добавки разный пробиотический штамм, выращенный в молочной сыворотке; первая группа – контрольная – получала только молочную сыворотку. Работа выполнена с одобрения локального этического комитета КФУ (протокол № 40 от 9 марта 2023 г.). Опыт продолжался на протяжении 69 дней, на протяжении которых птиц взвешивали и оценивали прирост биомассы. По окончании эксперимента оценили массу различных внутренних органов птиц, показатели биохимического и форменного анализа крови, оценили показатели качества яиц, состав микробиоты кишечника. В работе проведен сравнительный анализ данных показателей у различных групп птиц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00040.

## РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕНА ЦИТОКИНИНОКСИДАЗЫ/ДЕГИДРОГЕНАЗЫ TASKX-1 МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ

**А. А. Галимова<sup>1,2</sup>, Б. Р. Кулуев<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup> ВИР, Санкт-Петербург, Россия

*aiz.galimova@yandex.ru*

Редактирование генов ведущих продовольственных культур является одной из главных и важнейших направлений генетических и геномных исследований в мире. На сегодняшний день наиболее эффективным инструментом редактирования генов/геномов признана технология CRISPR/Cas, которая позволяет вносить сайт-направленный мутагенез генов и относительно быстро получать растения с улучшенными хозяйственно ценными признаками (урожайность, питательная ценность, стрессоустойчивость и др.). Ген цитокининоксидазы/дегидрогеназы *TaCKX-1* интересен для нокаутирования тем, что таким путем может быть увеличен вегетационный период растений. Этот ген кодирует фермент, катализирующий необратимую деградацию цитокининов и, таким образом, является ключевым регулятором содержания цитокининов в растениях. В целом цитокинины способствуют поддержанию устойчивости растений к неблагоприятным абиотическим условиям благодаря их способности стимулировать клеточное деление, сохранять меристематическую компетентность клеток, поддерживать высокий клеточный окислительно-восстановительный потенциал во время засухи и регулировать деятельность различных органов по поглощению питательных веществ. Также известно, что активация экспрессии гена цитокининоксидазы *TaCKX-1* способствует переходу растений к стадии старения и потери зеленой массы. Поэтому можно предположить, что блокирование экспрессии ферментов цитокининоксидаз будет способствовать сохранению высокой концентрации цитокининов и пролонгации «зеленой» стадии вегетации растения перед переходом на стадию старения. Удлинение стадии вегетации растений мягкой пшеницы будет способствовать увеличению урожайности пшеницы в условиях засушливого лета.

Генетическую трансформацию незрелых зародышей мягкой пшеницы проводили с использованием клеток *Agrobacterium tumefaciens* штамма AGL-0, содержащих плазмиды pDirect 25Н и 26Н и несущих гидовые РНК для гена *TaCKX1*. В работе использовали яровой сорт Уралосибирская, который показал хорошую способность к каллусогенезу, соматическому эмбриогенезу и регенерации растений. Время совместной инокуляции эксплантов с агробактериями составило 60–180 мин. Кроме того, в ходе инокуляции эксплантов были использованы такие добавки как спермидин и экстракт из листьев табака. Опыт агробактериальной трансформации незрелых зародышей мягкой пшеницы проводился в 4 группах: контрольная группа (жидкая инокулирующая среда с суспензией агробактерий без добавок); группа с добавлением экстракта из листьев табака; группа со спермидином; группа с экстрактом из листьев табака и спермидином. ПЦР-анализ на наличие гена *Cas9* позволил отобрать 2 трансгенных растения, которые будут использованы для акклиматизации к условиям почвы.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОГЕННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА НАКОПЛЕНИЕ В КАЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ *O. BASILICUM* ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ

**А. М. Гвоздикова**<sup>1</sup>, **О. Б. Поливанова**<sup>2</sup>, **О. К. Давыдова**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФНЦ БСТ РАН, Оренбург, Россия

<sup>2</sup> РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>3</sup> ОГУ, Оренбург, Россия

anastasiaporv@mail.ru

Большой практический интерес несет исследование антиоксидантных свойств *Ocimum basilicum*. Наночастицы (НЧ) могут выступать как потенциальные элиситоры для биосинтеза метаболитов в калусных культурах. В работе получали каллус из листовых и стеблевых эксплантов различных сортов *O. basilicum* (Ереванский сапфир (ЕС), Русский гигант зеленый (РГЗ), Русский гигант фиолетовый (РГФ), Василиск (В)) на средах с ауксинами (2,4-Д, ИУК) и цитокининами (БАП): 1) 1 мг/л 2,4-Д; 2) 2 мг/л 2,4-Д; 3) 3 мг/л 2,4-Д; 4) 3 мг/л БАП+0,3 мг/л ИУК. Далее в среду добавляли 12,5, 25 и 50 мкг/л НЧ  $ZnFe_2O_4$ , полученных из экстракта *P. crispum* (Korotkova, 2021). В конце 1 пассажа (30 дней) определяли сухую и сырую биомассу каллуса, индекс роста (по сырой биомассе), жизнеспособность клеток, содержание фенольных соединений (ФС) по Фолина-Денису.

Исходя из полученных данных суммарное содержание ФС в 1-м пассаже при использовании пищевой пленки в растениях сорта ЕС было существенно больше, чем в других сортах и составляет  $4,03 \pm 1,72$  мг/г сырой массы. При использовании ватно-марлевой пробки самое высокое содержание ФС наблюдалось у растений сорта РГФ в 1-м пассаже ( $2,50 \pm 0,50$  мг/г сырой массы), по сравнению с другими вариантами при данном типе герметизации. Также на среде MS+1 мг/л 2,4-Д у калусной культуры сорта РГЗ содержание ФС значительно выше при использовании стеблей, чем при использовании листьев.

Согласно микроскопии клетки каллуса из растений сорта РГФ на среде MS+2 мг/л и 2,4-Д (первичный эксплант – стебли) имели округлую форму, гетерогенны по размеру и форме, на фиолетовых участках с насыщенным фиолетовым цветом и черными включениями в виде точек. После внесения 25 мкг/л НЧ  $ZnFe_2O_4$  существенно увеличивались накопление сырой биомассы, размер калусной культуры, однородность, антоциан-окрашенность, схожесть с контролем по сравнению со всеми опытными вариантами. При этом клетки приобретали более округлую форму, увеличивались в размерах, а на фиолетовых участках увеличивалось число включений. В свою очередь, каллус, полученный на среде с добавлением 50 мкг/л НЧ  $ZnFe_2O_4$  был рыхлым, а на среде с 12,5 мкг/л НЧ  $ZnFe_2O_4$ , наоборот – плотным. Отметим, что на среде с 50 мкг/л НЧ было сложно рассмотреть одиночные клетки, все они были собраны в конгломераты, а количество включений существенно увеличивалось не только в окрашенных клетках, но и в обычных.

Исследование выполнено в рамках Гос. задания ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2022-0014).

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Biological testing of powders based on Fe and Zn obtained in parsley extract / A. M. Korotkova, O. B. Polivanova, S. V. Lebedev, I. A. Vershinina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 012009.



**ВЛИЯНИЕ *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* В КОМПЛЕКСЕ С ФИТОГОРМОНАМИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ ЗЕЛЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА****О. В. Дорошук<sup>1</sup>, Ж. Н. Калацкая<sup>2</sup>, Н. А. Ламан<sup>2</sup>, Н. И. Величко<sup>2</sup>,  
М. Н. Мандрик-Литвинкович<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ГУ «БелИСА», Минск, Беларусь<sup>2</sup> ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси», Минск, Беларусь<sup>3</sup> Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

doroshuk.olga@mail.ru

В связи с наличием высокой вероятности возникновения засухи при выращивании зеленных культур в весенне-летний период актуальной является разработка экологически безопасных препаратов для повышения устойчивости растений к данному неблагоприятному фактору.

Целью работы являлось изучение влияния различных концентраций ростостимулирующего комплекса на основе *Bacillus amyloliquefaciens* на продуктивность и качество продукции кресс-салата и шпината в лабораторных условиях при дефиците влаги в субстрате. Основу комплекса составлял штамм *Bacillus amyloliquefaciens* 23ТМ с включением синтетических аналогов фитогормонов ауксиновой и цитокининовой природы. Содержание ауксинов – 0,05 %, цитокининов – 0,02 %. Титр бактерий *Bacillus* в комплексе –  $10^7$  КОЕ/мл.

Изучали влияние 3-х доз комплекса: 0,4 мл/м<sup>2</sup>, 0,2 мл/м<sup>2</sup> и 0,1 мл/м<sup>2</sup>. Расход рабочего раствора при опрыскивании составлял 25 мл/м<sup>2</sup>. В качестве контролей служили растения, не подвергавшиеся обработке, выращиваемые в условиях оптимальной (80 % от полной влагоемкости используемого торфяного субстрата) и недостаточной почвенной влажности (50% от полной влагоемкости субстрата).

В условиях водного дефицита биомасса надземной части растений кресс-салата снижалась на 10,0 %, шпината – на 20,7 %. Выявлено адаптогенное действие комплекса при использовании его путем 1-кратного опрыскивания растений при расходе 0,2 мл/м<sup>2</sup>. У обработанных растений кресс-салата наряду с сохранением биомассы надземной части на уровне оптимального контроля отмечалось увеличение содержания сухого вещества на 6,4 %. В пересчете на сухое вещество содержание водорастворимых углеводов на 47,7 % превышало значение оптимального контроля, витамина С – на 8,3 %.

У обработанных растений шпината сырая надземная биомасса была выше, чем в стрессовом контроле, на 10,0 %, сухая – на 7,0 %. Содержание витамина С и нитрат-ионов в сухом веществе листьев было на уровне показателей оптимального контроля; витамина В<sub>2</sub>, каротиноидов и водорастворимых углеводов – больше, чем в листьях растений, выращенных в условиях оптимальной влажности субстрата.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА БИОМАССУ РАЗЛИЧНЫХ ШТАММОВ *CHLORELLA VULGARIS*

**Ю. А. Дудина, Е. А. Калашникова, Р. Н. Киракосян**

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

dudina.biotech@gmail.com

*Chlorella vulgaris* (хлорелла) – зеленая эукариотическая микроводоросль, которая является перспективным объектом для производства биомассы благодаря своему богатому составу и возможности влиять на выход того или иного компонента.

Хлорелла содержит пул биологически активных веществ: около 50 % белка (включающего незаменимые аминокислоты); комплекс незаменимых ненасыщенных жирных кислот (включая Омега-3); витамины А, В1, В2, В3, В5, В6, Е; а также важные для здоровья макро- и микроэлементы. Это создает предпосылки для ее коммерческого производства в целях использования в медицине, косметологии, сельском хозяйстве и ветеринарии.

Традиционно хлореллу культивируют в прудах или биореакторах с заданными параметрами, создающими благоприятные условия для роста биомассы хлореллы.

Объектом исследования служили два штамма хлореллы: 1 – с тонкой клеточной стенкой (*Chlorella vulgaris* ВКПМ А1-24); 2 – с толстой клеточной стенкой (*Chlorella vulgaris* Beijer). Культуру хлореллы культивировали на модифицированной питательной среде Тамия, при температуре  $24 \pm 10$  °С, круглосуточном освещении, в светонепроницаемых гроубоксах (Urban Grower  $60 \times 60 \times 200$  см (Gorshkoff, Россия)), в которых были установлены разные режимы освещения (соотношение красного (К) и дальнего красного света (ДК)). Варианты освещения: 1 – К/ДК = 1, PPFD =  $142 (\pm 10)$  мкмоль/м<sup>2</sup>с (К=ДК); 2 – К/ДК = 2, PPFD =  $142 (\pm 10)$  мкмоль/м<sup>2</sup>с (К>ДК); 3 – К/ДК = 1/2, PPFD =  $142 (\pm 10)$  мкмоль/м<sup>2</sup>с (ДК>К). Контрольный вариант выращивали в световой комнате с освещением белыми люминесцентными лампами (марка OSRAM AG, Германия) с интенсивностью 150 мкмоль/м<sup>2</sup>с, а также культуру выращивали в темноте. Оптическую плотность культуры хлореллы определяли в динамике на 1, 3 и 5-е сут. на спектрофотометре Cary-50 (Varian, США). Исследования проводили в 3 биологических и 5 аналитических повторностях.

Проведенные лабораторные эксперименты позволили нам выявить некоторые закономерности: 1) наибольший прирост биомассы наблюдается при использовании освещения белыми люминесцентными лампами ( $T = 2700$  К); 2) в случае использования ДК>К или ДК=К наблюдали ингибирующее их действие на рост изучаемых штаммов хлореллы. Кроме того, при определении оптической плотности культур были получены схожие результаты, которые свидетельствуют об одинаковом восприятии изучаемых штаммов хлореллы на действие различного спектрального состава света.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Дудина Ю. А. Хлорелла как объект биотехнологии: способы культивирования и применение в сельском хозяйстве / Ю. А. Дудина, Е. А. Калашникова // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 222–225.

Дудина Ю. А. Хлорелла как multifunctional элемент экономической среды и биотехнологические способы её культивирования / Ю. А. Дудина, Е. А. Калашникова // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии : сб. тез. докл. 20-й Всерос. конф. молодых учёных, посвящ. памяти акад. РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева. – 2020. – С. 151–153. doi: 10.48397/ARRIAB.2020.20.091

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ЯГОДНЫХ И ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР В КОЛЛЕКЦИИ ВИР

**С. Е. Дунаева, О. А. Тихонова, С. Ю. Орлова, Т. А. Гавриленко**

ВИР, Санкт-Петербург, Россия  
dunaevase@mail.ru

Одной из основных задач Института растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР) является сохранение генофонда культивируемых растений и их диких родичей. Полевые коллекции вегетативно размножаемых растений, поддерживаемые традиционным способом, несут потери из-за воздействия экстремальных факторов внешней среды и накопления в растениях вирусных, бактериальных и грибных заболеваний. В крупных мировых генбанках растений для наиболее ценных образцов полевых коллекций используются технологии *in vitro* и *крио* сохранения в контролируемых условиях среды.

Коллекция *in vitro* ВИР ягодных и плодовых культур умеренного климата формируется и пополняется с целью решения следующих приоритетных задач:

- сохранения дублетов ценных образцов полевого генбанка: источников и доноров хозяйственно полезных признаков, староместных сортов, сортов российской селекции;
- сохранения образцов отечественных сортов, зарегистрированных как номенклатурные стандарты в Гербарии культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (Гербарий ВИР [WIR]);
- криоконсервации апексов побегов *in vitro* образцов для закладки в криобанк ВИР;
- реинтродукции дублетных образцов из коллекции *in vitro* в виде *ex vitro* растений в полевую коллекцию при необходимости восстановления в ней образцов.

*In vitro* коллекция ВИР ягодных и плодовых культур умеренного климата составляет 350 образцов, относящихся к представителям семи родов и девяти культур (малина, ежевика, жимолость, смородина черная, земляника, вишня, черешня, слива, рябина). Основную часть коллекции составляют селекционные сорта (73 %), преимущественно российской селекции (71 %); 25 сортов относятся к селекции 1920–1940 гг. Из дикорастущих родичей сохраняется 82 образца, относящихся к 30 видам. В *in vitro* коллекцию введены дублеты образцов из основной полевой коллекции ВИР ягодных и плодовых культур умеренного климата (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»), изученные по комплексу хозяйственно ценных признаков, для некоторых культур (малина, жимолость) генотипированные SSR маркерами. В коллекции *in vitro* все образцы периодически тестируются на наличие внутренних бактериальных инфекций с использованием бактериальных сред, часть образцов малины детектирована методом ИФА на наличие вируса RBDV. В криоколлекцию ВИР заложены образцы 23 сортов малины обыкновенной (по 90 апексов на образец) с посткриогенной регенерацией 33–65 %.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Образцы ягодных и плодовых культур и их дикорастущих родичей в коллекции *in vitro* ВИР / С. Е. Дунаева, С. Ю. Орлова, О. А. Тихонова, Т. А. Гавриленко // Биотехнология и селекция растений. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 43–51. doi: 10.30901/2658-6266-2018-1-43-51

Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генбанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной / Т. А. Гавриленко, С. Е. Дунаева, О. А. Тихонова, И. Г. Чухина // Биотехнология и селекция растений. – 2022. – Т. 5, № 4. – doi: 10.30901/2658-6266-2022-4-05

## КРИОФИЛЬНАЯ МИКРОВОДОРОСЛЬ *CHLOROMONAS RETICULATA* КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ КАРОТИНОИДОВ

**О. В. Дымова, В. С. Паршуков, И. В. Новаковская**

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия  
dymovao@ib.komisc.ru

Зеленые микроводоросли (МВ) – большая и разнообразная группа одноклеточных микроорганизмов, обитающих в морских и пресных водах, в наземных экосистемах. МВ привлекают внимание ученых как возобновляемый источник биотоплива, водорода, омега-3 жирных кислот и пр. Высокая фотосинтетическая активность МВ вносит значительный вклад в обеспечение основных условий для жизни на Земле. Фотосинтез и направленность метаболизма, а, следовательно, биохимический состав клеток зависят от термальных и световых условий. Виды зеленых МВ различаются по физиологическим и биохимическим реакциям на температуру, интенсивность и качество света. Некоторые МВ в условиях высокой инсоляции и понижении температуры среды способны накапливать вторичные каротиноиды (ВКар), не участвующие в фотосинтезе. Физиологическое значение ВКар все еще остается не до конца выясненным. Полагают, что эти соединения выполняют ряд функций и, в первую очередь, защищают клетки МВ от окислительного стресса. Астаксантин (Аст) (3,3'-дигидрокси-4,4'-диоксо-β-каротин) – красный пигмент из группы кислородсодержащих ВКар. Аст является высоко ценным биологически активным соединением, проявляющим свойства иммуностимулятора, УФ- и радиопротектора, антиканцерогена, регулятора деятельности нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной системы человека и животных. По антиоксидантной активности Аст на порядок превышает в системах *in vivo* β-каротин и α-токоферол. Аст присутствует в тканях большинства водных красноокрашенных организмов (рыбы, креветки и т. п.), найден у птиц, растений и лишайников. Самым богатым источником природного Аст считается зеленая микроводоросль *Haematococcus pluvialis* Flotow (Chlorophyta), накапливающая до 3–5 % от сухой массы при действии неблагоприятных факторов среды. Большое количество свободного и этерифицированного Аст находится в цитоплазматических липидных глобулах. Аст присутствует в «снежных» водорослях, обитающих в полярных и горных регионах. При массовом размножении эти водоросли окрашивают снег в красный цвет (явление «красного снега»). Одним из продуцентов Аст является криофильная одноклеточная двужгутиковая зеленая водоросль *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi. Нами изучены содержание и состав пигментов в клетках *Ch. reticulata*, собранной с поверхности снега на Приполярном Урале. Установили, что культивирование водоросли при низкой положительной температуре и высокой освещенности способствовало накоплению каротиноидов (неоксантин, виолаксантин, антраксантин, лютеин, β-каротин и зеаксантин), включая экстрапластидный Аст, в диапазоне от 950 до 2000 мкг/г сухой массы. Полученные данные позволяют отнести изученную микроводоросль к группе микроорганизмов с высоким биотехнологическим потенциалом для производства биологически активных веществ.

*Исследование выполнено в рамках темы госбюджетных НИОКТР «Фотосинтез, дыхание и биоэнергетика растений и фототрофных организмов (физиолого-биохимические, молекулярно-генетические и экологические аспекты)» (рег. № 122040600021-4).*

**РАЗМНОЖЕНИЕ *SAPOSHNIKOVIA DIVARICATA* (TURCZ.) SCHISCHK  
*EX SITU* И *IN VITRO*****Т. В. Елисафенко, Т. В. Железниченко**ЦСБС СО РАН, Новосибирск, Россия  
tveli@ngs.ru

*Saposhnikovia divaricata* (Turcz. ex Ledeb.) Schischk. (Ariaceae) – многолетнее травянистое растение, эндемик юга Восточной Азии, обладает фармакологической активностью (из-за наличия хромонов). Вследствие массовых заготовок корней *S. divaricata* актуальна разработка методов его размножения *ex situ* и *in vitro*. Цель работы – определить оптимальные условия хранения и прорастания семян, введения *S. divaricata in vitro* и изучить этапы морфогенеза.

Исследовали семена, собранные в 2016–2017 гг. в природных местообитаниях Республики Бурятия, а также семена первой репродукции в условиях культуры (2020 г.). Плод *S. divaricata* вислоплодник, состоит из 2 мерикарпиев. Внутри каждого находится семя с тонкой семенной кожурой, с эндоспермом, с небольшим зародышем. Семена проращивали в лабораторных условиях при +23–25 °С, после хранения в разных режимах, с оклоплодником, с его повреждением, без него. Эксплантами для *in vitro* служили зрелые семена интродуцентов. Семена стерилизовали 10 мин 0,1 % AgNO<sub>3</sub>, промывали стерильной водой. Использовали метод эмбриокультуры, контролем являлись интактные стерилизованные семена. Материал культивировали на твердой среде ½ МС (Murashige, Skoog, 1962). Каллусогенез стимулировали, культивируя первичные листья проростков на среде МС с добавлением 2,4-Д (10 μМ) и 6-БАП (0-5 μМ) в темноте. Микропобеги получали культивированием семядольных узлов на среде МС с ТДЗ (0,1 μМ) при 16-часовом фотопериоде. Для контроля растительный материал инкубировали на безгормональной среде.

Установлено, что биологическая долговечность семян – более 5 лет (всхожесть – 54–85 %). Всхожесть семян 1-го года хранения от 35–51 % (5-й порядок соцветия *ex situ*) до 87–100 % (3-й порядок *in situ*). У 80 % семян *in vitro* в контроле наблюдали контаминацию. Метод эмбриокультуры обеспечил выход стерильного материала около 73 %. Динамика появления всходов интактных семян и эмбриокультуры различалась. Первые проросли на 29-е сут., всхожесть – 8,8 %. Вторые проростки – на 10–12-е сут., всхожесть – 52%. Проростки имели нормально развитый гипокотиль, эпикотиль, две семядоли, апекс, корешок. Первичный каллус образовался через 30 сут. культивирования. На среде, содержащей только ауксин, у 66 % эксплантов формировался белый первичный каллус преимущественно на черешках листа, а на среде, включающей ауксин в сочетании с цитокинином, у 72 % эксплантов наблюдали формирование светло-зеленого каллуса по всей поверхности листа. На среде с ТДЗ через месяц культивирования происходило разрастание стебля до 15 мм и формирование на нем 3–4 микропобегов. При культивировании эксплантов на среде без регуляторов роста морфогенез отмечен только на свету. Таким образом, определены показатели биологии прорастания семян: период прорастания, до прорастания, энергия всхожести. Установлены наиболее оптимальные условия для хранения и прорастания семян. Получена хорошо растущая *in vitro* стерильная культура *S. divaricata*. Метод эмбриокультуры является эффективным для ускорения прорастания и увеличения всхожести семян *in vitro*, так как снимает экзогенный покой и значительно снижает уровень контаминации. Получены данные по морфогенезу *in vitro*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00445.

## ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ ЭКСПЛАНТОВ ЛАВАНДЫ И ЛАВАНДИНА IN VITRO

**И. В. Жданова**

ФГБУН «НБС-ННЦ», Ялта, Россия

gdan1983@mail.ru

Длительное беспересадочное хранение растительного материала при низких положительных температурах – один из способов поддержания и сохранения коллекций растений различных культур в условиях *in vitro*. Обязательными условиями увеличения интервала между субкультивированиями являются пониженная температура, низкая интенсивность света, использование питательной среды, содержащей осмотики и ретарданты, ингибирующие рост культур. Целью данного исследования было изучение особенностей беспересадочного депонирования при низких положительных температурах четырех сортов лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) и трех сортов лавандина (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loiseleur) в условиях *in vitro*.

