



БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЛЕСА НАН БЕЛАРУСИ



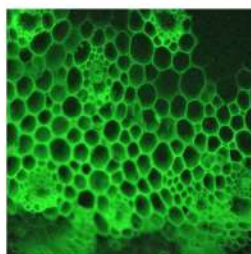
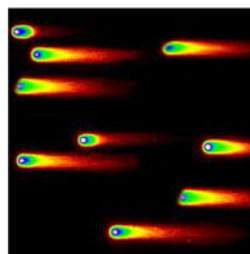
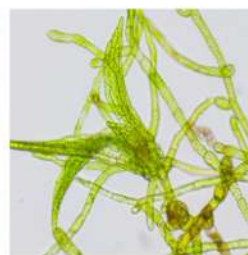
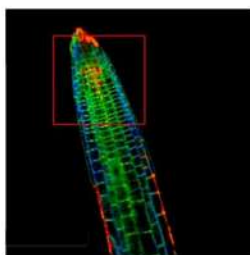
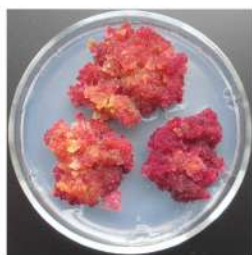
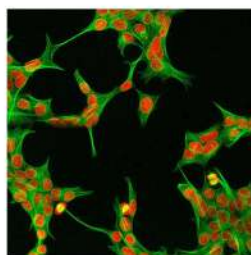
Тезисы докладов
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Минск, Беларусь, 24-27 мая 2022 г.

Школа молодых ученых
«Биология растительной
клетки: от теории к практике»
www.conf.bsu.by/pcbb2022_ru

24-27 May, 2022, Minsk, Belarus
Third International Conference:
Plant Cell Biology and Biotechnology
School for Young Scientists:
Biology of Plant Cell: from Theory to Practice



БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ИНСТИТУТ ЛЕСА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Тезисы докладов
III Международной
научно-практической конференции

Республика Беларусь
Минск, 24–27 мая 2022 г.

МИНСК
БГУ
2022

УДК 581.17(06)+604.6:58(06)

ББК 28.54.я43+30.16.я43

К48

Редакционная коллегия:
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук *В. В. Демидчик* (гл. ред.);
кандидат биологических наук, доцент *И. И. Смолич*;
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук *В. Е. Падутов*;
А. Ю. Шашко

Рецензенты:
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук *Л. Ф. Кабашиникова*;
доктор биологических наук, профессор *С. С. Медведев*;
кандидат биологических наук *Н. Л. Пишбытко*

Клеточная биология и биотехнология растений : тез. докл. III Меж-
К48 дунар. науч.-практ. конф., Респ. Беларусь, Минск, 24–27 мая 2022 г. /
Белорус. гос. ун-т, Ин-т леса НАН Беларуси ; редкол.: В. В. Демидчик
(гл. ред) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – 115 с.
ISBN 978-985-881-275-1.

Представлены современные научные направления клеточной биологии растений: биохимические процессы и макромолекулярные структуры клетки; фотосинтез и биоэнергетика; организация и функционирование цитоскелета и органелл; транспорт веществ, рецепция и сигнальная трансдукция; рост и дифференцировка клеток и тканей, фитогормональная регуляция; стресс и адаптация; программированная клеточная гибель и автофагия; молекулярные детерминанты продуктивности высших растений и водорослей; биотестирование и биосенсоры; геномика, протеомика, метаболомика, феномика и другие омиксные направления; системная биология и биоинформатика; инновационные агро- и биотехнологии; лесная биотехнология; культуры клеток, технологии *in vitro* и микрклональное размножение растений; биоинженерия растений, трансгенные и постгеномные технологии; получение биотоплива и лекарств, переработка растительного сырья; пищевые биотехнологии на основе растительного сырья; образование в области клеточной биологии и биотехнологии.