Для депонирования в качестве исходного материала использовали сегменты микропобегов растений без листьев, длиной 1,0 см. Экспланты помещали на среду ¼ МС, дополненную ингибиторами роста хлорхолинхлоридом ССС и сахарозой. В состав среды ¼ МС были включены макро- и микроэлементы, витамины и 9 г/л агар-агара. Контролем служила среда ¼ МС. Сохранение проводили при температуре 4, 6 и 8 °С. Культуральные сосуды с эксплантами помещали в холодильные камеры с интенсивностью освещения 1,25 мкМ м<sup>2</sup> с<sup>-1</sup>. Скрининг депонируемых в течение 12 месяцев эксплантов изучаемых культур показал, что при концентрации ССС 0,2–0,4 г/л и сахарозы 60 г/л количество жизнеспособных растений составило 95–98 %. У эксплантов лаванды узколистной сортов Прима, Синева и Рекорд при температуре 4 и 6 °С наблюдали незначительный рост микропобегов, формирование листьев в количестве 3,4–8,4 шт./эксплант у сорта Прима, 2,5–7 шт. у сорта Синева и 3,13–10,75 шт. у сорта Рекорд. Длина побега достигала до 4,19 см у сорта Прима, 4,21 см у сорта Синева и 4,55 см у сорта Рекорд. При температуре 8 °С у эксплантов отмечали формирование корней и дополнительных микропобегов. У лавандина при 4 °С и 6 °С наблюдали снижение кинетики роста побегов при сохранении их высокой жизнеспособности. Длина побегов достигала 1,55–1,98 см, общее количество листьев от 0,5 до 1,98 шт. При температуре 8 °С наряду с удлинением побега и образованием листьев наблюдали рост корней в количестве 0,1–0,4 шт./эксплант у сорта Снежный Барс и 0,2–1,13 шт./эксплант у сорта Темп. При этом верхушки и листья отдельных растений усыхали, что снижало их жизнеспособность.

Таким образом, выявлены оптимальные условия депонирования четырех сортов лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) и трех сортов лавандина (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loiseleur) в условиях *in vitro*: 0,2–0,4 г/л ретарданта ССС и 60,0 г/л сахарозы, положительно влияющие на сохранение исследуемых сортов лаванды и лавандина.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания FNNS-2022-0002 ФГБУН «НБС-ННЦ» на оборудовании УНУ «Научный центр биотехнологии, геномики и депонирования растений» («ФИТОБИОГЕН») ФГБУН «НБС-ННЦ» (Ялта, Россия).*

## ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА НА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИЮ МИКРОБНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ *MICROCOCCUS LUTEUS*

**С. А. Закарчевский**<sup>1</sup>, **А. Н. Чеснокова**<sup>1</sup>, **А. О. Посёлкина**<sup>1</sup>, **Г. О. Жданова**<sup>2</sup>,  
**Д. И. Стом**<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

<sup>3</sup> БМ СО РАН, п. Листвянка, Иркутская обл., Россия

serzh94lan@mail.ru

Микробные топливные элементы (МТЭ) являются перспективными экологически чистыми источниками энергии. Они позволяют биоэлектрохимическим путем получать электроэнергию из отходов биомассы и могут использоваться для очистки сточных вод сельскохозяйственных и пищевых предприятий.

В работе исследовано влияние различных источников углерода (глюкоза, арабиноза, галактоза, ксилоза) на электрохимические характеристики МТЭ на основе штамма *Micrococcus luteus* 1-и.

Эксперименты выполняли в двухкамерных МТЭ из оргстекла, разделенных между собой ионообменными мембранами, в течение 14 дней. Мембраны синтезировали из сшитого сульфоянтарной кислотой поливинилового спирта, допированного цеолитом ВЕА (ПВС-СЯК-ВЕА). В качестве сравнительного образца использовали МТЭ с промышленными мембранами МФ-4СК. Все эксперименты проводили в пяти независимых тестах с тремя параллельными измерениями в каждом.

Получены следующие значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания, измеренные в последние сутки эксперимента: МТЭ с глюкозой – 583 мВ, 917 мкА; галактозой – 412 мВ, 800 мкА; ксилозой – 316 мВ, 407 мкА; арабинозой – 325 мВ, 596 мкА, соответственно. Электрические характеристики МТЭ с коммерческими мембранами ПВС-СЯК-ВЕА и МФ-4СК оказались близкими по значению с таковыми для экспериментальных мембран.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии различных источников углерода на электрические характеристики МТЭ. Наилучшие показатели продемонстрировали МТЭ с глюкозой.

*Авторы благодарят кандидата химических наук, доцента ИРНИТУ С. А. Скорникову за предоставление образцов цеолитов.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках научно-образовательного центра «Байкал» (грант № FZZS-2021-0007).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Электрохимические параметры микробных топливных элементов на основе штамма *Micrococcus luteus*, новых ионообменных мембран и различных сахаров / А. Н. Чеснокова, С. А. Закарчевский, Г. О. Жданова, Д. И. Стом // Электрохимия. – 2023. – № 9 (принята в печать).

Влияние содержания цеолита на протонную проводимость и технические характеристики мембран на основе сшитого поливинилового спирта / А. Н. Чеснокова, Т. Д. Жамсаранжапова, С. А. Закарчевский, В. Кулшреста, С. А. Скорникова, С. С. Макаров, Ю. Н. Пожидаев // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 360–367. doi: 10.21285/2227-2925-2020-10-2-360-367

## РЕГУЛЯЦИЯ НАКОПЛЕНИЯ ФЛАВАНОЛОВ В КУЛЬТУРЕ ЧАЙНОГО РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СВЕТА РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

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

ИФР РАН, Москва, Россия

*mariya.zubova@yandex.ru*

Флаванолы (ФЛ) относятся к классу флавоноидов и представлены катехинами и их олигомерными или полимерными производными – проантоцианидинами (ПА). Являясь важными антиоксидантами растений, ФЛ выполняют протекторное действие, защищая клетки от влияния многих биотических и абиотических факторов. Благодаря этим свойствам, они применяются в фармакологии и медицине в качестве веществ-биоантиоксидантов. И если о катехинах, в частности их Р-витаминной капилляроукрепляющей способности, известно давно, то о ПА, оказывающих антибактериальное, противоопухолевое, иммуномодулирующее действие, данные новы. При этом вопросы регуляции/баланса разных форм ФЛ в растительных клетках исследованы крайне мало.

Уникальным объектом для изучения этих вопросов являются растения чая (*Camellia sinensis* L.), биосинтез которых направлен на образование ФЛ. Эта особенность сохраняется и при его выращивании в условиях *in vitro*, хотя и на более низком уровне. К числу факторов, оказывающих регуляторное действие на накопление различных полифенолов, относится свет. Однако данные по влиянию различной его интенсивности на накопление ФЛ различной степени полимеризации крайне фрагментарны.

Целью исследования было изучение накопления различных форм ФЛ, включая ПА, в клетках каллусной культуры чая при действии света различной интенсивности.

Объект исследования – каллусная культура чайного растения, выращиваемая на питательной среде Хеллера в условиях 16-часового фотопериода на свету разной интенсивности (5000, 7500 и 10000 люкс, НСИ, ССИ, ВСИ, соответственно) в течение 40 сут. ФЛ извлекали из растительного материала 96%-ным этанолом, определяя в надосадочной фракции спектрофотометрическим методом содержание ФЛ (с ванилиновым реактивом) и ПА (с бутанольным реактивом).

Выращивание каллусов чая на свету сопровождалось изменениями в накоплении ФЛ и этот эффект зависел как от интенсивности, так и от длительности его воздействия. В начале пассажа (10 сут.) оно было максимальным в варианте НСИ и минимальным – ССИ. По мере дальнейшего роста количество ФЛ повышалось на 45–60 % (НСИ, ВСИ) и на 200 % (ССИ) к 30 сут. В конце пассажа (40 сут.) оно сохранялось практически на том же уровне, за исключением варианта ВСИ с наибольшим накоплением этих метаболитов. Что касается ПА, то их накопление в каллусах вариантов НСИ и ВСИ сохранялось на одном уровне до 30 сут. роста культур, а затем резко повышалось (в 1,4 и 2,6 раза). При ССИ тенденция была иной и увеличение количества этих метаболитов происходило в течение всего цикла роста.

Таким образом, накопление ФЛ и ПА в каллусных культурах чая можно регулировать интенсивностью, а также длительностью светового воздействия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00359, <https://rscf.ru/project/23-24-00359/>.



## ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ЭКСПЛАНТОВ ХРИЗАНТЕМЫ САДОВОЙ ПРИ ДЕПОНИРОВАНИИ В ГЕНОБАНКЕ *IN VITRO*

**Н. Н. Иванова, В. А. Цюпка, Н. В. Корзина**

ФГБУН «НБС-ННЦ», Ялта, Россия

*nnivanova2017@yandex.ru*

Создание медленно растущих коллекций *in vitro* является одним из наиболее перспективных путей сохранения биоразнообразия растений. Это достигается путем снижения температуры, интенсивности освещения, повышения концентрации осмотиков, введения в состав питательной среды ретардантов. Однако низкие температура и интенсивность освещения имеют физиологические последствия, такие как потеря воды, уменьшение дыхания, увядание, что влияет на безопасность длительного сохранения. В связи с этим, целью данного исследования было изучение особенностей длительного сохранения и выявление морфоанатомических особенностей растений хризантемы садовой сортов Excel, Sheer Purple, William Seward в условиях генобанка *in vitro*.

В качестве эксплантов использовали сегменты побега с одним узлом. Их помещали на питательную среду  $\frac{1}{4}$  МС, дополненную хлорхолинхлоридом ССС (0,2 г/л; 0,4 г/л; 0,6 г/л; 0,8 г/л) и 60 г/л сахарозы и выставляли в холодильную камеру на 12 мес. при температуре 4 °С с интенсивностью освещения 1,25 мкМ м<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>. Для оценки функционального состояния ассимилирующих тканей сохраняемых растений проводили исследование параметров флуоресценции хлорофилла (на флуориметре MINI-PAM II, HeinzWalz, Германия). Оценку генетической стабильности сохраняемого материала осуществляли с использованием SSR (JH30, KNUCRY-98, KNUCRY-85, KNUCRY-59) и ISSR-маркеров (UBC-824 и UBC 843).

Результаты наших исследований показали возможность беспересадочного сохранения микропобегов и микрорастений хризантемы в культуре *in vitro* в течение 12 месяцев. Введение в состав среды 0,2–0,8 г/л ССС снижало кинетику роста по сравнению с контролем в 2–3 раза. При этом жизнеспособность эксплантов оставалась на уровне 90–97 %. Эффективный фотохимический квантовый выход ФС II снизился при депонировании по сравнению с контролем более чем в 2 раза (0,21–0,39 и 0,60 отн. ед., соответственно). Максимальный фотохимический квантовый выход ФС II также снизился (0,32–0,48 при депонировании, 0,62 отн. ед. в контроле), при этом граница сублетального уровня по всем исследованным параметрам достигнута не была. В структуре листовых пластин обнаружены следующие изменения: при концентрации 0,2 г/л ССС листья становились толще, мезофилл рыхлым с довольно большими межклетниками; при 0,8 г/л ССС снижалась толщина как всего листа, так покровных тканей и палисады. Отмечены изменения в морфологии, длине и плотности распределения трихом: при концентрации 0,8 г/л ССС появлялось большое количество мелких 1–3 клеточных простых и головчатых волосков. Побеги имели идентичную структуру за исключением большей закладки спящих почек при депонировании. В результате ПЦР анализа, выполненного с 6 маркерами, детектировано 40 амплифицированных фрагментов размером от 220 до 1800 п.н. Полученные генетические профили депонируемых растений полностью идентичны по количеству и длине ампликонов растениям исходных сортов.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания FNNS-2022-0002 ФГБУН «НБС-ННЦ» на оборудовании УНУ «Научный центр биотехнологии, геномики и депонирования растений» («ФИТОБИОГЕН») ФГБУН «НБС-ННЦ» (Ялта, Россия).*

**СОДЕРЖАНИЕ, МОРФОЛОГИЯ И СОСТАВ АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА ПЕРИКАРПИЯ ПЛОДОВ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА BORAGINACEAE**

**Е. Н. Икконен**<sup>1</sup>, **К. Пустовойтов**<sup>2</sup>, **К. М. Никерова**<sup>3</sup>, **С. Ю. Чаженгина**<sup>4</sup>,  
**Н. Н. Николаева**<sup>3</sup>, **Л. В. Тетерюк**<sup>5</sup>, **О. С. Сибелев**<sup>4</sup>, **А. А. Федоров**<sup>4</sup>,  
**В. М. Васюков**<sup>6</sup>, **В. В. Бондарева**<sup>6</sup>, **Д. Н. Малов**<sup>6</sup>, **А. В. Чувашов**<sup>6</sup>, **В. Н. Сетин**<sup>7</sup>

<sup>1</sup> ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ЮГУ», Ханты-Мансийск, Россия

<sup>3</sup> ИЛ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>4</sup> ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>5</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

<sup>6</sup> ИЭВБ РАН, Тольятти, Россия

<sup>7</sup> Средне-Волжский филиал ФГБНУ ВИЛАР, п. Антоновка, Самарская обл., Россия

likkonen@gmail.com

Биогенный кремнезем, или диоксид кремния, синтез которого происходит в живых организмах, не без оснований называют материалом нового тысячелетия. Достижения в биотехнологии кремния показали перспективность его многофункционального использования в медицине и промышленности, как эффективного адсорбента поллютантов и другое. В силу своих характеристик, биогенный кремнезем в большей степени, чем кремнезем геологического и химического происхождения, подходит для применения в качестве компонента различных твердотельных гетерогенных систем. На данный момент отдельные растительные виды исследуются как источник биогенного кремнезема, но знания о его синтезе в растениях семейства Boraginaceae очень ограничены. Цель данной работы состояла в выявлении наличия диоксида кремния в перикарпии плодов различных триб Boraginaceae, а также выявлении межвидовых различий в его распределении, структуре и составе.

Использование сканирующей электронной микроскопии с ЭДС анализом и рамановской спектроскопии показало наличие в перикарпии большинства из исследованных видов аморфного кремнезема, однако его содержание и распределение существенно различалось между видами особенно на уровне родов и триб. У всех видов, формирующих минеральные фазы, общим является окремнение внешней оболочки эпидермы, однако распространение процесса минерализации по перикарпию в ортогональном к поверхности направлению родоспецифично. В пределах одного вида возможен синтез нескольких, чаще двух, фаз кремнезема, различающихся по оптическим характеристикам и строго дифференцированных в структуре клетки. Окислительный обжиг зрел с использованием различных схем обжига показал, что структура выделенного диоксида кремния отражает структуру растительной ткани с четкой дифференциацией ее на анатомо-топографические зоны. Элементный состав выделенного кремнезема мало различался между видами, однако возможны различия в содержании кремния между структурными зонами перикарпия.

Особенности структуры и низкое содержание примесей позволяют рассматривать кремнезем биогенного происхождения, синтезируемый, в том числе в перикарпии плодов Boraginaceae, как перспективный материал для высокотехнологичных отраслей промышленности или использующих критические технологии.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-004).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛРЕЗИСТЕНТНОСТИ *FUSARIUM EQUISETI* И *CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM* И ИНОКУЛИРОВАННЫХ ИМИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ

**Н. А. Исламова, И. Л. Бухарина**

ФГБОУ ВО «УдГУ», Ижевск, Россия  
islamovanadezhda@mail.ru

Жизнедеятельность растений связана с микроорганизмами, в том числе симбиотическими грибами, обитающими в корнях растений. Грибы влияют на способность растений более эффективно усваивать из почвы минеральные элементы, поддерживать жизнеспособность в стрессовых условиях, а также проявлять устойчивость к патогенным организмам. Повышенная устойчивость растений к внешним факторам актуальна при создании искусственных насаждений, рекультивации нарушенных земель. Наиболее перспективными в этом плане являются корневые эндофитные микромицеты, имеющие разнообразное морфологическое строение и широкий ареал распространения. Культуры (изоляты) этих грибов, выделенные из загрязненных почв и корней растений, произрастающих в условиях длительного загрязнения, могут иметь широкие пределы толерантности к действию загрязнителей, что весьма актуально и требует дополнительного изучения.

В УНЛ «Экологические биотехнологии» Удмуртского государственного университета имеется коллекция изолятов эндофитных грибов, выделенных из корней древесных растений, произрастающих на техногенных территориях города Ижевска и имеющих хорошее жизненное состояние. С рядом представителей этих грибов, *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*, были проведены лабораторные эксперименты по определению пределов их выносливости к разным концентрациям тяжелых металлов (Zn – 100, 200, 300 мг/л; Cu – 50, 100, 150 мг/л; Cr – 2.5, 5, 10 мг/л; Pb – 25, 50, 100 мг/л). Далее из этих популяций были приготовлены грибные суспензии, и проведена инокуляция тестовой культуры томата. Инокулированные растения выращивали в условиях климатической камеры на субстратах с содержанием тех же концентраций тяжелых металлов, что и в эксперименте с грибами.

В результате проведенных экспериментов корневые микромицеты *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum* проявили широкие пределы толерантности к действию тяжелых металлов. Большую устойчивость они проявили к хромю и свинцу, чем к биогенным элементам (цинку и меди). Инокуляция растений культурами и особенно адаптированными к действию тяжелых металлов популяциями *F. equiseti* и *C. magnusianum* влияет на ряд адаптивных реакций растений в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами, в том числе, рост биомассы надземной части и содержания фотосинтетических пигментов в листьях.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Бухарина И. Л. Влияние инокуляции корневой системы эндофитом *Cylindrocarpon magnusianum* на показатели растений при воздействии солей тяжелых металлов / И. Л. Бухарина, Н. А. Исламова, М. А. Лебедева // Российская сельскохозяйственная наука. – № 6. – 2020. – С. 24–29.

Islamova N. Study of the limits of resistance of endophytic fungi *Fusarium equiseti* and *Cylindrocarpon magnusianum* to the action of copper and chromium (VI) / N. Islamova, I. Bukharina, A. Isupova // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 296.

## УСТОЙЧИВОСТЬ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ, ИНОКУЛИРОВАННЫХ ЭНДОТРОФНЫМИ МИКРОМИЦЕТАМИ, К РАЗЛИЧНЫМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ НЕФТИ В СУБСТРАТЕ

**А. А. Исупова, И. Л. Бухарина**

ФГБОУ ВО «УдГУ», Ижевск, Россия  
isupova.anastasiya.96@mail.ru

В нефтедобывающих регионах России, в том числе и в Удмуртии, при транспортировке нефти территории могут быть загрязнены. Также причинами загрязнения грунтов могут быть техническое обслуживание, разливы нефти и нефтепродуктов. Существует проблема поиска наиболее эффективных и безопасных методов восстановления нефтезагрязненных земель, к которым относится биотехнологический метод с использованием микропрепаратов-нефтедеструкторов. Но действие биопрепаратов ограничено и связано с условиями среды. В настоящее время идет поиск биологических агентов, которые повысили бы эффективность биопрепаратов. Такими агентами могут быть микроскопические грибы. В ходе проведенных исследований было проанализировано влияние инокуляции четырех видов эндотрофных грибов – *Fusarium equiseti*, *Cylindrocarpon magnusianum*, *Neonectria macrodidyma* и *Fusarium tricinctum*. При инокуляции эндотрофным грибом *Neonectria macrodidyma* достоверное снижение фотосинтетических пигментов наблюдалось при концентрации нефти от 5 до 10 %. По содержанию аскорбиновой кислоты достоверных различий не наблюдалось, что может свидетельствовать об отсутствии активации антиоксидантной системы на стрессовый фактор. При инокуляции эндотрофными грибами *Fusarium equiseti*, *Cylindrocarpon magnusianum* и *Fusarium tricinctum* достоверное снижение фотосинтетических пигментов наблюдалось при 7,5 и 10 % нефтезагрязнении. По содержанию аскорбиновой кислоты достоверное увеличение уже наблюдалось при 1 % нефтезагрязнении и, с увеличением количества нефти, содержание аскорбиновой кислоты также возрастало. Результаты данных наблюдений связаны с активацией ферментной системы, так как аскорбиновая кислота используется растениями для нейтрализации загрязнений. Также для более точных результатов были проведены анализы по измерению концентрации нефти в субстрате. При инокуляции микромицетом *Neonectria macrodidyma* наблюдалось достоверное снижение концентрации нефти в субстрате в два раза. При инокуляции фитомелиорантов другими видами микромицетов достоверного снижения нефти в субстрате не наблюдалось, но при этом происходило повышение их устойчивости к нефтезагрязнению. Результаты опытов указывают на эффективность применения эндотрофных микромицетов при биологическом этапе восстановления нефтезагрязненных земель.

*Исследование выполнено при поддержке Фонда Содействия Инновациям fasie.ru (Договор № 15542ГУ/2020 от 04.07.2020).*

### **Основные публикации авторов по тематике доклада**

Перспективы использования консорциумов микроорганизмов и высших растений в восстановлении нефтезагрязненных земель / И. Л. Бухарина, А. А. Исупова, В. И. Лямзин, М. А. Лебедева // Лесной вестник. – 2022. – Т. 26, № 6. – С. 14–23. doi: 10.18698/2542-1468-2022-6-14-23

**ВЛИЯНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ПАЛЕОЭКОСИСТЕМ РОДА *BACILLUS* НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *ALLIUM CEPA*****А. А. Касторнов, С. А. Петров, А. М. Субботин**

ФГБУН ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

AlexKastornov@yandex.ru

Показано, что микроорганизмы рода *Bacillus cereus* из дисперсных обводненных пород, перешедших в мерзлое состояние, являются эндофитными бактериями, повышают продуктивность растений, индуцируют процесс апоптоза и способствуют формированию корневых каналов растения и тем самым стимулируют физиологические свойства растений, их рост и фотосинтез. Остается недостаточно изучено их влияние на цитогенетический аппарат сельскохозяйственных растений.

Цель – оценка влияния микроорганизмов рода *Bacillus* из многолетнемерзлых пород на дифференцировку клеток лука *Allium cepa* и их цитогенетический аппарат.

В работе использовались *Allium test* и штаммы *Bacillus cereus* 8/75, 9/08 и 2/09, выделенные из многолетнемерзлых пород голоцен-верхнеплейстоценового возраста (Q2-4, MIS1-3), в концентрациях  $10^5$ ,  $10^4$  и  $10^3$ . Луковицы выращивали в соответствующем водном растворе и снимали параметры на 5-е сут. С помощью микроскопа Olympus CX41 проводился анализ стадий клеточного цикла и регистрировались хромосомные aberrации. Полученные результаты подвергались статистической обработке с помощью программы SPSS Statistics 22 for Windows.

Установлено дозозависимое влияние микроорганизмов на митотическую активность клеток лука и мутагенное их воздействие на хромосомный аппарат. Так, при концентрации  $10^3$  происходит стимуляция финальной стадии митоза – телофазы – и рост различных хромосомных aberrаций (в среднем в 1,5 раза): хромосомные мосты и отставание хромосом, двуядерные клетки, блуждающие хромосомы, диагональная анафаза и др. Известно, что для разборки веретена деления и образования ядерной оболочки необходимо дефосфорилирование белков, фосфорилированных митотическими циклинзависимыми киназами (Cdk). Это может достигаться как инактивацией Cdk, так и активацией фосфатаз. В концентрации  $10^5$  изучаемые штаммы рода *Bacillus* наоборот снижают мутагенное воздействие в отношении клеток лука в 1,75 раза по сравнению с контролем. Данный антимутагенный эффект был наиболее выражен в отношении штамма *Bacillus cereus* 2/09, который в три раза снижал aberrации. Ранее нами было показано, что штамм 2/09 способствовал значимому повышению активности дифференцировки промежуточных ( $CD14^+CD16^+$ ) и неклассических ( $CD14^0CD16^+$ ) моноцитов человека.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания (№ гос. регистрации 121041600041-0).*

**Основные публикации авторов по теме доклада**

Kastornov A. A. The influence of microorganisms of the Arctic paleoecosystems on the morphometric parameters and the cytogenetic apparatus of *Allium cepa* / A. A. Kastornov, A. M. Subbotin, S. A. Petrov // BIO Web of Conferences. – 2022. – Vol. 43. – Art. 03013. doi: 10.1051/bioconf/20224303013

Влияние микроорганизмов палеоэкосистем на цитогенетический аппарат *Allium cepa* / А. А. Касторнов, С. А. Петров, А. М. Субботин, В. А. Мальчевский // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия «Медицинские науки». – 2021. – № 3 (24). – С. 5–8. doi: 10.25587/SVFU.2021.24.3.001

## ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИСКУССТВЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ СОРТООБРАЗЦОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

**Н. Б. Катышева, А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев, С. Ю. Зорина, А. С. Журавкова, Л. Г. Соколова, А. И. Катышев**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*mitanova2014@yandex.ru*

В климатических условиях Иркутской области наиболее важным фактором для выращивания сои является скороспелость. Короткий вегетационный период, низкая сумма активных температур и недостаточная влагообеспеченность региона предполагают необходимость создания сортов сои с высокой экологической пластичностью. В условиях лесостепной зоны Заларинского агроэкологического стационара СИФИБР СО РАН методом искусственной гибридизации сои был получен селекционный материал с различными характеристиками. При выборе родительских пар для скрещивания учитывали максимальную адаптивность к местным условиям одного из родителей, второй родитель содержал гены, определяющие следующие полезные признаки – детерминантный тип роста, минимальное ветвление, компактное расположение бобов, фотонейтральность. Оценка продолжительности и продуктивности сортообразцов сои оценивалась в поколении F<sub>3</sub>.

Среди полученных 120 гибридов сои поколения F<sub>3</sub> выделялись по своим характеристикам гибриды родительской пары сортообразец 0 x Чера-1. Сорт Чера-1 включен в Госреестр по Волго-Вятскому (4) и Средневолжскому (7) регионам РФ, прямостоячий, детерминантный тип роста, высота растений 60–80 см. В условиях Иркутской области длина вегетационного периода составляет 119 дней от всходов, средняя продуктивность 19,1 ц/га. Сортообразец 0 получен в результате индивидуального отбора из различных скороспелых сортообразцов, его вегетационный период составляет 90–100 дней от всходов, тип роста полудетерминантный, высота растений – 50–80 см, средняя продуктивность – 18,4 ц/га.

Наиболее интересным гибридом данной родительской пары оказалась низкорослая ультраскороспелая линия 105/21, период вегетации которой составил в исследуемых условиях всего 101 день, а высота растений оказалась существенно ниже, чем у родителей – 37 см. Также перспективны гибриды – 16/21, 17/21 и 64/21 с разной продолжительностью вегетационного периода – 112, 121 и 121 день, соответственно, но с более высокими, чем у родителей показателями урожайности. Наиболее урожайный из полученных гибридов сортообразец 17/21 (продуктивность – 229,9 г/м<sup>2</sup>) характеризовался фенотипически большей высотой растений, чем у родителей – 92 см.

Таким образом, в результате проделанной работы по искусственной гибридизации различных генотипов сои получены новые варианты растений с хозяйственно-ценными для условий Иркутской области признаками, одним из ключевых среди которых является скороспелость.

**ХАРАКТЕРИСТИКА СОМАКЛОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ КАЛЛУСНОЙ ТКАНИ КАРТОФЕЛЯ *IN VITRO*****И. В. Киргизова<sup>1</sup>, Е. А. Калашникова<sup>1</sup>, А. М. Гаджимурадова<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия<sup>2</sup> НАО «КазАТУ им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

irina.kz–89@mail.ru

В настоящее время одним из приоритетных направлений селекционных работ становится разработка новых комплексно-устойчивых отечественных сортов картофеля. Соматональные образцы, полученные путем длительно культивируемой каллусной культуры, включают в себя наборы различных характеристик, которые могут быть использованы при проведении селекционных работ. Цель работы – изучение соматональной изменчивости у микроклонов *S. tuberosum* L., полученных из каллусной ткани. В качестве объектов исследования были отобраны сорта картофеля Ермак, Алена и Хозяюшка (ФГБНУ «Омский АНЦ»). Каллусную ткань получали из сегментов листьев и стеблей на питательной среде, содержащей минеральные соли по прописи Мурасиге-Скуга с добавлением 1–5 мг/л 2,4-Д, 0,05–0,25 мг/л кинетина, 30 г/л сахарозы и 7 г/л агар-агара. Экспланты культивировали на чашках Петри в условиях термостата (26±2°C) в условиях темноты и освещенности – 5000 лк. Пассирование проводили каждые 30–35 сут. Растения-регенеранты (соматоклоны) получали из каллусной ткани на 1, 7 и 19-м пассаже, из активно растущего каллуса, идентичного по фенотипическим показателям. Содержание крахмала в клубнях картофеля проводили методом кислотного гидролиза. По результатам исследований установлено, что способность к образованию каллусов зависела от типа первичного эксплантата. Культивирование листовых эксплантов на питательной среде с содержанием фитогормонов приводило к образованию каллусной ткани в 98–100 % случаев, а при использовании стеблевых эксплантов в 54–60 %. Наиболее интенсивный каллусогенез наблюдали на среде с 5 мг/л 2,4-Д и 0,25 мг/л кинетина. Процесс образования каллуса проходил более активно в условиях полной темноты. При выращивании каллусной ткани при освещении наблюдали образование белого налета на поверхности и мелких глобулярных структур по периферии. Получены соматоклоны (ЕС–1, ЕС–2, АС–58, АС–72, АС–91, ХС–17, ХС–94) и клубни второй репродукции, которые отличались по цвету мякоти и содержанию крахмала. Образец ЕС–1 превосходил по содержанию крахмала контрольный вариант в 1,6 раза (15,4 %). Необходимо отметить, что образец ЕС–1 характеризовался нетипичным цветом мякоти клубней и имел более темный оттенок. Образцы АС–58 и АС–72 по общему содержанию крахмала не превышали контрольный вариант, в то время как образец АС–91 отличался повышенным содержанием крахмала (18,6 %). Содержание крахмала у сорта Хозяюшка составляло 18,4 %, а у образцов ХС–17 и ХС–94 составило 10,3 % и 25,4 % соответственно. Наибольшее количество крахмала в клубнях было у среднеспелого сорта Хозяюшка и его соматоклонов по сравнению с ранними сортами Алена и Ермак. Таким образом, при длительном пассировании каллусной ткани в условиях темноты соматоклоны, полученные от сибирских сортов, имели разные морфофизиологические характеристики, и некоторые образцы превосходили по содержанию крахмала контрольные варианты.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНОКУЛЯЦИИ ШТАММАМИ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ *EX VITRO*

**С. Н. Коновалов<sup>1</sup>, В. В. Бобкова<sup>1</sup>, Т. О. Анохина<sup>2</sup>, И. А. Бьядовский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ ФНЦ Садоводства, Москва, Россия

<sup>2</sup> ИБФМ РАН, Пушкино, Россия

vstisp.agrochem@yandex.ru

Проблема адаптации растений-регенерантов после культивирования *in vitro* к нестерильным условиям является важной практической задачей при промышленном тиражировании посадочного материала садовых растений. В вегетационных опытах в условиях защищенного грунта с экстремально высокой температурой в дневное время (+30...+35 °С) и низкой относительной влажностью воздуха (не выше 30–40 %) изучена эффективность адаптации к нестерильным условиям растений-регенерантов клонových подвоев яблони 54-118 и 57-545 после культивирования *in vitro* при применении штаммов ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* и микробиологических препаратов на основе бактерий рода *Bacillus*. Эффективные агрономически ценные штаммы ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* позволили повысить показатели адаптивности растений-регенерантов подвоев яблони при адаптации к условиям *ex vitro*. Приживаемость растений была наибольшей в варианте с инокуляцией корней *P. chlororaphis* BS1393 – на 64,7 % выше контроля. У растений-регенерантов клонových подвоев яблони 54-118 показатели приживаемости при адаптации к условиям *ex vitro* были ниже, чем у формы 57-545, и были наибольшими в варианте с инокуляцией корней *P. chlororaphis* BS1393 – на 297,0 % выше контроля. Штамм *P. putida* O9-10 в наибольшей степени ингибировал развитие грибов в субстрате для выращивания. Исследование колонизации ризосферы растений-регенерантов яблони методом флуоресцентной микроскопии с использованием штамма *P. Chlororaphis* BS1393 (Gfp<sup>+</sup>, Km<sup>r</sup>), меченного зелёным флуоресцентным белком, показало, что через три недели после инокуляции штамм *P. chlororaphis* BS1393: *gfp* обнаруживался в ризосфере растений во всех вариантах эксперимента. Численность штамма составляла  $9,4 \cdot 10^2$ – $5,0 \cdot 10^3$  КОЕ/г, что на три порядка ниже по сравнению с численностью аборигенной бактериальной микрофлоры ( $3,0 \cdot 10^6$ – $5,0 \cdot 10^6$  КОЕ/г). В варианте с одновременной инокуляцией корней растений и проливом субстрата численность внесённого штамма BS1393: *gfp* в торфо-песчаной смеси составляла  $2,0 \cdot 10^4$  КОЕ/г.

*Исследование выполнено за счет гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии № 075-15-2021-542/2 от 28.06.2022; внутренний номер № 09.СЦ.21.009).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Effect of rhizosphere microorganisms on the adaptation of regenerated plants of apple clonal rootstocks to *ex vitro* conditions / V. Bobkova, T. Anokhina, I. Bjadovskiy, S. Konovalov // BIO Web of Conferences. – 2021. – Vol. 34, N 04009. – P. 6. doi: 10.1051/bioconf/20213404009



**ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА РИЗОГЕНЕЗ РОЗЫ САДОВОЙ  
*IN VITRO*****Н. В. Корзина, Н. Н. Иванова, Н. П. Лесникова-Седошенко, И. В. Жданова,  
С. В. Челомбит**ФГБУН «НБС-ННЦ», Ялта, Россия  
natali.korz@yandex.ru

Одним из важных этапов клонального микроразмножения является укоренение микропобегов. Как известно, качественные и количественные показатели формирования корневой системы определяют способность растения к адаптации и развитию в почвенном субстрате. В ряде публикаций указывается о положительных результатах применения наночастиц на разных этапах клонального микроразмножения, в том числе ризогенеза. Цель работы – установить влияние наночастиц серебра на корнеобразование эксплантов розы садовой в условиях *in vitro*. Объекты исследования – микропобеги *in vitro* розы садовой сортов Алиска и Наталья Муравская. Предварительно были проведены эксперименты по подбору корнестимулирующих регуляторов роста и их концентраций в питательной среде для установления варианта, оптимального для укоренения обоих сортов. Среда  $\frac{1}{2}$  МС с 0,5 мг/л ИМК + 0,5 мг/л НУК была выбрана в качестве основной для опытов с использованием наночастиц серебра (НЧ Ag). Микропобеги длиной 2 см с 3 развитыми листьями помещали на среду, дополненную 1,0; 3,0 и 5,0 мг/л НЧ Ag, контроль – среда без НЧ. Результаты опыта описывали спустя 42 и 70 сут. Начало ризогенеза эксплантов отмечали на 9–10-е сут. культивирования. Через 42 сут. на среде с 1,0 мг/л НЧ укоренилось 100 % микропобегов сорта Алиска (в контрольном варианте – 86,7 %), 80,0 % микропобегов сорта Наталья Муравская (в контрольном варианте – 80,0 %). У растений обоих генотипов через 42 сут. культивирования в основании побега развивались как короткие темные (5–10 шт./эксплант), так и светлые длинные корни (2–7 шт./эксплант), в основании побега сформировался каллус. Вариант опыта среды  $\frac{1}{2}$  МС с добавлением 3,0 мг/л НЧ оказался менее эффективным для индукции ризогенеза побегов розы Алиска – 73,3 %, и также не оказал значительного влияния на экспланты Натальи Муравской (80 %). Введение в среду 5,0 мг/л НЧ способствовало более активному формированию корней у сорта Наталья Муравская – 93,3 %, что на 13 % превысило результаты контрольного варианта, у сорта Алиска было получено 80 % укорененных растений. В целом на питательной среде  $\frac{1}{2}$  МС с добавлением НЧ Ag растения розы обоих сортов имели развитую корневую систему, состоящую из двух визуально отличающихся друг от друга типов корней: первый тип представлял собой утолщенные короткие (0,1–0,6 см) темные корни, второй – длинные (1,0–5,1 см), молочно-белого или желтоватого оттенка, которые развивались в течение всего срока культивирования.

Проведенный анализ количественного содержания пигментов фотосинтеза в листьях растений сортов розы спустя 42 сут. культивирования показал некоторые колебания массы хлорофилла *a* и *b*. Эти данные коррелируют с результатами, описанными выше: у растений розы Алиска на среде  $\frac{1}{2}$  МС с 1,0 мг/л НЧ Ag получены лучшие результаты по укоренению, а также возросла сумма фотосинтетических пигментов. У растений розы Наталья Муравская такую закономерность отмечали на среде с 5,0 мг/л НЧ Ag.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания FNNS-2022-0002 ФГБУН «НБС-ННЦ» на оборудовании УНУ «Научный центр биотехнологии, геномики и депонирования растений» («ФИТОБИОГЕН») ФГБУН «НБС-ННЦ» (Ялта, Россия).*

## ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА НА СОДЕРЖАНИЕ АНТИСТРЕССОВЫХ БЕЛКОВ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

**Н. Е. Коротаева, В. Н. Шмаков**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
knev73@sifibr.irk.ru

Внутривидовая изменчивость по признаку накопления защитных белков остается малоисследованным феноменом у хвойных. Между тем от способности накапливать защитные белки зависит устойчивость растений к неблагоприятным природным воздействиям и способность адаптироваться к ним. Выявление хвойных деревьев, более устойчивых к холоду и засухе благодаря способности накапливать защитные соединения, является перспективным для создания фонда плюсовых деревьев по признаку устойчивости к биотическим факторам. Задачей настоящей работы было исследование антистрессовых белков у различных деревьев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. при действии водного дефицита (ВД). Исследование проводили в 2022 г. Использовали пять (№ 1–5) 39-летних деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на экспериментальном участке СИФИБР СО РАН. Предварительно в хвое этих деревьев были обнаружены различия в составе дегидринов (ДГ) – белков, связанных с защитой от последствий осмотического стресса. В работе использовали каллусную культуру. В качестве растительного материала для каллусогенеза брали почки с участками несущих побегов ветвей нижней трети кроны взятых в эксперимент деревьев. Инициацию и культивирование каллусов проводили на базальной среде Мурашиге и Скуга (половинный состав солей) с добавлением 2,4Д (2 мг/л (для инициации каллусогенеза) или 1,0 мг/л (для культивирования) и БАП (0,5 мг/л) в качестве регуляторов роста. Цикл культивирования составлял 28 сут. Каллусы после двух циклов культивирования на 10-е сут. перенесли на основную базальную среду с добавлением 5 или 8 % полиэтиленгликоля (ПЭГ) для индукции ВД. После этого в каллусах определяли содержание воды, скорость роста (по изменению сырого веса) и оценивали изменение содержания стрессового белка Hsp70 и ДГ. Для оценки содержания белков из клеток каллусов экстрагировали общий белок, фракционировали его с помощью электрофореза в ПААГ с ДДС-Na и после Western Blot проводили инкубацию со специфическими антителами против Hsp70 (Enzo Life Sciences, США) и ДГ растений (*Agrisera*, Швеция), в качестве хромогена использовали смесь VCP/NBT. Контролем служили образцы каллусов, произрастающие на твердой среде без добавления ПЭГ.

Снижение содержания воды в клетках каллусов приводило к сокращению роста и способствовало запуску защитной реакции в виде накопления Hsp70. В клетках каллусных культур были обнаружены ДГ Мг 81, 74, 44, 42, 40, 36, 27 и 24 кД. Накопление ДГ в ответ на ВД обнаружено не для всех культур, наиболее выраженный рост содержания ДГ отмечен для каллусов, полученных из почек деревьев 1 и 3, и каллусов побегового происхождения дерева 3. В культурах клеток, полученных от разных деревьев, обнаружилась качественные и количественные различия в составе средномолекулярных ДГ. При этом состав и накопление ДГ в каллусах, полученных из участков ветвей и почек, одного и того же дерева, оказался идентичным. Таким образом, под влиянием ПЭГ в клетках каллусов возникает ВД и развивается стрессовая реакция; ранее выявленные различия в составе ДГ между деревьями *in vivo* сохраняются и на уровне *in vitro* – в каллусной культуре, полученной от этих деревьев; использование каллусных культур позволяет оценивать различия в составе ДГ при действии ВД у разных деревьев сосны обыкновенной.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-10035, <https://rscf.ru/project/23-24-10035/>.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИММОБИЛИЗАЦИИ АЗОСПИРИЛЛ В СА-АЛЬГИНАТНЫЙ ГИДРОГЕЛЬ ДЛЯ ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ****М. А. Купряшина<sup>1,2</sup>, Е. Г. Пономарева<sup>1</sup>, А. С. Чернова<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ИБФРМ РАН, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского Минздрава России, Саратов, Россия  
kupryashina\_m@mail.ru

В наших предыдущих работах было показано, что ассоциативные diaзотрофы рода *Azospirillum* участвуют в окислении и сорбции синтетических красителей. Несмотря на то, что азоспириллы встречаются в консорциуме с бактериями, осуществляющими очистку сточных вод, высокие концентрации органополютантов в жидкой среде резко снижают способность бактерий к эффективной деградации. Приемы иммобилизации могут способствовать интенсификации физиологических возможностей азоспирилл. Иммобилизация клеток способна обеспечить биотехнологический процесс деколоризации с возможностью повторного использования, что существенно проще по сравнению с процессами на основе суспензионных клеток. В данной работе мы применили метод «мягкой» иммобилизации, а именно включение бактериальных клеток в структуру гидрогеля. В качестве носителя был выбран алигинат – часто используемая, нетоксичная матрица, способная выдерживать высокую нагрузку клеточной массы. Исследовали способность к деколоризации водных растворов красителя (малахитовый зеленый). Эффективность деколоризации красителя иммобилизованными клетками оценивали при инкубации в малатно-солевой среде, картофельном отваре, фосфатно-солевом буфере, стерильной водопроводной воде.

В ходе данной работы получены данные об эффективности деколоризации высоких концентрации малахитового зеленого иммобилизованными в Са-альгинатные шарики клетками азоспирилл в различных условиях. Высокая степень обесцвечивания положительно коррелировала с уровнем фенолоксидазной активности в среде. Плотное включение бактерий в структуру гидрогеля, влияло на скорость деколоризации, однако не снижало ее эффективность. Установлено, что иммобилизованные в Са-альгинатные шарики азоспириллы не теряют жизнеспособность и сохраняют высокую степень деколоризации после длительного хранения. Показана возможность повторного использования иммобилизованных препаратов после нескольких циклов обесцвечивания без значительной потери ферментативной активности.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00570.*

**Основные публикации авторов по тематике доклада**

Купряшина М. А. Способность бактерий рода *Azospirillum* к деколоризации синтетических красителей / М. А. Купряшина, Е. Г. Пономарева, В. Е. Никитина // Микробиология. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 453–461. doi: 10.31857/S0026365620040084

Получение жизнеспособных клеток *Azospirillum brasilense* SR80, инкапсулированных в альгинатный гидрогель / А. В. Коврижников, Т. Е. Пылаев, А. М. Захаревич, С. А. Коннова, М. А. Купряшина // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2021. – Т. 21, вып. 3. – С. 298–303. doi: 10.18500/1816-9775-2021-21-3-298-303

## ТОЛЕРАНТНОСТЬ К ВЫСОКИМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ ЦЕФТРИАКСОНА И УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИЗЪЯТИЯ ПРИ ИММОБИЛИЗАЦИИ ЗЕЛеноЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *LOBOSPHAERA*

**А. А. Лукьянов<sup>1</sup>, С. Г. Васильева<sup>1,2</sup>, П. Н. Щербаков<sup>1</sup>, О. Б. Чивкунова<sup>1</sup>,  
П. А. Зайцев<sup>1</sup>, А. Е. Соловченко<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> ТГУ им. Г. Р. Державина, Тамбов, Россия

loockart@mail.ru

Фармацевтические препараты, включая антибиотики, относятся к числу опасных микрозагрязнителей, и в связи с ростом их потребления, наблюдается стремительное увеличение их количества в окружающей среде. В качестве одного из наиболее перспективных решений является использование культур микроводорослей, которые обладают высоким потенциалом для поглощения и деструкции антибиотиков, благодаря выделяемому при фотосинтезе кислороду и биосинтезу фотосенсибилизаторов окислительной деструкции ОМП. Имобилизация МВ на нетоксичных и биосовместимых полимерных материалах может способствовать большей устойчивости культур к высоким количествам антибиотиков, увеличению скорости их изъятия в сравнении с суспензионными культурами, а также облегчению процесса сбора отработанной биомассы из очистных систем.

Культура зеленой микроводоросли *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 является перспективным объектом фотобиотехнологии, так как обладает способностью к накоплению ценных метаболитов, эффективному изъятию биогенных элементов и токсикантов из сточных вод. В качестве носителя для иммобилизации клеток микроводоросли использовали высокопористые и биосовместимые полимеры на основе природного поликатионита хитозана, синтезированного методом криполимеризации с использованием глутарового альдегида в качестве сшивающего агента.

Иммобилизация клеток *Lobosphaera* sp. способствовала увеличению эффективности изъятия цефтриаксона на 45–60 % в сравнении с суспензионной культурой, что связано со способностью хитозана адсорбировать антибиотик и концентрировать его вблизи поверхности клеток микроводоросли. Присутствие высоких количеств цефтриаксона (20 мг/л) не приводило к ингибированию фотосинтетической активности как иммобилизованной, так и суспензионной культуры, однако скорость роста иммобилизованных клеток была ниже, что, возможно, связано с пространственными ограничениями деления клеток внутри носителя.

Таким образом, использование микроводорослей, иммобилизованных на хитозановых полимерах перспективно для изъятия антибиотиков из сточных вод.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-44-00006, <https://rscf.ru/project/23-44-00006/>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Immobilization of microalgae on the surface of new cross-linked polyethylenimine-based sorbents / S. Vasilieva, K. Shibzukhova, A. Morozov, A. Solovchenko, I. Bessonov, M. Kopitsyna, A. Lukyanov, K. Chekanov, E. Lobakova // Journal of biotechnology. – 2018. – Vol. 281. – P. 31–38.

Bio-inspired materials for nutrient biocapture from wastewater: Microalgal cells immobilized on chitosan-based carriers / S. Vasilieva, E. Lobakova, T. Grigoriev, I. Selyakh, L. Semenova, O. Chivkunova, A. Solovchenko // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 40. – P. 101774.