УДК 581.17(06)+604.6:58(06)

ББК 28.54.я43+30.16.я43

ISBN 978-985-881-275-1

© БГУ, 2022

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели:

Демидчик Вадим Викторович (член-корр. НАН Беларуси, д.б.н., декан биологического факультета БГУ)

Падутов Владимир Евгеньевич (член-корр. НАН Беларуси, д.б.н., зав. отделом Института леса НАН Беларуси)

Председатель технического комитета:

Смолич Игорь Иванович (доцент, биологический факультет БГУ)

Заместитель председателя технического комитета:

Шашко Антонина Юрьевна (младший научный сотрудник, биологический факультет БГУ)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Баранов Олег Юрьевич (член-корр. НАН Беларуси, зав. лаб. Института леса НАН Беларуси, Беларусь)

Волотовский Игорь Дмитриевич (академик НАН Беларуси, гл.н.с. Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Беларусь)

Кабашникова Людмила Федоровна (член-корр. НАН Беларуси, зав. лаб. Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Беларусь)

Кильчевский Александр Владимирович (академик НАН Беларуси, заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, Беларусь)

Ламан Николай Афанасьевич (академик НАН Беларуси, зав. лаб. Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Беларусь)

Прохоров Валерий Николаевич (член-корр. НАН Беларуси, гл.н.с. Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Беларусь)

Пшибытко Наталья Ленгиновна (к.б.н., зам. декана по научной работе биологического факультета БГУ, Беларусь)

Решетников Владимир Николаевич (академик НАН Беларуси, зав. отделом Центрального ботанического сада НАН Беларуси, Беларусь)

Соколик Анатолий Иосифович (к.б.н., зав. лаб. биологического факультета БГУ, Беларусь)

Титок Владимир Владимирович (член-корр. НАН Беларуси, гл.н.с. Центрального ботанического сада НАН Беларуси, Беларусь)

Урбанович Оксана Юрьевна (д.б.н., зав. лаб. Института генетики и цитологии НАН Беларуси, Беларусь)

Хрипач Владимир Александрович (академик НАН Беларуси, зав. лаб. Института биоорганической химии НАН Беларуси, Беларусь)

Чубарова Анна Сергеевна (к.б.н., директор Лицея БГУ, Беларусь)

Шальго Николай Владимирович (член-корр. НАН Беларуси, профессор Белорусского государственного медицинского университета, Беларусь)

Шашко Юрий Константинович (д.с.-х.н., директор Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Беларусь)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОМИТЕТ

Исаенков Станислав Валентинович (д.б.н., зав. отделом Института пищевой биотехнологии и геномики НАН Украины, Украина)

Лермонтова Инна Николаевна (Ph.D, рук. группы Института генетики растений и исследований растениеводства им. Лейбница, Германия)

Медведев Сергей Семенович (д.б.н., профессор, зав. каф. Санкт-Петербургского государственного университета, Российская Федерация)

Смоликова Галина Николаевна (к.б.н., доцент Санкт-Петербургского государственного университета, Российская Федерация)

Фролов Андрей Александрович (к.б.н., доцент, заведующий центром функциональной геномики биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Российская Федерация)

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ

Бандюкевич Наталья Георгиевна (вед. лаб.),

Бондаренко Владислав Юрьевич (мл. науч. сотр.),

Ветошкин Алексей Андреевич (мл. науч. сотр.),

Гриусевич Полина Вацлавовна (мл. науч. сотр.),

Демидчик Вадим Викторович (декан),

Дитченко Татьяна Ивановна (доцент),

Звонарев Сергей Николаевич (мл. науч. сотр.),

Крытынская Елена Николаевна (доцент),

Логвина Анна Олеговна (доцент),

Мацкевич Вера Сергеевна (ассистент),

Недзьведь Ольга Валерьевна (доцент),

Пржевальская Дарья Андреевна (мл. науч. сотр.),

Реут Вероника Евгеньевна (аспирант),

Русакович Алина Андреевна (мл. науч. сотр.),

Самохина Вероника Валерьевна (ассистент),

Светлаков Владислав Игоревич (инженер-программист)

Филиппова Светлана Николаевна (доцент),

Филиппова Галина Григорьевна (доцент),

Черныш Мария Александровна (мл. науч. сотр.),

Шашко Антонина Юрьевна (мл. науч. сотр.),

Яковец Оксана Геннадьевна (доцент).