**ДЛИТЕЛЬНОСТЬ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ ДОНОРНЫХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ КАК ФАКТОР РЕГУЛЯЦИИ ЧАСТОТЫ ЭМБРИОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПЫЛЬНИКОВ**

**И. В. Любушкина**<sup>1,2</sup>, **М. С. Полякова**<sup>1</sup>, **А. В. Поморцев**<sup>1</sup>, **К. А. Кириченко**<sup>1</sup>,  
**А. В. Корсукова**<sup>1</sup>, **Н. С. Забанова**<sup>1,2</sup>, **Т. П. Побежимова**<sup>1</sup>, **О. И. Грабельных**<sup>1,2</sup>,  
**Л. В. Дударева**<sup>1</sup>, **В. К. Войников**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия

ostrov1873@yandex.ru

Индукцированный андрогенез – одно из самых перспективных направлений современной биотехнологии растений. Тем не менее, его применение у ряда важных сельскохозяйственных растений, в том числе и у озимой пшеницы, ограничено в связи с низкой эффективностью. Ключевыми факторами, определяющими частоту андрогенеза *in vitro*, являются генотип растения, состав инициальных сред и эффективность стрессовой предобработки донорных растений. Нами изучено влияние изменений физиолого-биохимических параметров во время низкотемпературной обработки донорных растений озимой пшеницы на частоту эмбриогенеза.

Использовали растения озимой пшеницы сорта Иркутская на стадии трубкавания. Растения выращивали в контролируемых условиях станции искусственного климата (фитотрон СИФИБР СО РАН), а также в полевых условиях: на участке СИФИБР СО РАН и на полях Заларинского агроэкологического стационара. Растения, достигнувшие необходимой стадии, срезали, помещали в воду и подвергали длительному воздействию при 4°C в темноте в течение 3–14 сут. Для анализа физиолого-биохимических показателей и получения культуры пыльников использовали цветы из средней трети соцветия. Отбор проб для анализа проводили сразу после срезы побегов, а также через 7 и 14 сут. воздействия – в периоды максимальной и минимальной частоты образования андроклинных структур в культуре изолированных пыльников.

Установлено, что в наиболее благоприятный для формирования андроклинных структур период (7 сут. при 4°C) в тканях донорных цветков наблюдались изменения, соответствующие процессам низкотемпературной адаптации – увеличивалось содержание ненасыщенных жирных кислот (линолевой и  $\alpha$ -линоленовой) и снижалось содержание насыщенных жирных кислот (пальмитиновой и стеариновой), а также снижалось содержание АФК и продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). В это же время в тканях донорных цветков было зарегистрировано повышение содержания таких гормонов, как индолил-3-уксусная, абсцизовая и жасмоновая кислоты, что указывает на их важную роль в процессе индуцированного андрогенеза *in vitro*. Показано, что через 14 сут. низкотемпературной предобработки донорных побегов происходило снижение содержания водорастворимых углеводов и дыхательной активности, увеличение содержания салициловой кислоты, продуктов ПОЛ и насыщенных жирных кислот, свидетельствующие о развитии углеродного голодания, угнетении метаболических процессов и активации процессов перекисного окисления липидов. Обнаруженные изменения являются вероятными причинами снижения частоты формирования андроклинных структур в указанный период.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания СИФИБР СО РАН (№ гос. регистрации 122041100049-0) и при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-34-80003 мол\_эв\_а с использованием коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» и оборудования ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН.*

## ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ НА КОЛИЧЕСТВО АЗОТОБАКТЕРОВ В ПОЧВЕ

**Е. И. Маградзе, А. С. Гурьянова**

ФГБОУ ВО «УдГУ», Ижевск, Россия

*elena.magradze@gmail.com*

Почвенные микроорганизмы играют важную роль в плодородии почв. Они участвуют в различных реакциях, переводя необходимые вещества в формы, усвояемые растениями, разлагают органические соединения, выделяют вещества, стимулирующие развитие растений, оказывают антагонистическое влияние на условно-патогенные микроорганизмы. Бактерии почвы, оказывающие положительное влияние на культурные растения, широко используются для создания бактериальных удобрений, которые при внесении в почву увеличивают в ней численность данных микроорганизмов.

В нашем исследовании изучалось влияние бактериального удобрения, полученного путем выращивания бактерий рода *Azotobacter* на молочной сыворотке, на количество этих бактерий в почве.

Азотобактеры выращивали на стерильной, разбавленной водой молочной сыворотке. Время культивирования – 7 сут. при температуре  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ . Средняя концентрация бактерий в полученном удобрении составила, в среднем  $3,7 \cdot 10^6$  КОЕ/мл. Полученное удобрение хранили в холодильнике. За 5 месяцев хранения в холодильнике количество КОЕ азотобактеров практически не изменилось, став равным, в среднем,  $1,4 \cdot 10^6$  КОЕ/мл. Удобрением однократно поливали почву в 4 контейнерах до полного увлажнения. В качестве контроля почву в 4 контейнерах поливали водой и в 4 контейнерах разбавленной проавтоклавируемой сывороткой такого же объема. Почву поливали в дальнейшем водой, не допуская пересушивания. Количество азотобактеров в почве исследовали через 10 и 50 дней после полива. Через 10 дней после полива количество азотобактеров в почве в 3 и 4 раза соответственно выше при поливе удобрением, чем при поливе сывороткой и водой. Однако разницу нельзя считать достоверной, так как разброс значений велик из-за того, что бактерии образуют слизь и колонии могут образовываться не только единичными бактериями, но и скоплениями, в которых количество клеток может быть различным. Но, необходимо отметить, что при применении удобрения мы постоянно наблюдаем, в среднем, увеличение количества азотобактеров в почве. Через 50 дней число бактерий рода *Azotobacter* в опыте оставалось выше, чем в контроле, однако уже только в два раза.

Через три месяца в почву посеяли семена подсолнечника (по три семени в каждый контейнер), через месяц было отмечено увеличение азотобактеров в прикорневой зоне растений, выращенных в почве, политой удобрением, в 23 раза по сравнению с почвой, политой водой, и в 6 раз по сравнению с почвой политой молочной сывороткой. Однако, большой разброс значений не позволил выявить достоверную разницу между опытом и контролями. Количество КОЕ азотобактеров в почве уменьшилось на порядок и стало практически одинаковым в опыте и контроле. Также не было выявлено существенной разницы между ростовыми характеристиками подсолнечника в опыте и контролях.

Таким образом, после применения нашего биоудобрения увеличивается количество азотобактеров в почве, но экологическое равновесие постепенно восстанавливается, количество бактерий рода *Azotobacter* в почве уменьшается. Возможно, для повышения эффективности биоудобрения необходимо его применять не менее двух раз за сезон.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ВОДОЙ, АКТИВИРОВАННОЙ ПЛАЗМОЙ, ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ *RAPHANUS SATIVUS*

**А. С. Минич, И. Б. Минич, Н. Л. Чурсина, С. Е. Васильев, А. А. Финичева**

ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет», Томск, Россия  
minich@tspu.edu.ru

Обработка воды плазмой (РАW) приводит к образованию смеси различных форм активных частиц, концентрация и время существования которых в воде зависят от условий обработки. Опубликованные результаты исследований показывают, что обработка семян некоторых видов растений РАW, как улучшает всхожесть семян и активирует ростовые процессы растений, так и не приводит к каким-либо изменениям.

Нами исследовалось влияние предпосевной обработки РАW семян *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. сорта Ранний красный и гибрида Алекс F1 на их посевные качества и продуктивность растений.

Калиброванные семена растений обрабатывались 2 и 6 ч РАW, полученной в среде аргона и углекислого газа (опыт), а также дистиллированной водой, из которой готовили РАW. В качестве контроля использовались семена необработанные РАW.

Обработка воды осуществлялась барьерным разрядом в плазмохимическом реакторе с коаксиальным расположением электродов. Рабочий газ смешивался с водой, далее газо-жидкостная смесь направлялась в реактор. Амплитуда высоковольтных импульсов напряжения – 8,1 кВ, частота повторения импульсов напряжения – 2000 Гц, активная мощность разряда ~ 5,6 Вт. Объемный расход газа – 60 мл·мин<sup>-1</sup>, расход воды – 0,4 мл·мин<sup>-1</sup>. Величина разрядного промежутка – 1 мм, объем разрядной зоны – 13,2 см<sup>3</sup>, время контакта реакционной смеси с разрядной зоной реактора ~ 0,22 мин.

Качество семян определялось по ГОСТ 12038-84. Продуктивность и морфометрические показатели корнеплодов определялись у растений в возрасте 32 сут., выращенных в почвенном грунте в естественных условиях. Оценка достоверности результатов исследований – уровень надежности 95% по данным трех экспериментов, проведенных в трех биологических повторностях на 100 растениях.

Результаты показывают, что обработка семян РАW, приводит к улучшению их энергии прорастания и лабораторной всхожести как по сравнению с контролем, так и семян, обработанных дистиллированной водой. При этом максимальные изменения наблюдались у семян, обработанных в РАW в течение 6 ч для редиса Алекс F1 и в течение 2 ч для редиса Ранний красный. Продуктивность редиса Алекс F1 из семян, обработанных РАW в среде аргона, повысилась на 18–20 % относительно контроля, в среде углекислого газа – на 53–59 % и не зависела от времени обработки. У редиса Ранний красный повышение продуктивности на 31 % отметили только для корнеплодов, выращенных из семян, обработанных РАW в аргоне в течение 2 ч.

Повышение продуктивности редиса в опыте связано как с повышением всхожести семян (увеличением числа корнеплодов), так и с увеличением размера корнеплода.

### Основные публикации авторов по теме доклада

Influence of basil seed treatment with dielectric-barrier discharge plasma in argon atmosphere on their sowing quality and plant morphogenesis and productivity / A. S. Minich, S. V. Kudryashov, I. B. Minich, N. L. Chursina, S. E. Vasiliev, A. A. Finicheva, A. Yu. Ryabov, A. N. Ocheredko // High Energy Chemistry. – 2022. – Vol. 56, N 5. – P. 374–379. doi: 10.1134/S0018143922050113

## РОСТ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ПЕТУНИИ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

**Ю. В. Минкина**

ИАТЭ НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия

*minkina\_ylia@mail.ru*

Прорастание и рост мужского гаметофита петунии (*Petunia hybrida*) исследовали в экспериментальной системе (0,4 М сахара и 1,6 мМ  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) при  $T = 26^\circ\text{C}$  в течение 6 ч. Фитогормоны (ИУК, АБК, гиббереллин Аз, цитокинин 6-БАП) в концентрациях от  $10^{-12}\text{M}$  до  $10^{-3}\text{M}$  вносили в среду культивирования перед началом опыта.

Установлено, что бор взаимодействует с пектином стенки, стабилизируя ее механические свойства. Однако процент прорастания пыльцы на среде культивирования, содержащей одну борную кислоту – очень низкий, меньше 20 % и не менялся в течение 6 ч. Длина пыльцевых трубок не превышала 150 мкм.

На среде, с одной сахарозой процент прорастания составил 40 % через 4 ч, однако длина пыльцевых трубок была ниже – 100 мкм.

Присутствие в среде культивирования двух компонентов – сахарозы и борной кислоты – обеспечивало 60 % прорастания пыльцы через 6 ч, а длина пыльцевых трубок составляла почти 150 мкм.

АБК более чем в два раза стимулировала прорастание пыльцевых зерен уже в первые полчаса культивирования. Гиббереллин Аз стимулировал прорастание пыльцевых трубок в первые полчаса на 60 %, длина пыльцевых трубок возрастала в два раза при использовании концентрации  $10^{-12}\text{M}$ . ИУК только в концентрациях от  $10^{-12}$  до  $10^{-10}\text{M}$  стимулировала на 20 % прорастание пыльцевых трубок, а рост – только в концентрации  $10^{-12}\text{M}$ . Наиболее заметный стимуляторный эффект ИУК на прорастание пыльцевых трубок наблюдали в период от 2 до 4 ч культивирования.



**ВЛИЯНИЕ СОЛЕННОСТИ СРЕДЫ НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ ПРОФИЛЬ ВОДОРОСЛИ *NITZSCHIA CF. TERMALOIDES*****С. А. Мурзина<sup>1</sup>, Н. С. Репкина<sup>1</sup>, В. П. Воронин<sup>1</sup>, О. И. Давидович<sup>2</sup>,  
Н. А. Давидович<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия<sup>2</sup> КНС – ПЗ РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия

murzina.svetlana@gmail.com

Род диатомовых водорослей *Nitzschia* – один из самых многочисленных, представители которого населяют пресную и соленую воду, встречаются в почве. Среди экологических факторов соленость один из лимитирующих, определяющий ареал обитания многих видов. *Nitzschia cf. termaloides* – вид, способный адаптироваться к солености в широком диапазоне колебаний. Ключевую роль в эколого-биохимической адаптации живых организмов играют качественные и количественные перестройки жирных кислот (ЖК), молекул высоколабильных и метаболически активных. Целью данной работы являлось изучение липидного профиля и особенностей его изменения у *N. cf. termaloides*, содержащейся в условиях разной солености. Пробы отобраны в районе грязевых вулканов Булганакского сопочного поля, Республика Крым. Выделенные клоновые культуры содержали в питательной среде ESAW с разным уровнем солености. Анализ ЖК-состава проводили с использованием ГХ-МСД. Установлено, что данный вид способен выживать во всем изученном диапазоне солености (от 0 до 110 %) и поддерживать репродуктивную функцию в диапазоне от 6 до 54 %. У *N. cf. termaloides* обнаружено доминирование насыщенных ЖК (НЖК) с минорным содержанием мононенасыщенных ЖК за счет 16:1(n-9), 20:1(n-11), 22:1(n-11). Профиль НЖК представлен (в порядке убывания): 16:0, 18:0, 22:0, 20:0, 14:0, 15:0. При этом наибольшее содержание 16:0, до 50 % показано в клетках при самой высокой солености – 110 %, наименьшее – до 24 % при 20 %, содержащихся при солености 50, 30 и 0 % – 38, 32 и 34 %, соответственно. Таким образом, компенсаторные перестройки заключались в повышении количества НЖК преимущественно за счет 16:0, адаптация к условиям солености в 50 %, 30 % происходила путем снижения содержания 16:0 и количественных вариаций других НЖК – 18:0, 22:0 и 20:0. Адаптивная регуляция активности работы мембраносвязанных ферментов и скорости обменных процессов в целом направлена на «напряжение» метаболизма с целью «выживания» на границе толерантности вида. Установлены следовые количества 2,4-ди-трет-бутилфенола (2,4-DTBP), вторичного метаболита, обладающего аутоксичными свойствами, зарегистрированная детектором интенсивность этого вещества у исследуемого вида стабильно выше в некоторых образцах при 110, 50 и 20 %. Полученный результат может иметь особое значение для отслеживания реакции отдельных компонентов экосистемы в ответ на изменение условий среды (в частности солености). Результаты демонстрируют биотехнологическую перспективность использования *N. cf. termaloides* как ресурса для биотоплива ввиду высокого содержания НЖК.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.*

## ВОЛОСОВИДНЫЕ КОРНИ – МОДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ

**Х. Г. Мусин**<sup>1</sup>, **Э. А. Баймухаметова**<sup>1</sup>, **Г. Р. Гумерова**<sup>1</sup>, **В. В. Федяев**<sup>2</sup>,  
**Б. Р. Кулуев**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ИБГ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup> УУНиТ, Уфа, Россия

mg@khalit.ru

Волосовидные корни (син. косматые или бородатые корни) (англ. hairy roots) – природный феномен, обусловленный генетической трансформацией растений агробактериями вида *Agrobacterium rhizogenes*, вызывающий обильный неконтролируемый рост корней. Широко применяется в биотехнологии как инструмент, позволяющий получать ценные корневые метаболиты редких и ресурсных растений. Главное их преимущество заключается в том, что волосовидные корни сохраняют многие морфобиологические параметры, характерные для нативных корней. Поэтому волосовидные корни можно использовать вместо целых растений при изучении функций ряда генов путем использования трансгенных технологий, к тому же повышенная экспрессия этих целевых генов может многократно увеличить устойчивость волосовидных корней ко многим стрессорам.

В наших исследованиях мы использовали три различных гена ассоциированных с ростом и стрессоустойчивостью растений: *AtGSTF11*, *NtEXPA5*, *AtARL*. *AtGSTF11* кодирует фермент глутатион-S-трансферазу класса phi (GSTF), которые катализируют конъюгацию глутатиона с ксенобиотиками, участвуют в связывании тяжелых металлов, способны нейтрализовать продукты перекисного окисления липидов. *NtEXPA5* кодирует белки экспансины класса А. Экспансины – это неферментативные белки, участвующие в размягчении клеточных стенок. Активность экспансинов наиболее важна в регуляции и обеспечении роста клеток растяжением. *AtARL* несет последовательность белка *ARGOS-LIKE*, которые участвуют в сигналинге этилена и регулируют деление и растяжение клеток. Трансгенные растения табака с конститутивной экспрессией данного гена продемонстрировали увеличение длины листа и стебля по сравнению с диким типом.

Трансгенные волосовидные корни были созданы на основе сорта табака SR1 Petit Havana. Не несущие целевой трансген волосовидные корни обозначались как дикий тип (WT) и использовались как контроль. Волосовидные корни были получены классической агробактериальной трансформацией с использованием штамма A4 *Agrobacterium rhizogenes*. Полученные корни пересаживали в отдельные чашки Петри и использовали как отдельную линию. Трансгенную природу корней подтверждали методами классической ПЦР и ОТ-ПЦР. Для изучения различий в стрессоустойчивости волосовидные корни пересаживали в чашки Петри, содержащие 150 мМ NaCl (засоление), 100 мМ маннитола (засуха), 100 мкМ ацетата кадмия (загрязнение кадмием), и в 32 °С (гипертермия). После 30 сут. роста на чашках измеряли сырую и сухую массу корней, а также проводили определение различных биохимических параметров.

Таким образом, было показано, что волосовидные корни с конститутивной экспрессией генов *AtGSTF11*, *NtEXPA5*, *AtARL* обладают повышенной стрессоустойчивостью. При этом в нормальных условиях было показано увеличение биомассы трансгенных волосовидных корней, по сравнению с контролем.

## РАЗРАБОТКА ПЦР-ПДРФ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* И ГРИБОВ РОДА *TRICHODERMA* В БИОПРЕПАРАТАХ

**Е. Ю. Несгерова**<sup>1,2</sup>, **М. Ю. Сыромятников**<sup>1,2</sup>, **А. А. Петрова**<sup>1,2</sup>, **П. Д. Морозова**<sup>1,2</sup>,  
**В. Н. Попов**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ВГУИТ», Воронеж, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ВГУ», Воронеж, Россия

mihan.vrn@mail.ru

Грибы рода *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. viride* и *T. atroviride*) часто используются в качестве средства биологической защиты сельскохозяйственных растений. Важным является корректная таксономическая идентификация грибов этого рода, поскольку они могут иметь различную хозяйственную ценность и предназначение. Бактерии рода *Bacillus* также используются для обработки растений, поскольку некоторые виды бактерий, такие как *B. subtilis* и *B. megaterium* обладают свойствами антагониста патогенной микрофлоры почв, а бактерия *B. thuringiensis* обладает инсектицидным действием. Идентифицировать эти бактерии и грибы морфологически крайне сложно. Необходимы методы их дифференциации для верификации состава коммерчески доступных микробиологических биопрепаратов. Для решения этих задач был разработан метод дифференциации этих микроорганизмов на основе ПЦР-ПДРФ.

Объектом исследования служили предварительно изолированные из биопрепаратов для растениеводства бактерии рода *Bacillus* и грибы рода *Trichoderma*. Выделение ДНК было осуществлено комплектом реагентов ПРОБА-ГС (ДНК-технология, Россия). Полимеразная цепная реакция проводилась с использованием Taq-полимеразы на приборе Mastercycler personal (Eppendorf, Германия). Для анализа бактериальной ДНК использовался участок, который амплифицируют праймеры 337F и 1100R. Для анализа грибной ДНК использовался участок, который амплифицируют праймеры ITS1 и ITS4. Электрофорез проводили в 2 % агарозном геле. Анализ длин рестрикционных фрагментов осуществляли с помощью инкубации амплифицированной в ходе ПЦР последовательности с эндонуклеазами рестрикции (Сибэнзим, Россия).

В ходе анализа *in silico* была выбрана рестриктаза *Vam* HI для дифференциации видов рода *Trichoderma* sp., а для дифференциации видов рода *Bacillus* sp. была выбрана рестриктаза *Alu* I, так как данные рестриктазы формировали специфические фрагменты для каждого из исследуемых микроорганизмов. Показано, что использование рестриктазы *Alu* I наиболее оптимально для дифференциации видов *B. subtilis*, *B. megaterium* и *B. thuringiensis*, а использование рестриктазы *Vam* HI наиболее оптимально для дифференциации видов *T. harzianum*, *T. viride* и *T. atroviride* поскольку длины продуктов рестрикции формируют специфическую картину на электрофореze для каждого из видов микроорганизма. Разработанный метод можно использовать для верификации бактериального состава микробиологических биопрепаратов и выявления фальсификата биотехнологической продукции.

## СТРАТЕГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕНЕТИЧЕСКУЮ КАССЕТУ С ГЕНОМ *UGT* ИЗ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS*), RDRP ВИРУСА МОЗАИКИ ОГУРЦА (*CUCUMBER MOSAIC VIRUS*) ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕНОВ ПАПИЛЛОМАВИРУСА ВПЧ16 E2 И ВПЧ45 L1 (КАК ИНДУКТОРОВ СИНТЕЗА АНТИТЕЛА)

Ю. В. Нурминская, Н. И. Рекославская, А. С. Столбиков

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
julosti@yandex.ru

Целью работы было оценить возможность использования гетерологичной сыворотки с неродственным антигенным белком ВПЧ45 L1, а также определить количество синтезированного целевого белка в листьях табака, уделяя внимание пространственным характеристикам распределения синтеза целевого белка по листу.

Генетическая конструкция, созданная для получения в клетке автономных репликонов – кольцевой РНК, содержала вирусную последовательность гена *rdrp* (сегмент РНК 2а), кодирующую РНК зависимую РНК-полимеразу (RdRP) вируса мозаики огурца (*Cucumber mosaic virus* var. New Dehli). В конструкцию включили ген *ugt/iaglu*, кодирующий УДФГ-трансферазу растений (ранее выделен из проростков *Zea mays* L. сорта Sweet Corn). Ген *ugt* поставили под промотор/лидер T7G10 сильного бактериофага T7. Для остальных генов (RdRP, гены ВПЧ) были использованы неравнозначные промоторы р35S из разных источников, чтобы не допустить гомологичную рекомбинацию между кодирующими последовательностями.

В растениях спустя 30, 37 и 44 дня после трансформации определяли количество продукта экспрессии гена *ugt/iaglu* (ИУК-глюкоза синтазы / УДФГ-трансферазы) с помощью иммуноферментного анализа (ИФА).

Для детекции и количественного определения УДФГ-трансферазы методом ИФА были использованы антитела к этому белку из сыворотки крови мышей (из лабораторной коллекции сывороток крови вакцинированных мышей). Высокий титр антител в сыворотке и их высокая avidность позволили использовать этот препарат для анализа ИФА без предварительной очистки.

Анализ ИФА показал высокую антительную активность в зоне жилки, но низкую в других зонах листа.

Успешность трансформации была доказана: а) ИФА к УДФГ-трансферазе (использовали антитела собственного производства); б) белковым электрофорезом (обнаружено 2 полосы белка с молекулярной массой, соответствующей УДФГ-трансферазе и ее изомеру УДФГ-гидролазе).

Так как наибольшая концентрация целевого белка была в зоне до 1 см от места укола, то был сделан вывод, что в растении не происходило миграции продукта экспрессии гена, поэтому данный метод трансформации можно считать достаточно безопасным.

Растения табака хорошо перенесли трансформацию, внедрение вирусного гена *rdrp* не вызвало гибели растений. Это обозначало, что конструкция не фитотоксична и может быть использована для дальнейших исследований, направленных на получение целевого белка.

**ВЕРИФИКАЦИЯ ЛОКУСОВ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ, НА ХРОМОСОМЕ 2A****С. В. Осипова<sup>1</sup>, А. В. Пермяков<sup>1</sup>, Д. К. Константинов<sup>2</sup>, Л. В. Щукина<sup>2</sup>,  
Е. Г. Рудиковская<sup>1</sup>, М. Д. Пермякова<sup>1</sup>, Т. А. Пшеничникова<sup>2</sup>**<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия<sup>2</sup> ФИЦ «ИЦиГ СО РАН», Новосибирск, Россия

svetlanaosipova2@mail.ru

Исследования генетической и геномной архитектуры засухоустойчивости мягкой пшеницы необходимы для получения улучшенных генотипов методами хромосомной инженерии, маркер-опосредованной и геномной селекции, которые активно развиваются в Российской Федерации. Ранее, методом ассоциативного картирования с использованием картирующих популяций пшеницы Чайниз Спринг (Синтетик 6х) и Саратовская 29 (Янецкис Пробат), нами были выявлены локусы на хромосомах 2D и 2A, ассоциированные с вариабельностью фотосинтетических и биохимических индикаторов засухоустойчивости, и определены фланкирующие их маркеры. Локус размером 4 сантиморгана, выявленный в прицентромерном регионе хромосомы 2A, был определен нами как hot spot для засухоустойчивости, так как в его границах локализовано большое число генов защитного ответа и факторов транскрипции.

Для верификации этих локусов мы использовали четыре линии засухоустойчивого сорта пшеницы Саратовская 29, несущие интрогрессии из 2At-хромосомы вида *Triticum timopheevii* в гомологичную хромосому. В климатической камере линии были изучены по параметрам газообмена, флуоресценции хлорофилла, содержанию фотосинтетических пигментов в листьях и биомассе побегов при двух контрастных режимах полива. Продуктивность линий была изучена в теплице и в трех полевых сезонах. Интрогрессия в дистальную область короткого плеча хромосомы 2A, ограниченная микросателлитными маркерами *Xgwm1539* и *Xgwm4849*, не снижала адаптационный потенциал линий, одна из которых характеризовалась наибольшей продуктивностью независимо от среды. Интрогрессия в прицентромерную область длинного плеча хромосомы 2A отрицательно влияла на функционирование фотосинтетического аппарата, что отражалось в показателях флуоресценции хлорофилла, и негативно влияла на продуктивность в поле. Биоинформатическим анализом выявлена гомология между областями, ограниченными маркерами *Xgwm636* и *Xgwm455* на коротких плечах хромосом 2A и 2D, а также между областями, обозначенными SNP маркером *Excalibur\_c47535\_389* и микросателлитным маркером *Xgwm539* на хромосомах 2A и 2D. Эти регионы объединяет сходная физиологическая реакция на засуху. Для двух разных регионов интрогрессии предложены наиболее вероятные гены-кандидаты, связанные с регуляцией защитного ответа и адаптацией пшеницы к засухе. Полученные результаты подтверждают предположение о критической роли прицентромерного района хромосомы 2A для адаптации гексаплоидной пшеницы к засухе и гомологии этих регионов в хромосомах 2A и 2D.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 18-04-00481.

## ФЕНОТИПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТОПОЛЯ БЕРЛИНСКОГО ГЕНОМ *ATGA20OX1*

**В. В. Павличенко, М. В. Протопопова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*pavlichenko@gmail.com*

Гиббереллины являются одной из важнейших групп фитогормонов, регулирующих рост и развитие растений. Работы по изменению путей биосинтеза гиббереллинов генно-инженерным способом имеют важное прикладное значение. Быстрорастущие древесные культуры могут быть использованы в мероприятиях по лесовосстановлению, ветрозащите или рекультивации загрязненных земель, а также для биорефайнинга, включая производство биотоплива. Не менее важным представляется использование быстрорастущих трансгенных культур как биореакторов для наработки ценных метаболитов. Данное исследование было направлено на генетическую трансформацию тополя геном, кодирующим гиббереллин-20-оксидазу, один из ключевых ферментов биосинтеза гиббереллинов.

В качестве объекта генетической трансформации был выбран тополь берлинский (*Populus berolinensis* K. Koch). Данный вид быстро растет в лабораторной культуре, легко размножается срезанием и укоренением верхушечной части растения. Агробактериальную генетическую трансформацию осуществляли с использованием бинарной векторной системы pBI121, несущей кодирующую последовательность гена гиббереллин-20-оксидазы из *A. thaliana* L. (*AtGA20ox1*) и содержащей селективный ген неомycin фосфотрансферазы II – (*nptII*), определяющий устойчивость к канамицину. В качестве растительных эксплантов для кокультивации с агробактерией использовали сегменты междоузлий без пазушных почек. Для регенерации и микроклонального размножения тополя использовали твердую агаризованную (7 г/л) питательную среду MS (рН 5,7). Для регенерации трансгенных растений использовали только один тип питательной среды с добавлением БА (0,2 мг/л), ТДЗ (0,02 мг/л) и НУК (0,01 мг/л). В результате регенерации на селективной питательной среде, содержащей канамицин (50 мг/л) и цефотаксим (250 мг/л), было отобрано 15 трансгенных линий. Трансгенез был подтвержден укоренением регенерантов в питательной среде в присутствии канамицина (50 мг/л) и положительным результатом ПЦР на гены *nptII* и *AtGA20ox1*. Последующая культивация трансгенных линий тополя привела к утере части линий, в связи с низкой эффективностью их размножения *in vitro*. Из изначально отобранных 15 линий удалось сохранить только 3.

Данные линии характеризуются более длинными узкими листьями, длинными междоузлиями и скоростью роста в примерно 3 раза превышающую показатели контрольных растений. Растения, высаженные в грунт в условиях искусственного климата и перенесшие зиму в состоянии покоя, демонстрировали формирование раскидистой кроны в отличие от веретеновидной кроны контрольных растений. Пробудившиеся после зимнего покоя растения демонстрировали прорастание почек сначала на нижних ветках, а потом уже на апикальной части растения, при этом форма листьев в значительной степени изменилась и приобрела более вытянутую овальную иногда переходящую в ланцетную форму, в отличие от контрольных растений, имеющих яйцевидные заостренные листья.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-01113, <https://rscf.ru/project/22-24-01113/>.

## СКРИНИНГ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ РЖИ В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

**А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев, С. Ю. Зорина, А. С. Журавкова, Н. Б. Катышева, Л. Г. Соколова**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия  
*pomorcevanatolii@mail.ru*

Озимая рожь является наиболее устойчивой сельскохозяйственной культурой по сравнению с другими озимыми зерновыми, что обусловлено высокой морозо- и зимостойкостью, малотребовательностью к плодородию почвы. Показано, что продуктивность озимой ржи во многом определяется как климатическими условиями, так и экологической пластичностью сортов. Известно, что вклад сорта в продуктивность составляет 25–45 %.

Снижение урожайности и качества зерна озимых зерновых культур, в том числе озимой ржи в агроклиматических условиях Восточной Сибири вызвано в основном их недостаточной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды зимнего периода и в период выхода растений из зимовки. Поэтому целью этого исследования была оценка селекционных линий озимой ржи различного географического происхождения в почвенно-климатических условиях Восточной Сибири.

Полевые испытания селекционных линий озимой ржи проводили на агроэкологическом стационаре Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН. Оценка экологической пластичности проводили по физиологическим и агрономическим параметрам.

Анализ полевых испытаний показал, что полевая выживаемость и семенная продуктивность популяционных сортов не зависимо от их происхождения в большинстве случаев была на уровне 30–50 % выше, по сравнению с гибридными образцами зарубежной селекции. Образцы местной селекции были относительно стабильны по зерновой продуктивности в сравнении с другими селекционными образцами (гибриды зарубежной селекции и сорта не местной селекции) в течение всего периода наблюдений. Изменения в компонентах урожайности в большей степени определялись сортовыми особенностями. Основным компонентом продуктивности озимой ржи, у которого отмечали значительные отличия в зависимости от полевого сезона и генотипа является количество растений и количество продуктивных стеблей. Сорта и линии Российской селекции независимо от их происхождения имели наибольшее количество продуктивных стеблей на единицу площади. Размер, масса зерен и вес зерна с колоса были выше у зарубежных гибридов и сортов, выведенных в западной части России, по сравнению с образцами местной селекции.

Большинство исследуемых селекционных линий и сортов озимой ржи обладают высокой зимостойкостью. Это важнейший показатель, который определяет урожайность в условиях Восточной Сибири. Для высокозимостойких местных популяционных сортов зерновая продуктивность в значительной степени зависит от комплекса агроклиматических условий в период весенне-летнего роста и развития растений. В результате нестабильной зимостойкости и повышенной гибели растений в течение зимне-весеннего периода у гибридов зарубежной селекции критичным является густота стояния растений в посеве и продуктивная кустистость, что и определяет эти показатели, как основной компонент урожая в условиях Восточной Сибири, что подтверждается высокой корреляционной связью.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *BRASSICACEAE* ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЦИНКОМ

**Н. С. Репкина, Н. М. Казнина**

ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия  
nr19@ya.ru

Проблема загрязнения сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами чрезвычайно актуальна в настоящее время. Одним из подходов, направленных на очистку почв от их избытка, является экологически чистая и экономически выгодная технология фиторемедиации. Учитывая, что небольшое число видов растений подходит для использования в данной технологии, поиск видов с высоким фиторемедиационным потенциалом весьма важен. На северных территориях, к которым относится Республика Карелия, условия низких температур усложняют выбор видов для фиторемедиации. Не менее важен также вопрос о переработке растительного сырья после фиторемедиации. Учитывая это, целью нашей работы явилось изучение перспектив практического применения двух представителей семейства *Brassicaceae* при их выращивании в условиях загрязнения цинком северных территорий.

В ходе наших исследований было установлено, что горчица сарептская (*Brassica juncea*) и горчица белая (*Sinapis alba*) накапливают цинк в достаточно высоких концентрациях. У *B. juncea* он содержится в большей степени в корнях, а у *S. alba*, в корнях и в побегах. При этом максимальное содержание ионов цинка в растениях и наиболее низкое его количество в субстрате отмечалось на стадии стеблевания (4 недели после посадки). Опыты, проведенные в вегетационных условиях, показали, что оба вида могут успешно расти на субстрате с избытком цинка в климатических условиях Севера, несмотря на некоторое замедление развития растений и удлинение периода их вегетации. Полученные данные свидетельствуют о высоком фиторемедиационном потенциале *B. juncea* и *S. alba*. Учитывая высокое содержание цинка в побегах, оба вида могут быть рекомендованы в качестве добавки (обогащенной цинком) в корм животным. Помимо этого, проведенный химический анализ семян обоих изученных видов и их липидный и жирнокислотный состав показал, что семена горчицы белой соответствуют нормам СанПиНа даже при выращивании на субстрате с высоким содержанием цинка и, следовательно, могут быть использованы при производстве масла. В то время как семена горчицы сарептской с более высоким содержанием этого металла можно применять при производстве биотоплива, за счет высокого содержания в них триацилглицеридов.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00668.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Repkina N. S. Effect of zinc excess in substrate on physiological responses of *Sinapis alba* L. / N. S. Repkina, I. A. Nilova, N. M. Kaznina // Plants. – 2023. – N 12. – Art. 211. doi: 10.3390/plants12010211

Репкина Н. С. Фиторемедиационный потенциал двух видов семейства Brassicaceae / Н. С. Репкина, Н. М. Казнина // Int. J. Human. Natur. Sci. – 2022. – Т. 11-1, N 74. – С. 38–42. doi: 10.24412/2500-1000-2022-11-1-38-42



## ФОТОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОЙ И ГЕНОТОКСИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОЧВЕННУЮ БИОТУ И РАСТЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЕСТИЦИДОВ

**Е. А. Саратовских<sup>1</sup>, Е. В. Штамм<sup>2</sup>, С. К. Абилев<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> ФИЦ ПХФиМХ РАН, Черноголовка, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ ХФ РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>4</sup> ИОГен РАН, Москва, Россия

easar@icp.ac.ru

Известно, что применение пестицидов не приводит к повышению урожайности с/х продукции, а приводит к гибели многочисленных видов почвообитающих микроорганизмов и понижению содержания гумуса в почве – собственно являющихся основой плодородия почв. Перехода по трофическим путям, они накапливаются в организме теплокровных, в частности – человека. Это является причиной огромного количества заболеваний: функциональные изменения печени и почек, расстройства аутистического спектра, рак различных органов, врожденные генетические аномалии разного рода.

Фотохимическое окисление водных растворов гербицидов лонтрел (3,6-дихлорпиколиновая кислота, 3,6-ДХПК) и раундап (N-фосфонометилглицин, N-ФМГ) осуществлено под действием УФ-облучения при барботировании растворов озоном. Текущую концентрацию измеряли на спектрофотометре Perkin Elmer UV-VIS Spectrometer «BUOLAMBDA-45». Токсикологический анализ выполнен на тест системе лиофилизированных люминесцентных бактерий «Эколюм» и на тест-объекте инфузории *Tetrahymena pyriformis*. Определение генотоксичности проведено на бактериальном тесте Эймса *Salmonella*/микросомы и на бактериальном lux-тесте на основе *Escherichia coli* K12 MG1655 (pColD–lux).

Показана высокая эффективности метода детоксикации пестицидов с помощью воздействия УФ-облучения в комбинации с озонированием, способная привести к полному разложению токсикантов за короткие сроки воздействия.

Измерение токсичности на тест-системе «Эколюм» и на *Tetrahymena pyriformis* дало согласованные результаты. Показано, что обработка пестицидов УФ-облучением + озонирование приводит к 10-кратному уменьшению токсичности образца.

При изучении генетических эффектов исходных пестицидов и продуктов их разложения показано, что среди продуктов фотохимического разложения имеются вещества со слабой мутагенной и генотоксической активностью. Однако, для продуктов она в 10 раз ниже, чем у исходных пестицидов.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания по теме № 0089-2019-0014 (№ гос. регистрации АААА-А19-119071890015-6) и Программе № 46.15 Гос. задания № 0082-2019-0013 (№ гос. регистрации в ЕГИСУ НИОКТР: 121030900349-8).*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Roundup (glyphosate): Products of photochemical decomposition and their toxicity and genotoxicity / Ya. V. Vakhterova, L. V. Avdeeva, M. E. Zimens [et al.] // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2023. – Vol. 32. – P. 100957. doi: 10.1016/j.scp.2022.100957

**АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ОКСИЛИПИНОВ – ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ЦИТОХРОМОВ P450**

**Е. О. Смирнова<sup>1</sup>, Д. И. Гараева<sup>2</sup>, Н. В. Ланцова<sup>1</sup>, Я. Ю. Топоркова<sup>1</sup>,  
А. Н. Гречкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО КФУ, Казань, Россия

yelena.smirnova@aiasec.net

Оксилипины – это сигнальные молекулы, синтезирующиеся во всех аэробных организмах и вовлеченные во многие важные для организмов процессы. Данные соединения являются окисленными производными жирных кислот. Прокариоты образуют простые молекулы оксипилинов в ходе одного или двух этапов метаболизма, в то время как эукариоты имеют сложные пути синтеза, в результате которых образуются разнообразные соединения. В основном оксипилины синтезируются *de novo* при воздействии различных неблагоприятных факторов.

Одним из способов образования оксипилинов является липоксигеназный каскад, основными компонентами которого являются липоксигеназы и ферменты CYP74, относящиеся к цитохромам P450. Семейство CYP74 традиционно считалось характерным для представителей цветковых растений. Однако обнаружение ферментов, которые по аминокислотному составу и механизму каталитического действия схожи с представителями CYP74, у *Metazoa*, *Proteobacteria*, а также у зеленых и бурых водорослей расширило семейство CYP74 до клана.

В геноме возбудителя килы капусты *Plasmidiophora brassicae* экспрессируются два гена, кодирующие цитохромы P450. КДНК одного из генов *P. brassicae* (CYP50918A1) была клонирована, и соответствующий белок был получен в клетках *E. coli* штамма Tuner(DE3)pLysS. Рекомбинантный фермент был очищен методом металл-аффинной хроматографии. Было показано, что предпочтительным субстратом для данного фермента является 13-гидроперекись  $\alpha$ -линоленовой кислоты. Фермент был охарактеризован как гидропероксидбициклаза, в результате функционирования которой образовывалось три типа бициклических оксипилинов, названных плазмодиофорами, основными из которых был плазмодиофорол А.

В литературе есть данные о том, что некоторые бактерии, например, из рода *Bacillus* могут подавлять рост *P. brassicae*. Нами было сделано предположение, что *P. brassicae* образует метаболиты для борьбы с такими бактериями. В роли таких метаболитов могут выступать оксипилины, тем более что ранее было показано, что некоторые оксипилины, в частности ( $\omega$ 5Z)-этеролоновая кислота, обладают ярко выраженным антимикробным эффектом. В данной работе целью было проверить наличие антимикробных свойств у плазмодиофорол А по отношению к *Bacillus subtilis* spp, *B. altitudinis* S388 и *Pectobacterium atrosepticum* SCRI1043.

В концентрации 0,5 мМ плазмодиофорол А сдерживал рост микроорганизма *P. atrosepticum* SCRI1043 в течение первых 24 ч, далее рост бактерии восстанавливался. Бактерии *B. subtilis* spp и *B. altitudinis* S388 были более восприимчивыми к действию исследуемого соединения. В данном случае бактериостатическое действие сохранялось в течение 48 ч.

*Исследование антимикробных свойств плазмодиофорол А в отношении B. subtilis* spp и *B. altitudinis* S388 выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-14-00350. *Исследование биологической активности плазмодиофорол А в отношении P. atrosepticum* SCRI1043 выполнено в рамках Гос. задания ФИЦ КазНЦ РАН.

## ОТКЛИК ПОЧВЕННОГО МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИФОСАТА ПРИ ПОДЪЕМЕ ЗАЛЕЖИ

**Д. Г. Соколова, С. Ю. Зорина, Н. В. Дорофеев, А. В. Поморцев, Н. Б. Катышева**

СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

*sokolova.lada@sifibr.irk.ru*

Глифосат – неселективный системный гербицид, рекомендуемый производителем для уничтожения нежелательной растительности при распахке залежных земель. Однако применение данной агротехнологии неоднозначно влияет на функционирование почвенной микрофлоры. Механизм действия глифосата связан с ингибированием одной из стадий шакиматного пути, который есть как в растениях, так и в бактериях, археях и грибах. Цель работы – оценить влияние глифосата, используемого при подъеме залежи, на активность почвенного микробного комплекса, выполняющего ключевую роль в цикле углерода.

Полевые опыты проводили в 2021–2022 гг. на залежном участке ( $S = 2$  га), расположенном на серой лесной среднесуглинистой почве лесостепной зоны Прибайкалья. Схема эксперимента включала варианты: 1 – залежь (контроль), 2 – распахка без глифосата, 3 – распахка после применения глифосата в дозе 4 л/га (на момент 90 % гибели растений), 4 – традиционная пашня (дополнительный контроль). В первый год производился подъем залежи, а на следующий – часть поля находилась под паром или под посевом пшеницы. Мониторинговые наблюдения за эмиссией  $\text{CO}_2$  из почвы проводили камерным методом (1 раз в 2–3 недели, начиная с момента распахки).

Статистически значимых различий между показателями средней за сезон скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  в вариантах с использованием глифосата и без его применения не установлено ( $2,3 \pm 0,4$  и  $2,5 \pm 0,4$  г/м<sup>2</sup> сут. в 2021 г.;  $0,9 \pm 0,2$  и  $0,7 \pm 0,2$  в 2022 г., соответственно). В парах распаханных вариантов показатель был ниже исходной залежи в 2,5 раза, но превосходил величины, характерные для традиционного пара. Это могло быть связано как с исключением вклада дыхания корней после распахки, так и изменением доступности органического вещества к разложению.

Отличия между опытными вариантами демонстрировал ход динамики среднесуточной скорости эмиссии  $\text{CO}_2$ . Сразу после распахки вариант с глифосатом отличался максимальными показателями, а вариант без обработки – минимальными. Максимум выделения  $\text{CO}_2$  в этом варианте наблюдался через месяц после распахки и превосходил вариант с глифосатом в 1,8 раза. На второй год различия по вариантам сохранялись, но были выражены меньше и к концу вегетации сглаживались. Различия в динамике выделения  $\text{CO}_2$  могли быть обусловлены величиной микробного пула (Смик) и его метаболической активностью. На момент распахки в варианте с глифосатом содержание Смик оказалось значимо больше, чем в варианте без обработки (158 и 93 мкг/г почвы,  $p = 0,009$ ). При этом микробный метаболический коэффициент ( $q\text{CO}_2$ ), характеризующий удельное дыхание единицы микробной биомассы или затраты на адаптацию, в варианте с глифосатом был вдвое меньше. Через месяц после распахки и в дальнейшем в варианте без глифосата величина Смик, напротив, оказалась выше, а  $q\text{CO}_2$  ниже.

Данные позволяют предположить, что использование глифосата при подъеме залежи вызывает эффект преадаптации почвенного микробного комплекса к другим нарушающим воздействиям, в частности к распахке. Отклик на резкое изменение условий его жизнедеятельности под влиянием глифосата либо запаздывает, либо сглаживается.

## ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ *LILIUM PILOSIUSCULUM* (FREYN) MISCZ.

**С. Г. Терентьева, Е. В. Кучарова, Ж. М. Охлопкова**

СВФУ, Якутск, Россия

saina.terenteva.1999@mail.ru

Одним из актуальных направлений является сохранение редких и исчезающих видов растений, естественный ареал которых сокращается под воздействием изменяющихся климатических факторов и жизнедеятельности человека несмотря на предпринимаемые меры защиты и охраны через создание особо охраняемых природных территорий. В этом плане необходимо внедрять подходы и приемы клеточных биотехнологий.

*Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz. является одним из редких видов растений, занесен в «Красную книгу Якутии» (2017) по категории и статусу редкости «2б»: численность популяций сокращается в результате чрезмерного использования их человеком и может быть стабилизирована специальными мерами охраны. Данное растение имеет декоративное значение и, возможно, интересный состав вторичных метаболитов.

Целью исследования является изучение условий микроклонального размножения *Lilium pilosiusculum*. Растительный материал был собран в течение экспедиционных работ на территории Нюрбинского района Республики Саха (Якутия). Нами были обнаружены несколько немногочисленных популяций растения в окрестностях с. Жархан и г. Нюрба. В качестве образцов нами было собрано несколько луковиц, луковицы заключали в соответствующие сосуды со слоем почвы и хранили в условиях холодильника при +4–6 °С. Также были собраны почвенные образцы в 3-кратной повторности в местах произрастания объекта исследования. За основу культуральных работ *in vitro* были взяты подходы и требования по Р. Г. Бутенко (1996).

По результатам исследования был разработан протокол обработки (стерилизации) эксплантов к введению растения в культуру *in vitro*. В качестве эксплантов использовали чешуйки луковиц. Для культивирования использовали питательную среду Мурасиге-Скуга (МС) с добавлением разных концентраций фитогормонов: 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) и 6-бензиламинопурина (БАП). Образцы культивировали в условиях фитостеллажа с подсветкой красного и синего света при фотопериоде 18/6. Исходя из полученных результатов, выявили, что оптимальным вариантом для инициации роста побегообразования *Lilium pilosiusculum in vitro* является питательная среда МС с добавлением БАП в концентрации 0,5 мг/л. Полученные при данном варианте культивирования микропобеги лилии кудреватой были использованы для инициации ризогенеза с использованием фитогормона нафтилуксусной кислоты (НУК) в различных концентрациях. Образцы культивировали в условиях лаборатории при естественном освещении. По результатам культивирования активное корнеобразование наблюдается на питательной среде МС с добавлением НУК в концентрации 1 мг/л.

Полученные микроклоны растений *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz. перенесены на почвенные субстраты с содержанием торфа, песка и керамзита в разном соотношении для изучения первого этапа адаптации.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-20031, <https://rscf.ru/project/22-14-20031/> и гранта ЯНФ на основании Соглашения №194-06\_22Д.*

**ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
«БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ» В ИРКУТСКОМ ГОСУНИВЕРСИТЕТЕ****А. В. Третьякова<sup>1,2</sup>, Е. В. Малыгина<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия<sup>2</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

anastasiya\_chepi@mail.ru

Биотехнология растений как учебная дисциплина является сегодня востребованной областью знаний, необходимых будущим специалистам-биологам, которые углубленно изучают процессы жизнедеятельности растительных организмов. В Иркутском государственном университете на биолого-почвенном факультете это студенты бакалавриата направления Биология 06.03.01, специализирующиеся в направлении профилями Биохимия, Ботаника. Полученные знания и навыки работы могут потребоваться в дальнейшем при проведении научных исследований фундаментального характера для культивирования объектов исследований *in vitro* и осуществления определенных этапов работы, для решения прикладных задач, связанных с культивированием растительных организмов, их органов, тканей и клеток с целью получения определенных метаболитов. В последние годы становится все более актуальным выращивание растений гидропонным способом для производства сельскохозяйственной продукции. Появился термин «гровер» (англ. *grower* – огородник), обозначающий профессию специалиста в области быстрых современных методов выращивания растений на воде или заменителе почвы (гидропонным способом). Эта профессия становится востребованной производством сельскохозяйственной продукции. В то же время среди выпускников вузов биологического или сельскохозяйственного профиля нет подготовленных кадров для данного направления деятельности. Также интересным объектом исследований в культуре *in vitro* в настоящее время становятся не только высшие растения, но и другие растительные организмы (например, мхи, биотехнологический потенциал которых изучается в настоящее время).

Важной особенностью данной дисциплины является получение студентами наряду с теоретическими знаниями навыков практической работы. Занятия проходят на базе Лаборатории биотехнологии растений Ботанического сада ИГУ. Студенты знакомятся с устройством лаборатории, принципами приготовления питательных сред, способами стерилизации растительных эксплантов, техникой работы в ламинаре и подходами для решения конкретных исследовательских задач. В ходе занятий студенты также помогают решению текущих задач сотрудников лаборатории, связанных с введением в культуру *in vitro* лекарственных растений, представляющих интерес как источники фармацевтически важных метаболитов.

Новой явилась возможность получения практических навыков работы с культурами высших грибов в недавно организованной Лаборатории фармацевтической биотехнологии НИЧ ИГУ. Студенты осваивают методы выделения чистых культур высших базидиальных грибов, инокуляции грибных культур в твердые и жидкие питательные среды, культивирования грибного мицелия и высушивания грибной биомассы для проведения дальнейших исследований.

Учитывая запрос современности, в рамках данной дисциплины в перспективе видим необходимость развития и расширения возможностей приобретения практических навыков студентами. Это относится к расширению видов объектов, с которыми студенты могут работать, а также использование гидропонных установок.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ АЛГИНАТА НАТРИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ХВОЙНЫХ

**Н. В. Филинова, В. С. Мясникова, Л. А. Беловежец**

ИрИХ СО РАН, Иркутск, Россия

Filinoва\_nv@mail.ru

Площадь лесов в России неуклонно сокращается: с 2001 г. количество леса сократилось более чем на 24 млн га. Важное место в достижении положительной динамики лесного фонда занимает проведение лесовосстановительных мероприятий, позволяющих снизить негативное влияние рубок леса, лесных пожаров, биологических вредителей, сократить площади непокрытых лесной растительностью земель. Традиционное лесовосстановление предусматривает предварительную подготовку почвы. Подготовка включает в себя расчистку от валежника, камней, нежелательной растительности и вспашку верхнего плодородного слоя. Все эти мероприятия направлены на обеспечение хорошей всхожести посеянных семян или выживания подрощенных саженцев. Для восстановления леса в труднодоступных местах подготовка невозможна и эффект от посеянных семян оценивается в 5% от всхожести в подготовленную почву.

Поэтому целью нашей работы являлась разработка технологии предпосевной подготовки семян хвойных растений для обеспечения оптимальной всхожести и выживания проростков хвойных растений в неблагоприятных почвенно-климатических условиях.

Для достижения этой цели использовали технологию дражирования семян – один из перспективных способов предпосевной обработки, которая представляет собой заключение семян в оболочку из органоминеральных материалов, полимерных связующих и целевых добавок. Наибольшее распространение технология дражирования получила при обработке семян сельскохозяйственных культур. Современные технологии дражирования семян основаны на физических, химических и физиологических процессах, учитывают мембранные механизмы и используют нанотехнологии. Для успешного роста и развития сеянцев необходимо обеспечить семена влагой, сбалансированным питанием, а также микроэлементами.

В работе использовали семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и композиционные полимерные составы с различными целевыми свойствами. В качестве основы состава использовался альгинат натрия для обеспечения водопоглощения и водоудержания, а также природные вещества различных фракций (торф, бентонит, вермикулит, перлит) – для увеличения воздухопроницаемости и прочности, растительные полисахариды (кукурузный крахмал, гуаровая камедь), органоминеральные удобрения и стимуляторы роста.

Для оценки эффективности композиционного состава учитывалась энергия прорастания семян и лабораторная всхожесть в условиях почвы дражированных и недражированных семян.

На основе проведенных исследований были подобраны условия для образования гидрогелевых капсул альгината натрия и определены ингредиенты и концентрации целевых добавок для обеспечения оптимальных условий прорастания семян сосны обыкновенной в условиях пониженного водообеспечения.

Разработанные композиционные препараты имеют широкий спектр действий: удерживают воду около семени, усиливают развитие корневой системы и фотосинтетическую активность. Целевые добавки оказывают положительное влияние на физико-химические свойства дражированных семян.

## ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАКТЕРИАЛЬНЫХ ИЗОЛЯТОВ РИЗОСФЕРЫ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИИ

**М. Фролов, Е. Ю. Шульга, Б. Р. Исламов, Д. М. Афордоаны, Ш. З. Валидов**

ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*m.frolov@knc.ru*

Ризосферные бактериальные изоляты представляют собой широкий класс микроорганизмов, у которых наблюдаются самые различные свойства и характеристики. Множество статей микробиологической тематики посвящено детальному исследованию почвенных изолятов, методика отбора которых, как правило, опирается на определенные направления исследования авторов. В рамках работы предлагается система скрининга, основанная на определении ферментативных характеристик и иных полезных свойств, в целях отбора потенциально полезных изолятов.

Методологический подход в работе состоит из выделения уникальных штаммов микроорганизмов из ризосферы культурных растений, произрастающих на территории Татарстана, и их дальнейшая инокуляция на аналитические среды. Таким образом определяется наличие эндогенных фитаз, амилаз, целлюлаз, липаз и протеаз, а также возможность фиксации атмосферного азота. Наиболее перспективные изоляты, после генетической идентификации методом 16S-rПНК не представляющие из себя патогены животных и растений, проверяются на наличие антагонизма к грибным патогенам, а также на синтез ауксинов и гиббереллинов. По данным генетической идентификации можно сделать вывод о наличии большого количества изолятов, принадлежащих к родам *Pseudomonas* и *Bacillus*, однако помимо них можно выделить рода *Pantoea*, *Arthrobacter* и *Streptomyces*.

Исследование изолятов с различными ферментативными характеристиками на примере ярового рапса на стадиях семядолей, бутонизации и молочной спелости показывает изменение их относительных соотношений, что обуславливается изменением физиологии растения-хозяина и указывает на возможность выделения потенциально полезных изолятов из ризосферы культурных растений на протяжении вегетационного периода.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства Науки и Высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Генетическая технология конструирования искусственных консорциумов микроорганизмов для создания биопрепаратов в растениеводстве», соглашение № 075-15-2021-1395 от «25» октября 2021 г. Федеральная научно-техническая программа развития генетических технологий на 2019–2027 годы от 18 октября 2021 г. № 2021-1930-ФП5-0010/4.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Persistence as a constituent of a biocontrol mechanism (Competition for nutrients and niches) in *Pseudomonas putida* PCL1760 / A. K. Miftakhov, R. G. C. Diabankana, M. Frolov, M. M. Yusupov, S. Z. Validov, D. M. Afordoany // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11. – Art. 19. doi: 10.3390/microorganisms11010019

Характеристика ризосферных изолятов для применения в биотехнологии : материалы науч. конф., Казань, 26–27 окт., 2022 г. / Каз. гос. аграр. ун-т. – Казань : КазГАУ, 2022. – 312–319.

## ПРОСТОЙ И ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ГЕНОТИПОВ ТОМАТА ПО СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ НА РАННИХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ *IN VITRO*

**М. Р. Халилуев, Л. Р. Богоутдинова, Е. Н. Баранова**

ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

marat131084@rambler.ru

Важной составляющей при проведении сравнительной оценки различных генотипов томата по устойчивости к засолению *in vitro* является применение максимально выровненного, однородного по стадии развития растительного материала, от которого зависит корректность и достоверность полученных экспериментальных данных. Наиболее часто для этого используют семена, которые проращивают на питательных средах в присутствии стрессового фактора. Существенным их недостатком является то, что даже качественный семенной материал после введения в асептические условия сильно различается по всхожести, энергии прорастания и выровненности. В связи с этим, нами предлагается простой и эффективный методологический подход – использование однородных по габитусу и стадии развития фрагментов надземной части ювенильных проростков томата, полученных из семян, которые впоследствии культивируют на питательных средах для индукции ризогенеза с добавлением различных концентраций NaCl (0–250 мМ). Растительным материалом для исследований служили два генотипа томата (линия ЯЛФ и сорт Рекордсмен), различающиеся по устойчивости к засолению. Использование данного методологического подхода позволило установить существенные различия между генотипами томата по ряду морфометрических, физиолого-биохимических и цитологических показателей на организменном, органном, тканевом и клеточном уровнях. Предложенный методологический подход для сравнительной оценки солеустойчивости в условиях *in vitro* может быть применен не только для томата, но и для других растений, у которых отсутствуют трудности в индуцируемом органогенезе корней. Кроме того, он может быть использован и в отношении других стрессовых воздействий абиотической природы, имитируемых в условиях *in vitro*.

*Исследование выполнено по теме Гос. задания FGUM-2022-0003.*

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Морфо-биологическая и цитологическая характеристика регенерирующих корней томата (*Solanum lycopersicum* L.) сорта «Рекордсмен» в условиях NaCl-засоления *in vitro* / Л. Р. Богоутдинова, Е. Н. Баранова, Г. Б. Баранова, Н. В. Кононенко, Е. М. Лазарева, Е. А. Смирнова, М. Р. Халилуев // Цитология. – 2019. – Т. 61, № 12. – С. 998–1013.

A simple and effective bioassay method suitable to comparative *in vitro* study of tomato salt tolerance at early development stages / M. R. Khaliluev, L. R. Bogoutdinova, G. N. Raldugina, E. N. Baranova // Methods Protoc. – 2022. – Vol. 5. – P. 11. doi: 10.3390/mps5010011

Characteristics of root cells during *in vitro* rhizogenesis under action of NaCl in two tomato genotypes differing in salt tolerance / L. R. Bogoutdinova, E. N. Baranova, N. V. Kononenko, I. A. Chaban, L. N. Konovalova, A. A. Gulevich, E. M. Lazareva, M. R. Khaliluev // Int. J. Plant Biol. – 2023. – Vol. 14. – P. 104–119. doi: 10.3390/ijpb14010010



## ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ИНДУКЦИЮ ПОБЕГООБРАЗОВАНИЯ *FICUS CARICA L. IN VITRO*

**С. В. Челомбит**

ФГБУН «НБС–ННЦ», Ялта, Россия

*chelombit@inbox.ru*

Инжир (*Ficus carica L.*) относится к семейству Могасеае и является важной культурой для многих засушливых регионов. Родина инжира – Западная Азия, но он распространен по всему Средиземноморскому региону, а также в Индии, Китае, Бразилии, США, Австралии и других странах. Популярность инжира и перспективность его выращивания обусловлена продуктивностью деревьев, их ранним вступлением в плодоношение, высокими вкусовыми, питательными и лечебными свойствами плодов. Инжир – один из самых богатых растительных источников кальция, калия, железа и клетчатки. Клональное микроразмножение – одна из возможностей получения растений инжира в промышленных масштабах, являющаяся более быстрым методом размножения по сравнению с традиционным методом черенкования. Целью данного исследования было изучение влияния регуляторов роста на индукцию побегообразования инжира (*Ficus carica L.*) *in vitro*.

Для проведения биотехнологических исследований по изучению влияния регуляторов роста были отобраны два безвирусных сорта Сабруция Розовая и Наираннейший Фиолетовый, ранее введенные и культивируемые в условиях *in vitro*. В качестве эксплантов использовали побеги длиной 1 см без листьев. Было испытано 5 вариантов питательной среды на основе базовой питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) с комбинациями регуляторов роста (6-БАП, кинетин, 2iP) в концентрации 1,0 мг/л и в сочетании с 0,25 мг/л НУК и 0,5 мг/л ГКз. Контролем служила среда МС без регуляторов роста. В процессе изучения регенерационного потенциала *in vitro* изучаемых сортов инжира выявлено, что на морфогенез *in vitro* органов и тканей этих культур влияют такие факторы, как сочетание и концентрация регуляторов роста в питательной среде. Наши исследования показали, что присутствие в среде 6-БАП способствует увеличению числа адвентивных микропобегов сортов Сабруция Розовая и Наираннейший Фиолетовый ( $3,9 \pm 0,52$  и  $4,6 \pm 0,34$  шт. соответственно) и листьев. Микропобеги были компактными, темно-зеленого цвета, с небольшими междоузлиями и листьями. Кинетин превосходил БАП и 2iP по показателям длины адвентивных микропобегов ( $1,13 \pm 0,22$  и  $1,48 \pm 0,14$  см, соответственно), при этом наблюдали удлинение междоузлий, а в основании побега формировался рыхлый каллус. У сорта Сабруция Розовая формировалось наибольшее количество корней ( $2,2 \pm 0,93$  шт.) в контроле, а у сорта Наираннейший Фиолетовый образование корней происходило на питательной среде с 1,0 мг/л 2iP ( $1,8 \pm 0,74$  шт.).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что процесс морфогенеза зависел от содержания регуляторов роста, их концентраций и сочетания в питательной среде. Пролиферация адвентивных побегов происходила на питательной среде МС, содержащей 1,0 мг/л 6-БАП, 0,25 мг/л НУК и 0,5 мг/л ГКз. При этом были отмечены различия в количестве адвентивных микропобегов/эксплант и их средней длине у сортов инжира Сабруция Розовая и Наираннейший Фиолетовый:  $3,9 \pm 0,52$  и  $4,6 \pm 0,34$  шт. соответственно.

*Исследование выполнено в рамках Гос. задания FNNS-2022-0002 ФГБУН «НБС–ННЦ» на оборудовании УНУ «Научный центр биотехнологии, геномики и депонирования растений» («ФИТОБИОГЕН») ФГБУН «НБС–ННЦ» (Ялта, Россия).*

## ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТОВ ГРИБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ФИЗИОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ *TRITICUM AESTIVUM* L.

**А. Н. Шатерников, О. М. Цивилева, Н. В. Евсева**

ИБФРМ РАН, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия  
[andrejsh93@gmail.com](mailto:andrejsh93@gmail.com)

Метаболиты высших грибов-базидиомицетов как продуцентов разнообразных физиологически активных веществ могли бы составить значительную часть природных регуляторов роста растений. Однако потенциально значительный вклад исследования макромицетов в расширение спектра и повышение эффективности использования фитостимуляторов не соответствует состоянию изученности вопроса. В частности, данные о биостимуляторах на основе ксилотрофных базидиомицетов в литературе практически отсутствуют. В настоящей работе проведена оценка влияния препаратов, полученных на основе внеклеточных метаболитов съедобных и/или лекарственных базидиомицетов, на физиолого-морфологические параметры проростков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Саратовская 29.

Биопрепараты получали на основе погруженных монокультур базидиомицетов и их бинарных культур с фитостимулирующими бактериями. Анализ экспериментальных данных по влиянию изучаемых препаратов микробного происхождения на проростки пшеницы позволил констатировать, что ответная реакция растений пшеницы, проявляющаяся в положительных изменениях морфологических параметров растений, наиболее выражена в случае воздействия препаратов на основе *Ganoderma lucidum* 1315, *Laetiporus sulphureus* 120707, *Flammulina velutipes* 0535. При добавлении в среду выращивания пшеницы биообразцов из бинарных культур *G. lucidum* с бактериями *Bradyrhizobium japonicum*, *Stenotrophomonas* sp., *Pseudomonas fluorescens* и *Pseudomonas putida* наблюдали увеличение длины листа примерно на 20 %, а также возрастание сухой биомассы листа – в 1,5 раза и сухой биомассы корня – на 30%. Аналогично действовали препараты на основе *L. sulphureus*, выращенного с *B. japonicum*, *Stenotrophomonas* sp., *Ps. fluorescens* или *Ps. putida*: сырая и сухая биомасса листа проростков увеличивалась на 30% и 50% соответственно в сравнении с необработанными растениями. Метаболиты макромицета *F. velutipes*, культивируемого с любым из изученных штаммов бактерий, способствовали увеличению длины листа проростков пшеницы не менее чем на 15 %. Полученные результаты дают основание оценивать ряд биопрепаратов из грибных и бактериально-грибных культур базидиомицетов в качестве средства, стимулирующего рост и развитие пшеницы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00415, <https://rscf.ru/project/22-24-00415/>.

### Основные публикации авторов по тематике доклада

Tsivileva O. M. Bacteria of the Azospirillum genus for the optimization of the artificial culture of xylotrophic mushrooms / O. M. Tsivileva, A. N. Shaternikov, V. E. Nikitina // Biotekhnologiya. – 2020. – Vol. 36, N 2. – P. 16–25. doi 10.21519/0234-2758-2020-36-2-16-25

Tsivileva O. M. Edible mushrooms could take advantage of the growth-promoting and biocontrol potential of Azospirillum / O. M. Tsivileva, A. N. Shaternikov, E. G. Ponomareva // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences. – 2022. – Vol. 76, N 2. – P. 211–217. doi 10.2478/prolas-2022-0032

## ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ И ОПТИМАЛЬНЫЕ СРОКИ ХРАНЕНИЯ ПЫЛЬЦЫ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PINUS PUMILA*

**И. С. Шевелева, Т. И. Голованова**

СФУ, Красноярск, Россия

*issheveleva@sfu-kras.ru*

Формирование качественной пыльцы является важным фактором для обеспечения нормального оплодотворения и дальнейшего развития зародыша семян. Основной целью исследования является подбор оптимальных условий хранения пыльцы, а также определение сроков хранения, чтобы установить возможность использования пыльцы с различными сроками пыления в селекции, в том числе и для транспортировки на дальние расстояния.

Для исследования пыльцевых зерен был выбран кедровый стланик (*Pinus pumila*). Модельные деревья располагались на севере Иркутской области Бодайбинского района (58°12'28" с. ш. 114°38'45" в. д.).

Сбор материала проводили с 21 по 25 июня 2022 г. С деревьев собирали стробилы в пакетики из кальки и раскладывали в один слой для просушки. Жизнеспособность пыльцы определяли методом висюльки капли в герметичной камере. Капля помещалась на покровное стекло, герметичность камеры достигалась с помощью вазелина. Пыльцу проращивали в 5, 10 и 15%-ном водных растворах сахарозы в течение 72 ч при температуре 22–24 °С. Камеры с посеянной пыльцой помещали в светлое помещение лаборатории (но без прямого попадания солнечных лучей). Посев проводили в трех повторностях, подсчет производили в 3 полях зрения. Пыльцу считали проросшей, если пыльцевая трубка достигала размера пыльцевого зерна.

Для проверки жизнеспособности пыльцы при длительном хранении пыльцу помещали в эксикатор с силикагелем. Хранили при температуре 4–5 °С. Однократное проращивание проводили по вышеописанной методике через 3, 6 и 9 месяцев.

Микроскопирование осуществляли с помощью микроскопа МИКМЕД-6 ЛОМО (Санкт-Петербург, Россия) с видеонасадкой DSM510.

Полученные результаты показали, что при проращивании пыльцевых зерен наблюдается достаточно большое количество хорошо развитых пыльцевых трубок на питательной среде с 15 % концентрацией сахарозы (98 % прорастания). Хуже всего прорастание было на среде с 5 % сахарозой (34 %). Наилучший результат жизнеспособности пыльцы регистрировали при ее хранении в течение трех месяцев (95 %), однако с увеличением сроков хранения пыльцы кедрового стланика (9 месяцев) жизнеспособность снижалась незначительно (78 %). Это регистрировали по количеству и длине пыльцевых трубок, длина которых превышает размеры тела пыльцевого зерна. Данное исследование показывает, что пыльцу кедрового стланика можно хранить длительное время (около года) без существенной потери способности к прорастанию, и использовать пыльцевые зерна в дальнейших экспериментах.

## IN VITRO CULTURE IN CONSERVATION RARE PLANT SPECIES FROM THE AMARYLLIDACEAE FAMILY

**M. Ghereg, N. Ciorchina, M. Tabara**

USM, "Alexandru Ciubotaru" National Botanical Garden (Institute), Chisinau, Republic of Moldova  
*melaniagher@gmail.com*

Research on the preservation of rare plant species from the Amaryllidaceae family through vitroculture is successfully carried out in the Republic of Moldova, being carried out within the Embryology and Biotechnology Laboratory of the National Botanical Garden (Institute) "Alexandru Ciubotaru", USM. The aim of this work is to develop efficient technology for the multiplication of rare plants: *Galanthus nivalis* L., *Galanthus plicatus* Bieb., *Leucojum aestivum* L. and *Sternbergia colchiciflora* Waldst. & Kit. and obtaining seed material by *in vitro* culture.

Plant species from the Amaryllidaceae family are valued in natural ecosystems for their decorative appearance, while also representing a natural source of products in the medical industry. Having a high degree of vulnerability, in the Republic of Moldova they are protected by law, being included in the Red Book, 3rd edition. They live in deciduous forests, thickets, moist and shady meadows, plains, hills and clearings. The rate of reproduction is low, as 1-2 bulbs are formed per year, and the development of plants from seed takes five or more years before they flower and produce seed.

The use of the *in vitro* method presents some advantages: obtaining a large number of seedlings, starting from a single plant in a short period of time and using a limited space. This represents a set of techniques that involve the use of some asepsis elements and the creation of the conditions of a perfectly controlled environment of humidity, temperature and light.

*In vitro* initiation is an option for the regeneration of rare and endangered plant species. For the introduction of rare plant species from the Amaryllidaceae family *in vitro* culture, a very important stage is the asepticization of the plant material. Sterilization is carried out according to a certain optimal protocol, but it can vary depending on the characteristics of the plant. Bulbs with a size of 0,5–1,0 cm in diameter were used as plant material. Four sterilizing reagents were tested: sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, ethyl alcohol, and mercuric chloride. Optimum results were obtained when using mercuric chloride with a concentration of 0,1%. The viability of the *G. nivalis* and *G. plicatus* species explants was over 60%, and in the *St. colchiciflora* and *L. aestivum* – about 70 %. When using the other reagents for the asepsis of the bulbs, the explants showed contamination of mycotic and bacterial origin in most of the inocula. The aseptic plant material was grown on Murashige & Skoog, 1962 (MS) basic medium supplemented with cytokinins 6-benzylaminopurine (BAP) and zeatin in concentrations of: 0,5/1,0/2,0/3,0 mg/l. Explants were placed under growth chamber conditions for a period of three weeks.

The research carried out for the microcloning of rare plant species from the Amaryllidaceae family, revealed positive results when using medium supplemented with BAP. The results regarding the number of microclones formed vary depending on its concentration in the nutrient medium for each species. The tested concentrations of zeatin had a negative effect on the development of microclones.

*The research was carried out with the support of ANCD within the research and innovation project of the State Program: 20.80009.7007.19 "Introduction and development of technologies for multiplication and cultivation by conventional techniques and in vitro cultures of new woody plant species".*

## METAL-TOLERANT ORGANISMS OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE

**L. V. Perelomov<sup>1</sup>, O. I. Sizova<sup>2</sup>, L. G. Mukhtorov<sup>1</sup>, A. V. Tretyakova<sup>1</sup>,  
M. M. Gertsen<sup>1</sup>, Yu. M. Atroshchenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russia

<sup>2</sup>Federal Research Center “Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences”, G. K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms of RAS, Pushchino, Russia  
perelomov@rambler.ru

Wastewater treatment plants generate huge amounts of sewage sludge, and their further disposal depends on the used in the treatment technologies and spontaneously occurring microbiological processes. Sewage sludge has a high microbial diversity, which affects the mineralization of their organic matter and the transformation of toxic compounds into harmless or less toxic ones. At the same time, the microorganisms of sewage sludge must be resistant to a wide range of unfavorable chemical, physical and physico-chemical factors, including important environmental pollutants – heavy metals.

From municipal sewage sludge of different ages, 12 strains of gram-negative and gram-positive bacteria with simultaneous tolerance to two or more heavy metals: Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb at concentrations of 3–5 mmol were isolated and identified as a result of Sanger sequencing. The identified metal-tolerant strains belong to the species *Serratia fonticola*, *Rhodococcus qingshengii*, *Pseudomonas fragi*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas extremaustralis*, *Pseudomonas cedrina*, *Serratia liquefaciens* and *Citrobacter freundii*. Some bacteria could alter the color of their colonies when cultivated on media enriched with heavy metals. The metal tolerance of isolated bacterial strains correlated with the maximum content of heavy metals in their habitat in a significant number of cases.

The ecological and physiological features of the isolated strains were studied. The range of optimal growth temperatures for most strains was 15–30°C, although some strains grew at 7°C. All isolated strains grew in the pH range of 5–9. Satisfactory growth of two strains was noted in an acidic medium at pH 4. Most of the strains grew in the NaCl concentration range of 1–5%. Often, differences in ecological and physiological characteristics were more significant between strains of the same species compared to different species, which may indicate a possible gene transfer between strains in extreme habitat conditions.

The identified metal-tolerant strains were tested for antibiotic resistance. Some strains were resistant to several antibiotics at once, which is of undoubted interest. The multiresistance to antibiotics is an indirect confirmation of the presence of antibiotic resistance plasmids in these strains.

It is possible that cultivating isolated bacterial nonpathogenic strains and their introduction into communities of other sewage sludge microorganisms could improve the efficiency of their biological treatment from organic and inorganic pollutants and expand the scopes of safe use.

*This research was funded by the Russian Science Foundation Grant No. 22-24-20074 (regional competition), held jointly with the authorities of the subject of the Russian Federation (Tula region).*

#### Основные публикации авторов по тематике доклада

Metal-tolerant bacteria of wastewater treatment plant in a Large city / L. Perelomov, O. Sizova, M. M. Rahman, I. Perelomova, T. Minkina, S. Sokolov, Y. Atroshchenko // Sustainability. – 2022. – Vol. 14 (18). – Art. 11335. doi: 10.3390/su141811335

**STRESS INDUCED MORPHOLOGY OF CANCER HeLa CELLS BY THE “EARLY” PROTEINS OF PAPILLOMAVIRUS TYPE16 E2, E6, E7 AND THERAPEUTIC L – AMINO ACID OXIDASE AND D-AMINO ACID OXIDASE: DOES HeLa CELLS FORM BIOFILMS ON THE SURFACE OF MICE LUNG CANCER TUMORS?****N. I. Rekoslavskaya, A. S. Stolbikov**

SIPPB SB RAS, Irkutsk, Russia

rekoslavskaya@sifibr.irk.ru

Mice lungs are the excellent experimental model to study immunological and oncolytic properties of antibodies, cancer regressing viral proteins and anticancer therapeutics. Cancer HeLa cells injected into hips of adult mice (6 months of the age, 35–40 g of weight) evoked different types of tumors as followed: in testes, stomach, liver, lungs etc. Vaccination of these infected mice with oral vaccine made on the basis of "early" protein HPV16 E2 from tomato transgenic with *hvp16E2* cancelled the tumor formation on testes in a 5 days. The regression of mice tumors accompanied by the significant increase in the content of interferon, T cell receptor, CD4/CD8 T lymphocytes and activation of apoptotic enzymes: granzyme B, perforin and granulysin. To study the viability of HeLa cells, "early" proteins of HPV16 E2, E6 and E7 synthesized in tomato as well as L-amino acid oxidase (LAAO) and D-amino acid oxidase (DAAO) were added to grown up suspension of HeLa cells. The ratio of alive/dead HeLa cells was estimated by vital dye nitroterazolium blue and dye for indication of dead cells the trypan blue. The addition of HPV16 E6 or HPV16 E7 resulted to aging of HeLa cells with lost of adhesion from the surface of flask bottom and floating. But the trypan blue dye did not colored HeLa cells after treating with HPV16 E6 or E7. Combined with CRISPR/CAS module, HPV16 E6 and E7 did destroyed HeLa cells and trypan blue colored them in dark blue color. HPV16 E2 strongly acted on HeLa cells and dramatically destroyed them judging by coloring with trypan blue. HeLa cells were killed by blood serum of mice vaccinated with oral vaccine made on the basis of tomato fruit transgenic with HPV16 E2 either. L-amino acid oxidase (LAAO) and D-amino acid oxidase (DAAO) destroyed HeLa cells and dark blue color appeared after addition of trypan blue. After 1–2 hours of exposition with E2, blood serum, LAAO or DAAO, HeLa cells formed structures resembling snow patterns on glass or simplast without dividing onto cells sometimes becoming uncolored which seemed to be biofilms made with lung surfactant. Isolated mice lungs were placed in grown suspension of HeLa cells and to the next day were covered with spreaded dividing cells or tumors. If the isolated lungs were placed in suspension of HeLa cells together with vaccine material of tomato fruit transgenic with HPV16 E2, there were no tumors or tumor-like dividing cells on the surface of inoculated lungs. Nevertheless, when parts of these lungs (or whole treated lungs) were placed on the fresh DMEM medium again, the thin monolayer of HeLa cells was formed on the bottom of Corning flasks as before. But these HeLa cells only partly (about 30–40%) were colored with trypan blue dye. In order to understand the action point of the efforts of HPV16 E2, inhibitory antibodies to check-points: to PD-1 of receptor on T cells and to cancer receptor PD-L1 were employed using HPV16 E2 as an activator in Elispot. The inoculation of HeLa cells with inhibitory anti-PD-L1 IgG have increased the amount of T cells up to 10 times of the level of synthesis of interferon and the activities of granzyme B and perforin. If isolated mice lungs were inoculated with HeLa cells, the tumors appeared to the next day. Then LAAO or DAAO were added to these infected lungs, tumors disappeared in 3–5 days. The suggestion was done that the biofilms covering tumors on lungs were destroyed by LAAO or DAAO or by HPV16E2 but perhaps in a different ways.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

Абилев С. К. – 199  
Абильфазова Ю. С. – 17  
Авальбаев А. М. – 18, 19, 53, 83  
Агафонов А. В. – 114  
Аксенова М. А. – 152  
Аксёнов-Грибанов Д. В. – 160  
Алейнова О. А. – 117, 124, 139, 153, 155  
Аллагулова Ч. Р. – 18, 19, 53, 83  
Амброс Е. В. – 154  
Ананьев А. А. – 117, 124, 139, 153, 155  
Андросова А. В. – 51  
Анохина Т. О. – 182  
Антонова Е. Е. – 156  
Атабекова А. К. – 66  
Афанасьева Л. В. – 93  
Афродоаньи Д. М. – 205

### Б

Бабаев В. М. – 58  
Бабина Д. Д. – 44, 157, 161  
Баймухаметова Э. А. – 45, 158, 192  
Баранова Е. Н. – 206  
Баранская М. И. – 140  
Барченков А. П. – 92, 109  
Батова Ю. В. – 79  
Батукаев А. А. – 159  
Баулина О. И. – 65  
Бедарева Е. В. – 128, 135  
Безматерных К. В. – 70  
Безрукова Е. В. – 89  
Беловежец Л. А. – 130, 204  
Белышенко А. Ю. – 160  
Бердникова О. С. – 35  
Бережная Е. В. – 54  
Бережнева З. А. – 20, 81  
Береш А. А. – 117  
Бизиков П. А. – 21  
Битаршвили С. В. – 22, 27, 57, 82  
Блинова Я. А. – 44, 157, 161  
Бобкова В. В. – 182  
Богачев М. И. – 126  
Богоутдинова Л. Р. – 206  
Бондарева В. В. – 176  
Бондаренко В. С. – 27  
Бондаренко Е. В. – 27, 44, 112, 157, 161  
Бондаренко-Борисова И. В. – 118

Борисова Г. Г. – 47, 133  
Боровский Г. Б. – 23, 76  
Бородин Е. В. – 150  
Бочка В. В. – 24  
Брысова М. Н. – 40  
Буракова И. Ю. – 55  
Буркин А. А. – 129  
Бурыгин Г. Л. – 146  
Бухарина И. Л. – 177, 178  
Бьядовский И. А. – 182  
Быковская И. А. – 50  
Бычкова А. А. – 119

### В

Валидов Ш. З. – 205  
Валиева В. А. – 120  
Валиева В. М. – 144  
Валитова Ю. Н. – 25, 58  
Васильев Д. В. – 27  
Васильев И. А. – 121  
Васильев С. Е. – 189  
Васильева И. В. – 72  
Васильева О. Ю. – 115  
Васильева С. Г. – 65, 162, 186  
Васильева У. А. – 87  
Васюков В. М. – 176  
Вашенко П. С. – 96  
Величко Н. И. – 167  
Вертебный В. Е. – 137  
Верхозина А. В. – 95  
Вишневская Н. А. – 150  
Власова А. А. – 160  
Власова И. И. – 110  
Войников В. К. – 187  
Волкова П. Ю. – 22, 44, 57, 82  
Волошина Т. В. – 88  
Волчатова Е. В. – 89  
Воронин В. И. – 90, 99  
Воронин В. П. – 191  
Воронков А. С. – 62  
Воропаева О. В. – 133

### Г

Габель Б. В. – 163  
Габова А. О. – 74  
Габриелян А. К. – 163  
Габриелян Д. А. – 163  
Гавриленко Т. А. – 169

Гаврилова Е. А. – 164  
Гаврилова О. П. – 122, 141  
Гагкаева Т. Ю. – 122, 141  
Гаджимурадова А. М. – 181  
Гайнуллина К. П. – 26  
Галеева Е. И. – 25  
Галимова А. А. – 45, 83, 165  
Гамова Н. С. – 91  
Гараев Б. И. – 126  
Гараева Д. И. – 200  
Гарипова С. Р. – 48, 134, 144, 149  
Гвоздикова А. М. – 166  
Герасимов Н. А. – 83  
Гераськин С. А. – 27  
Гётте И. Г. – 103  
Гиниятуллина Г. Р. – 81  
Гоголев Ю. В. – 142  
Гоголева Н. Е. – 142  
Голованова Т. И. – 209  
Головко Т. К. – 28  
Гольденберг Б. Г. – 154  
Гончарова А. М. – 132  
Гончарова И. А. – 92, 109  
Гончарук Е. А. – 39  
Горелова О. А. – 65, 162  
Горина С. С. – 29  
Горшков В. Ю. – 73, 142  
Горьков А. А. – 51  
Горькова И. В. – 51  
Грабельных О. И. – 30, 54, 56, 87, 187  
Граскова И. А. – 107  
Григориади А. С. – 123  
Григорьев Ю. С. – 24  
Гриценюк А. П. – 90  
Гумерова Г. Р. – 192  
Гурина В. В. – 31, 49, 67  
Гурьянов О. П. – 58  
Гурьянова А. С. – 188  
Гусев И. С. – 154

**Д**  
Давидович Н. А. – 191  
Давидович О. И. – 191  
Давлетов Ф. А. – 26  
Давыдова О. К. – 166  
Денисова А. Ю. – 146  
Дмитриев А. М. 83  
Дмитриева М. Е. – 160  
Днепровская А. А. – 124  
Дорогина О. В. – 114, 115  
Дорофеев Н. В. – 54, 180, 197, 201

Дорошук О. В. – 167  
Дубовицкая В. И. – 137  
Дубовский И. М. – 128, 135  
Дударева Л. В. – 68, 108, 187  
Дудина Ю. А. – 168  
Дунаева С. Е. – 169  
Дымова О. В. – 28, 170

## **Е**

Евдокимова В. А. – 131  
Евсеева Н. В. – 146, 208  
Егоров Ю. А. – 156  
Егорова А. М. – 32  
Егорова И. Н. – 111  
Ежков В. О. – 164  
Ежкова А. М. – 164  
Елисафенко Т. В. – 171  
Елькина А. В. – 33  
Емельянов В. В. – 34  
Ершова А. Н. – 35

## **Ж**

Жданова Г. О. – 173  
Жданова И. В. – 172, 183  
Железниченко Т. В. – 171  
Журавкова А. С. – 180, 197

## **З**

Забанова Н. С. – 30, 54, 187  
Загоскина Н. В. – 39, 152, 174  
Заикина Е. А. – 36, 45  
Зайцев П. А. – 65, 186  
Зайцева Ю. В. – 119  
Закарчевский С. А. – 173  
Захарова Е. В. – 37  
Захарова О. В. – 46  
Захожий И. Г. – 28  
Землянская Е. В. – 75  
Зиннатова Э. Р. – 125  
Зобкова Н. В. – 123  
Зорина С. Ю. – 180, 197, 201  
Зубова М. Ю. – 152, 174

## **И**

Ибрагимова З. А. – 45  
Ибрагимова Н. Н. – 38  
Ибрагимова С. А. – 148  
Иванова Н. И. – 175, 183  
Иванова Т. В. – 62  
Икконен Е. Н. – 176  
Имаев Р. Г. – 126  
Иметхенова О. В. – 94  
Имидоева Н. А. – 160  
Иноземцев К. О. – 105



Исламов Б. Р. – 205  
Исламова Н. А. – 177  
Исмагилов К. Р. – 83  
Исупова А. А. – 178  
Ищенко А. А. – 21

## К

Казакова Е. А. – 57, 161  
Казановский С. Г. – 111  
Казанцева В. В. – 39  
Казнина Н. М. – 71, 79, 198  
Калабина А. А. – 103  
Калацкая Ж. Н. – 167  
Калашникова Е. А. – 168, 181  
Калашникова Т. В. – 40  
Калугина О. В. – 93  
Капустина И. С. – 31, 49, 67  
Карасева О. С. – 164  
Каргаполова К. Ю. – 146  
Каримов И. К. – 83  
Карсанаев С. В. – 97  
Касторнов А. А. – 179  
Катышев А. И. – 23, 68, 180  
Катышева Н. Б. – 180, 197, 201  
Кашеварова Н. М. – 41  
Каюмов А. Р. – 126, 164  
Кем К. Р. – 42  
Кербер Е. В. – 89  
Киракосян Р. Н. – 168  
Киргизова И. В. – 181  
Кириченко К. А. – 187  
Кириченко К. А. – 87  
Киселёв К. В. – 117, 124, 139, 153, 155  
Китаева А. Б. – 127, 145  
Клыкков А. Г. – 39  
Ковалева О. Н. – 150  
Кожевникова А. Д. – 62, 63  
Козлова А. С. – 128  
Колмогоров Ю. П. – 154  
Коновалов С. Н. – 182  
Кононенко Г. П. – 129  
Константинов Д. К. – 52, 195  
Копанина А. В. – 110  
Копытина Т. В. – 43  
Корзина Н. В. – 175, 183  
Король М. Ю. – 44, 157, 161  
Коротаева Н. Е. – 184  
Коротаева Н. Е. – 23  
Корсукова А. В. – 30, 54, 187  
Костикова В. А. – 94

Кривенко Д. А. – 121  
Крупович Е. С. – 154  
Круговский К. В. – 102  
Крылова П. С. – 112  
Кузнецова В. Е. – 130  
Кукушкина Т. А. – 94  
Кулакова Н. В. – 95  
Куликов А. А. – 146  
Кулинченко М. В. – 58  
Кулуев А. Р. – 45  
Кулуев Б. Р. – 20, 26, 36, 45, 81, 83, 158, 165, 192  
Купряшина М. А. – 185  
Куркиев К. У. – 159  
Куркина М. В. – 131  
Курносова Т. Л. – 50  
Кусакин П. Г. – 145  
Кучарова Е. В. – 202

## Л

Ламан Н. А. – 42, 167  
Ланцова Н. В. – 200  
Ларина Г. Е. – 100  
Ларионов В. В. – 96  
Ласточкина О. В. – 83, 144  
Лебединский М. И. – 150  
Лезжов А. А. – 66  
Лексин И. Ю. – 58  
Лесникова-Седошенко Н. П. – 183  
Леусенко П. А. – 163  
Литовка Ю. А. – 136  
Лобакова Е. С. – 65, 162  
Лободина Е. В. – 69  
Ломоватская Л. А. – 46, 132  
Лось Д. А. – 163  
Лукьянов А. А. – 65, 186  
Луцкий Е. О. – 69  
Любушкина И. В. – 30, 54, 187

## М

Маградзе Е. И. – 188  
Мазина А. Б. – 58  
Макаревич П. Р. – 96  
Макаренко Е. С. – 161  
Макаров С. С. – 132  
Макарова Л. Е. – 21, 132  
Максимов А. П. – 97  
Максимов Т. Х. – 97  
Малева М. Г. – 47, 133  
Малов Д. Н. – 176  
Мальгина Е. В. – 160, 203  
Мандрик-Литвинкович М. Н. – 167

Маракаев О. А. – 119  
Маркелова А. Г. – 163  
Маркелова М. И. – 126  
Маркова О. В. – 48, 134, 149  
Маркова Ю. А. – 121, 138  
Масенцова И. В. – 103  
Масленникова В. С. – 128, 135  
Матвеева Е. А. – 130  
Матюнина В. Д. – 48, 149  
Мачкаева Е. М. – 88  
Минибаева Ф. В. – 25, 58  
Минич А. С. – 189  
Минич И. Б. – 189  
Минкина Ю. В. – 190  
Мирошникова К. А. – 136  
Мирская Г. В. – 137  
Митина Л. В. – 118  
Михайлова Е. В. – 45  
Михайлова Т. А. – 93, 98  
Мишко А. Е. – 69  
Мокшина Н. Е. – 38  
Монир Я. М. – 164  
Моргунова М. М. – 160  
Мориц А. С. – 138  
Морозова П. Д. – 193  
Морозова Т. И. – 99  
Музалевская О. В. – 59  
Музыка Н. Г. – 61  
Мурзина С. А. – 191  
Мусин Х. Г. – 20, 45, 81, 158, 192  
Мухтарова Л. Ш. – 29  
Мясникова В. С. – 204

## Н

Некляев С. Э. – 100  
Нелюбина П. Е. – 101, 106  
Нестерова Е. Ю. – 193  
Нечаева Т. Л. – 174  
Никерова К. М. – 176  
Никитина Е. В. – 164  
Николаева Н. Н. – 176  
Нитяговский Н. Н. – 117, 124, 139, 153, 155  
Новаковская И. В. – 170  
Новикова С. В. – 102  
Нурминская Ю. В. – 194  
Нурминский В. Н. – 49

## О

Овсиенко О. Л. – 140  
Огородникова А. В. – 29, 73  
Озолина Н. В. – 31, 49, 67

Октябрьский О. Н. – 40, 70  
Олейник А. А. – 96  
Орешкова Н. В. – 102  
Орина А. С. – 141  
Орлова С. Ю. – 169  
Осипова Л. В. – 50  
Осипова С. В. – 52, 59, 68, 195  
Осколков В. А. – 90  
Охлопкова Ж. М. – 156, 202

## П

Павличенко В. В. – 101, 106, 196  
Павлов И. Н. – 136  
Павловская Н. Е. – 51  
Палаева Д. О. – 159  
Парфирова О. И. – 73, 142  
Паршуков В. С. – 170  
Пахарькова Н. В. – 103  
Перк А. А. – 72  
Пермяков А. В. – 52, 59, 195  
Пермякова М. Д. – 195  
Пермякова М. Д. – 52  
Перфильева А. И. – 143  
Петров Р. Е. – 97  
Петров С. А. – 179  
Петрова А. А. – 193  
Петрова И. Г. – 21  
Петрова О. Е. – 73, 142  
Петрушин И. С. – 121, 138  
Пищик В. Н. – 137  
Пищимко О. И. – 104  
Платова Н. Г. – 105  
Плотников А. А. – 18, 19, 53, 83  
Побежимова Т. П. – 30, 54, 187  
Погорелов Д. И. – 55  
Подлуцкий М. С. – 22, 57, 112  
Позднякова Е. Е. – 103  
Позднякова Н. Н. – 146  
Поливанова О. Б. – 166  
Полякова Е. А. – 23, 30, 54, 56  
Полякова М. С. – 187  
Поморцев А. В. – 52, 180, 187, 197, 201  
Пономарев А. Г. – 72  
Пономарева Е. Г. – 185  
[Попов В. Н.] – 55, 193  
Посёлкина А. О. – 173  
Празян А. А. – 44, 57, 82, 157  
Протопопова М. В. – 101, 106, 196  
Пусенкова Л. И. – 120, 144  
Пустовойтов К. – 176

Пшеничникова Т. А. – 52, 195

## Р

Рамеев Т. В. – 147

Рахматуллина Д. Ф. – 25

Рекославская Н. И. – 194

Ренкова А. Г. – 58

Репкина Н. С. – 191, 198

Решетова С. А. – 89

Романова И. М. – 107

Рудиковская Е. Г. – 52, 68, 195

Рудиковский А. В. – 59, 68

## С

Савчин Д. В. – 23

Саломийн К. – 60

Самойлова З. Ю. – 61

Саратовских Е. А. – 199

Сафина И. И. – 18, 19, 53, 83

Селях И. О. – 65

Семенова Л. Р. – 65

Семёнова Н. В. – 108

Семенова О. В. – 125

Семериков В. Л. – 102

Серая Л. Г. – 100

Серегин И. В. – 62, 63

Серова Т. А. – 145

Сетин В. Н. – 176

Сибелев О. С. – 176

Сидоренко А. Д. – 75

Сидоров А. В. – 119

Сидоров Р. Ю. – 64

Сизых А. П. – 90

Синенко О. С. – 47

Синетова М. А. – 163

Скрипальщикова Л. Н. – 92, 109

Скрыбькина С. Р. – 30

Смирнова Г. В. – 40, 61, 70, 74

Смирнова Е. О. – 73, 200

Собенни А. В. – 47

Содикзода М. С. – 84

Соколова Л. Г. – 180, 197, 201

Соловченко А. Е. – 65, 162, 186

Соловьев А. Г. – 66

Спиридонова Е. В. – 31, 49, 67

Ставицкая З. О. – 68

Стасова В. В. – 109

Степанов А. В. – 30

Столбиков А. С. – 194

Стом Д. И. – 173

Струнникова О. К. – 150

Субботин А. М. – 179

Сундырева М. А. – 69

Супрун А. Р. – 117, 124, 139, 153, 155

Сутормина Л. В. – 70

Схат Х. – 62, 63

Сырова Д. С. – 150

Сыромятников М. Ю. – 193

## Т

Табанюхов К. А. – 128

Тальских А. И. – 110

Таскина К. Б. – 71

Татарина Т. Д. – 72

Тельнова Т. Ю. – 160

Терентьева С. Г. – 202

Тетерюк Л. В. – 176

Тимергалин М. Д. – 147

Тимофеев М. А. – 87

Тихонова О. А. – 169

Тишин Д. В. – 126

Ткаченко А. Г. – 41, 64, 78, 80

Ткаченко О. В. – 146

Толочек Р. В. – 105

Топоркова Я. Ю. – 29, 73, 200

Третьякова А. В. – 203

Трипти – 133

Трифорова Т. В. – 25

Трофименко В. Р. – 119

Трофимова Е. Г. – 154

Трубин И. И. – 141

Тугбаева А. С. – 133

Тушикова Г. С. – 111

Тюленев А. В. – 74

Тяжкин А. В. – 75

## У

Уваева В. Л. – 25

Уколова И. В. – 76

Урбанович О. Ю. – 23

Ушаков В. Ю. – 74

## Ф

Фархутдинов Р. Г. – 123

Федоров А. А. – 176

Федорова Е. А. – 50

Федосеева И. В. – 23, 68

Федотова О. А. – 56

Федяев В. В. – 192

Федяева А. В. – 23

Феохтистова А. В. – 147

Фесенко А. Н. – 39

Филинова Н. В. – 204

Финичева А. А. – 189

Фролов М. – 205

**Х**

- Хабибрахманова В. Р. – 25, 58  
Халилуев М. Р. – 206  
Хамидов Х. Н. – 77  
Хамрабаева З. М. – 84  
Ханова А. С. – 44, 112, 157, 161  
Хаова Е. А. – 41, 78  
Хасанова Г. Р. – 113  
Холощева Е. С. – 79  
Хомяков Ю. В. – 137

**Ц**

- Цивилева О. М. – 208  
Цыганов В. Е. – 127, 145  
Цыганов И. В. – 80  
Цюпка В. А. – 175

**Ч**

- Чаженгина С. Ю. – 176  
Чайковская Л. А. – 140  
Челомбит С. В. – 183, 207  
Чернова А. С. – 185  
Чернова В. С. – 148  
Чеснаков Д. А. – 98  
Чеснокова А. Н. – 173  
Четвериков С. П. – 147  
Чивкунова О. Б. – 65, 162, 186  
Чистоедова А. В. – 48, 149  
Чувашов А. В. – 176  
Чукина Н. В. – 33, 133  
Чурсина Н. Л. – 189

**Ш**

- Шабанова Е. В. – 114  
Шакирзянов А. Х. – 83  
Шалдаева Т. М. – 94  
Шапошников А. И. – 150  
Шаров В. В. – 102  
Шатерников А. Н. – 208  
Шахназарова В. Ю.,  
Швец Д. Ю. – 81  
Швецова Н. А. – 101  
Шевелева И. С. – 209  
Шелковникова В. Н. – 160  
Шергина О. В. – 98, 111  
Шестерикова Е. М. – 22, 57, 82, 112

- Шибзухова К. А. – 65, 162  
Шигарова А. М. – 23  
Шишлова-Соколовская А. М. – 23  
Шмаков В. Н. – 184  
Шпатов Т. В. – 128  
Шпирная И. А. – 149  
Штамм Е. В. – 199  
Штерншис М. В. – 128  
Шульга Е. Ю. – 205  
Шуршаков В. А. – 105  
Щербаков П. Н. – 65, 186  
Щербакова Н. В. – 163  
Щукина Л. В. – 195  
Эргашев А. – 60  
Юданова С. С. – 115  
Юлдашев Р. А. – 18, 19, 53, 83  
Юлдошев Х. – 77

**Я**

- Якубова М. М. – 77, 84  
Ямалов С. М. – 113  
Яруллина Д. Р. – 164

**А**

- Atroshchenko Yu. M. – 211

**С**

- Ciorchina N. – 210

**G**

- Gertsen M. M. – 211  
Ghereg M. – 210

**К**

- Krutovsky K. V. – 85

**М**

- Mukhtorov L. G. – 211

**Р**

- Perelomov L. V. – 211

**R**

- Rekoslavskaya N. I. – 212

**S**

- Sizova O. I. – 211  
Stolbikov A. S. – 212

**T**

- Tabara M. – 210  
Tretyakova A. V. – 211

**Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ специализируется на поставках в РФ и страны СНГ оборудования для изучения растений и среды их обитания.**

**Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ поставяет оборудование для ботаники и физиологии растений, для изучения фотосинтеза и респирации, для теплиц и агротехники, для селекции и фенотипирования, а также для мониторинга параметров окружающей среды и многое другое!**

**В ассортименте компании ЛАБИНСТРУМЕНТЫ:**

- ✓ Системы измерения газообмена растений и почв  
CID Bio-Science, PP Systems, Walz, LI-COR
- ✓ Флуориметры для измерения флуоресценции хлорофилла  
Walz, Hansatech, PSI, LI-COR
- ✓ Приборы для измерения респирации кислорода  
Hansatech, Qubit Systems
- ✓ Анализаторы площади листьев и листового индекса  
CID Bio-Science, LI-COR, PSI
- ✓ Анализаторы морфологических параметров растений  
CID Bio-Science, Dynamax, Regent Instruments
- ✓ Анализаторы устьичной проводимости (порометры)  
Dynamax, LI-COR
- ✓ Анализаторы вегетационных индексов  
CID Bio-Science, Apogee, PSI
- ✓ Анализаторы уровня содержания хлорофилла  
Apogee, FT Green LLC, Hansatech
- ✓ Анализаторы водного стресса растений  
PMS Instrument
- ✓ Анализаторы качества плодов  
Felix Instrument
- ✓ Датчики освещенности и регистраторы сигнала к ним  
Apogee, Hukseflux, Walz, LI-COR
- ✓ И многое другое!



Компания **ЛАБИНСТРУМЕНТЫ** представляет в РФ и странах СНГ всех ведущих производителей научного оборудования для изучения растений из США и Европы:

 <b>WALZ</b> (Германия) <a href="http://www.walz.com">www.walz.com</a>	 <b>PP SYSTEMS</b> (США) <a href="http://www.ppsystems.com">www.ppsystems.com</a>
 <b>CID BIO-SCIENCE</b> (США) <a href="http://www.cid-inc.com">www.cid-inc.com</a>	 <b>FELIX INSTRUMENTS</b> (США) <a href="http://www.felixinstruments.com">www.felixinstruments.com</a>
 <b>PMS INSTRUMENT</b> (США) <a href="http://www.pmsinstrument.com">www.pmsinstrument.com</a>	 <b>FT GREEN LLC</b> (США) <a href="http://www.atleaf.com">www.atleaf.com</a>
 <b>STEVENS WATER</b> (США) <a href="http://www.stevenswater.com">www.stevenswater.com</a>	 <b>APOGEE INSTRUMENTS</b> (США) <a href="http://www.apogeeinstruments.com">www.apogeeinstruments.com</a>
 <b>HUKSEFLUX</b> (Голландия) <a href="http://www.hukseflux.com">www.hukseflux.com</a>	 <b>DYNAMAX</b> (США) <a href="http://www.dynamax.com">www.dynamax.com</a>
 <b>LI-COR</b> (США) <a href="http://www.licor.com">www.licor.com</a>	 <b>HANSATECH</b> (Великобритания) <a href="http://www.hansatech-instruments.com">www.hansatech-instruments.com</a>
 <b>PHOTON SYSTEMS (PSI)</b> (Чехия) <a href="http://www.psi.cz">www.psi.cz</a>	 <b>QUBIT SYSTEMS</b> (Канада) <a href="http://www.qubitsystems.com">www.qubitsystems.com</a>
 <b>REGENT INSTRUMENTS</b> (Канада) <a href="http://www.regentinstruments.com">www.regentinstruments.com</a>	 <b>APOLLO SCITECH</b> (США) <a href="http://www.apolloscitech.com">www.apolloscitech.com</a>



Компания Хеликон обеспечивает полный рабочий процесс необходимым оборудованием и расходными материалами для молекулярной и клеточной биологии и прикладных исследований.

## ЛУЧШИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИИ



ООО «Компания Хеликон» поставляет передовые решения ведущих мировых брендов и производит лабораторное оборудование для молекулярной биологии. Подробнее на сайте [www.helicon.ru](http://www.helicon.ru)



ДОСТАВКА



ОБУЧЕНИЕ



СЕРВИСНОЕ  
ОБСЛУЖИВАНИЕ



МЕТОДИЧЕСКАЯ  
ПОДДЕРЖКА



Единый телефон  
**8 800 770 71 21**  
бесплатный звонок по России



121374, г. Москва  
Кутузовский проспект, д. 88

[helicon.ru](http://helicon.ru)

ООО «Компания Хеликон» — один из ведущих российских поставщиков лабораторного оборудования, реагентов и расходных материалов с 1997 года.

Компания оказывает комплекс услуг и сопровождает Клиентов на всех этапах — помогает в проектировании лабораторий, подбирает и доставляет необходимую продукцию, проводит пуско-наладку оборудования, обучает персонал на местах, обеспечивает квалифицированное сервисное обслуживание.

Каталог товаров включает 20 000+ наименований продукции более чем 60 производителей. Развитая логистическая и складская сеть позволяет доставлять товар в кратчайшие сроки.

Направления деятельности:

- Молекулярная и клеточная биология.
- Ветеринария.
- Пищевая безопасность.
- Агрогеномика.
- Клиническая диагностика.
- Биоиндустрия.
- Криминалистика.

Для своих ключевых клиентов Компания предоставляет возможность тестирования продукции до принятия решения о покупке.

«Компания Хеликон» также имеет собственную производственную базу и выпускает лабораторное оборудование, расходные материалы и мебель под торговой маркой Helicon.

Региональные представительства Компании находятся в Санкт-Петербурге, Новосибирске, Казани, Ростове-на-Дону, Владивостоке и Екатеринбурге.

Контакты:

Адрес: 121374, Москва, Кутузовский проспект, д. 88

Телефон: 8 800 770 71 21 (звонки для абонентов на территории РФ бесплатны)

E-mail: [mail@helicon.ru](mailto:mail@helicon.ru)

Сайт: [www.helicon.ru](http://www.helicon.ru)





**Диаэм** 35 лет прочно занимает лидирующие позиции на российском рынке как крупнейший поставщик лабораторного оборудования, каталог которого насчитывает более 500 тыс. товарных позиций. **Диаэм** поставляет оборудование, реагенты и расходные материалы под различные задачи, в том чис-

ле и для работы с растениями.

### **Масс-спектрометр для обнаружения и идентификации патогенов растений**

#### **MALDI-TOF CMI-1600, Nexin Instrument, Китай**

MALDI-TOF является подходящим вариантом для идентификации микроорганизмов при первичном скрининге и группировке большого количества изолятов и характеризуется:

- высокой скоростью идентификации до вида;
- точностью определения;
- низкими эксплуатационными и временными расходами;
- высокой производительностью;
- низкой ценой анализа.



### **Проточная цитометрия – быстрый и надежный метод для определения плоидности растений**

Проточная цитометрия позволяет сравнивать растения с разным размером генома, а также определять абсолютное содержание ДНК, используя контрольные образцы.

Для решения этой задачи мы предлагаем [проточный цитометр 7S китайского производителя BioSino](#).

На сайте [www.dia-m.ru](http://www.dia-m.ru) также представлены основные красители для определения плоидности – пропидий йодид, ДАПИ/DAPI, Hoechst 33258.

#### **Агар для микроклонального размножения растений Plant, Диаэм**

Натуральный полисахарид, получаемый из красных водорослей (Rodophyta). Химически представляет собой сложный полимер, состоящий из агарозы и агаропектина. Является стабильной матрицей для экстракорпорального микро размножения растений, культуры клеток и тканей. Доступен в разных фасовках: 500г, 5 и 25 кг.



#### **Выделение, очистка ДНК, РНК, гликопротеинов**

[Наборы серии diaGene](#) для выделения ДНК на колонках и магнитных частицах предназначены для выделения ДНК из зеленых частей растений и цветков. Параллельно с геномной ДНК растения происходит выделение геномной бактериальной и вирусной ДНК, что может использоваться для оценки инфицированности растения.



Помимо наборов для выделения серия [diaGene](#) включает:

- Магнитные частицы
- Реагенты для молекулярного клонирования, модификации нуклеиновых кислот
- Реагенты для обратной транскрипции
- Агарозу для электрофореза нуклеиновых кислот



## Набор для проведения прямой ПЦР для растений без предварительного выделения ДНК, Plant Direct PCR, Vazyme, Китай

Может использоваться для высокопроизводительного скрининга растительных образцов, не содержащих полисахариды и полифенолы.

- В наборе применяется специально разработанная ДНК-полимераза, устойчивая к растительным ингибиторам ПЦР, способная синтезировать фрагменты ДНК длиной до 5 т.п.н.

## **Климатические камеры для выращивания растений в искусственно создаваемых условиях**

Климатические камеры – оборудование, которое моделирует и поддерживает климатические параметры, такие как температура, влажность, освещенность, на одном уровне в течение заданного времени.

На сайте [www.dia-m.ru](http://www.dia-m.ru) вы найдете широкий модельный ряд климатических камер от компании Binder:

- внутренний размер от 102 до 1020 л
- температурный диапазон от -10 до +100 °С
- Регулируемый режим относительной влажности от 10 до 98%
- Наличие моделей с внутренним освещением камер.



## **Пробоподготовка – быстрая и полная гомогенизации и лизис сложных образцов**

Большая часть растений – это сложные образцы для измельчения и лизиса, такие как корни, семена, хвоя. Гомогенизаторы **FastPrep** настольного и портативного исполнения хорошо справятся с этой проблемой и одновременно позволяют обрабатывать от 2 до 192 образцов

- Гомогенизатор ультразвуковой, 950 Вт, Scientz-1200E является незаменимым и универсальным прибором для гомогенизации образцов, лизиса клеток растений и экстракции белка из них.
- Гомогенизатор механический для работы с матриксами FastPrep-24 Уникальная высокоэффективная система **FastPrep** для гомогенизации и лизиса образцов любой твердости, включая семена растений. Процесс выделения образцов занимает не более 2 минут, включая центрифугирование.



**000 «Диаэм»**

Москва

ул. Магаданская, д.7, к.3 ■ тел./факс: (495) 745-0508 ■ sales@dia-m.ru

[www.dia-m.ru](http://www.dia-m.ru)

С.-Петербург  
+7 (812) 372-6040  
spb@dia-m.ru

Новосибирск  
+7 (383) 328-0048  
nsk@dia-m.ru

Воронеж  
+7 (473) 232-4412  
vnn@dia-m.ru

Йошкар-Ола  
+7 (927) 880-3676  
nba@dia-m.ru

Красноярск  
+7 (923) 303-0152  
knsk@dia-m.ru

Казань  
+7 (843) 210-2080  
kazan@dia-m.ru

Ростов-на-Дону  
+7 (863) 303-5500  
rnd@dia-m.ru

Екатеринбург  
+7 (912) 658-7606  
ekb@dia-m.ru

Кемерово  
+7 (923) 158-6753  
kemerovo@dia-m.ru

Армения  
+7 (094) 01-0173  
armenia@dia-m.ru





**СИБЛАБСЕРВИС**  
оснащение лабораторий

**DLAB**

DLAB Scientific Inc.

**АКЦИЯ: ЗНАКОМСТВО С НОВЫМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕМ  
СКИДКА 10% НА ВСЮ ЛИНЕЙКУ ОБОРУДОВАНИЯ DLAB**



**МИКРОЦЕНТРИФУГИ**



**ДОЗАТОРЫ МЕХАНИЧЕСКИЕ**



**ВОРТЕКСЫ**



**ТЕРМОШЕЙКЕРЫ**



**МЕШАЛКИ МАГНИТНЫЕ**



Лабораторное  
оборудование



Лабораторный  
инвентарь



Лабораторный  
пластик



Продукция для  
ПЦР и секвенирования



Питательные среды  
и диагностикумы



Химические  
реактивы



г. Иркутск, Фаворского, 1Г  
664033, г. Иркутск, а/я 113



+ 7 (3952) 78-25-78  
+ 7 (3952) 78-25-79



[www.siblabservice.ru](http://www.siblabservice.ru)  
[www.siblabpribor.ru](http://www.siblabpribor.ru)



[info@sls-irk.ru](mailto:info@sls-irk.ru)  
[sale@siblabservice.ru](mailto:sale@siblabservice.ru)



## АМПЛИФИКАТОРЫ СО СКЛАДА В МОСКВЕ



### QuantGene™ 9600

#### ДНК-амплификатор в «реальном времени»

Основан на превосходном качестве семейства амплификаторов LineGene с запатентованной технологией термоэлектрического охлаждения, источником света и дизайном оптической системы.

- 6 каналов флуоресценции;
- автоматическая загрузка;
- совместим со стрипами, пробирками и планшетами;
- термоблок от известного производителя!

### GeneExplorer™

Компактный амплификатор для классической ПЦР от компании Bioer. Благодаря широкому выбору термоблоков он отлично подойдет для решения рутинных задач в лабораториях различного профиля.

**Доступные конфигурации термоблоков:** 96 x 0,2 мл, 96 x 0,1 мл, 96 x 0,2 мл (6 температурных зон), 384 x 0,02 мл, 4 предметных стекла, 2 блока по 48 x 0,2 мл, 2 блока по 48 x 0,2 мл (градиент), 2 блока (3 температурных зоны/блок) по 48 x 0,2 мл.

**Управление** включает 8-дюймовый сенсорный экран, удобный дизайн пользовательского интерфейса и современный встроенный центральный процессор делает вашу работу простой и быстрой.

**Термоблок** с модифицированными элементами Пельтье обеспечивает исключительные характеристики точности, равномерности и скорости изменения температуры. Для ускоренной оптимизации условий реакции большинство моделей имеют функцию температурного градиента или независимые температурные зоны в термоблоке.

**Мобильное приложение** и возможность подключения к Wi-Fi позволят удаленно следить за статусом ПЦР.



### GenePure™ Pro

#### Станция для выделения нуклеиновых кислот

Автоматизированные станции GenePure™ Pro используются для выделения НК с помощью магнитных частиц. Станция обладает умеренной пропускной способностью в 32 образца за один запуск.

- Возможность использования протоколов выделения и очистки в объемах от 20 мкл до 1 мл;
- Встроенный термоблок до + 120 °С с точностью поддержания температуры  $\pm 1$  °С;
- Наличие встроенной УФ-лампы;
- Рекомендуемый диаметр магнитных частиц, мкм – от 0,2 до 1,0;
- Совместимые расходные материалы – глубоководный планшет на 96 лунок, гребенка для 8 магнитных стержней;
- Наличие USB разъема;
- Размеры станции (Д × Ш × В), мм – 430 × 395 × 435;
- Вес станции, кг – 32,5.

129327, Россия, Москва, ул. Ленская, д. 2/21

Тел.: 8 800 777 8579 E-mail: [biomol@rmedtorg.ru](mailto:biomol@rmedtorg.ru), [nsk@rmedtorg.ru](mailto:nsk@rmedtorg.ru)

Стильная новинка от немецкого  
производителя IKA-Werke GmbH & Co. KG!

**РУСМЕДТОРГ**

**IKA®**

## Универсальные автоклавируемые одноканальные дозаторы переменного объема IKA PETTE VARIO

Цена производителя на дозаторы переменного объема серии VARIO – 232 €.

**Цена РУСМЕДТОРГ со склада в Москве всего 130 €\*!**

\* Цена указана без учета стоимости поверки. Стоимость поверки 1980 руб. (электронный сертификат в базе Аршин).

Дозаторы IKA PETTE VARIO и IKA PETTE FIX внесены в Госреестр средств измерений.



### УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ДОЗАТОРЫ IKA PETTE VARIO / FIX

Эргономичный дизайн сочетается с беспроигрышной точностью работы. Пипетки IKA – ударопрочные, стойкие к УФ и химическим веществам, гарантируют долговечную работу и обеспечивают надежное дозирование. Цветовое кодирование упрощает быстрый выбор необходимого дозатора. Пипетки IKA PETTE VARIO и FIX **полностью автоклавируемые**, что обеспечивает простую стерилизацию. Это гарантирует безотказную, точную и безопасную эксплуатацию.

#### Эргономичный дизайн

Пипетки IKA поставляются со сменными рукоятками различной формы и изготовленными из различных материалов. Благодаря этому они удобно размещаются в ладони. Для дозирования с помощью эргономичной рукоятки требуются минимальные усилия. С помощью многофункционального регулятора с фиксацией возможна настройка объема одной рукой. Кроме того, наконечник пипетки можно легко снять независимо от положения руки, в то время как регулировка объема надежно зафиксирована.



#### Большой дисплей

На дисплее четкими символами отображается установленный объем. Углубленное положение также позволяет видеть значения на дисплее во время дозирования, без изменения положения руки.

#### Прочная конструкция

Наконечник и поршень покрыты высококачественным алмазоподобным углеродом (DLC). Дизайн функциональный и минималистичный. Эта комбинация гарантирует надежность ежедневных дозирования в течение длительного времени.

#### Удобная калибровка

Удобное в использовании программное обеспечение IKA, применяемое для планирования, выполнения и регистрации калибровочных испытаний для пипеток PETTE VARIO и FIX.

PETTE VARIO	ИДЕНТ. №	МАКС. ОБЪЕМ НАКОНЕЧНИКА
1 0.1–2 µl	0020011210	10 µl
2 0.5–10 µl	0020011211	10 µl
3 2–20 µl	0020011213	200 µl
4 10–100 µl	0020011214	200 µl
5 20–200 µl	0020011215	200 µl
6 100–1000 µl	0020011216	1000 µl
7 0.5–5 ml	0020011217	5 ml
8 1–10 ml	0020011218	10 ml

У нас вы можете приобрести любую  
продукцию IKA из наличия и на заказ.

г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 6/1, комната 1007  
Тел.: +7-966-372-55-03 E-mail:nsk@medtorg.ru, lab1@medtorg.ru

*Научное издание*

# **УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ**

Тезисы докладов  
VI Всероссийской научной конференции  
с международным участием  
Иркутск, Большое Голоустное 3 – 7 июля 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2170-4

***Материалы публикуются в авторской редакции***  
*Дизайн обложки О. В. Шергина, фото Н. В. Дорофеева*

Подписано к использованию 29.06.2023  
Уч.-изд. л. 16,3

СИФИБР СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИГУ  
664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124  
тел. +7(3952) 52-18-53  
e-mail: izdat@lawinstitut.ru