Содержание

Программа конференции	6
Информация о производителях оборудования в области клеточной биологии и биотехнологии	11
Тезисы докладов	
1. Устные доклады	16
1.1. Сессия 1.....	16
1.2. Сессия 2.....	22
1.3. Сессия 3.....	26
1.4. Сессия 4.....	30
1.5. Сессия 5.....	35
1.6. Сессия 6.....	40
1.7. Сессия 7.....	43
1.8. Сессия 8.....	47
1.9. Сессия 9.....	49
2. Онлайн-доклады	50
3. Стендовые доклады	61
4. Заочное участие	62
Именной указатель	112

Программа конференции

Все сессии конференции будут проходить в актовом зале Лицея БГУ по адресу:
ул. Ульяновская 8, Минск

24 мая (вторник) - первый день конференции	
Время	Мероприятие / докладчик / тема доклада
11.00	Регистрация участников (фойе Лицея БГУ)
13.30	Открытие конференции, приветствие
13.40	Демидчик Вадим Викторович, <i>декан биологического факультета БГУ, научный руководитель кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета БГУ</i> «100 лет кафедре клеточной биологии и биоинженерии растений БГУ: краткая историческая справка»
14.00	Поздравления от кафедр и организаций
15.00	Кофе-брейк, обсуждение стендовых докладов
Сессия 1. Руководитель сессии: Демидчик Вадим Викторович	
15.30	Решетников Владимир Николаевич, <i>Центральный ботанический сад НАН Беларуси</i> «Коллекция <i>in vitro</i> – источник сохранения и получения возобновляемого сырья редких и лекарственных растений»
16.00	Смоликова Галина Николаевна, <i>Санкт-Петербургский государственный университет</i> «Функции хлорофиллов в семенах высших растений»
16.30	Пшибытко Наталья Лёнгиновна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Роль редокс-регуляции фотосинтетического аппарата в формировании ответных реакций высших растений при гипертермии»
16.55	Демидчик Вадим Викторович, <i>Белорусский государственный университет</i> «Феномика растений: современное состояние и опыт цифрового фенотипирования модельных растений»
17.20	Орлова Анастасия Андреевна, <i>Санкт-Петербургский государственный университет</i> «Метаболомный анализ как инструмент изучения физиологических и фармацевтических свойств растительных объектов»
17.35	Каретников Дмитрий Игоревич, <i>Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН</i> «Реконструкция и анализ пангенома картофеля <i>Solanum tuberosum</i> сортов сибирской селекции»
17.50	Бондаренко Владислав Юрьевич, <i>Белорусский государственный университет</i> «Системы цифрового фенотипирования высших растений в условиях <i>in vivo</i> и <i>in vitro</i> на основе свёрточных нейронных сетей»
18.00	Выступление коммерческих участников конференции
18.30	Фуршет (1 этаж Лицея БГУ)
21.30	Завершение первого дня конференции

25 мая (среда) - второй день конференции	
Время	Мероприятие / докладчик / тема доклада
Сессия 2. Руководитель сессии: Падутов Владимир Евгеньевич	
09.00	Падутов Владимир Евгеньевич, <i>Институт леса НАН Беларуси</i> «Формирование внутри- и межвидовой изменчивости лесных древесных растений и фитопатогенных грибов»
09.25	Пашкова Анна Сергеевна, <i>Удмуртский государственный университет</i> «Ель сибирская: экологические особенности в насаждениях хвойно-широколиственных лесов Удмуртской Республики»

09.45	Кулагин Дмитрий Валерьевич, <i>Институт леса НАН Беларуси</i> «Аспекты микрклонального размножения ряда лиственных лесообразующих видов Беларуси»
10.00	Константинов Андрей Вячеславович, <i>Институт леса НАН Беларуси</i> «Оценка интенсивности органогенеза в каллусных культурах карельской березы, полученных при различных условиях освещения»
10.15	Чубарова Анна Сергеевна, <i>Лицей Белорусского государственного университета</i> «Хемосистематика – основа поиска форм лекарственных растений с высоким содержанием биологически активных веществ»
10.25	Тюрина Татьяна Михайловна, <i>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова</i> «Особенности роста и накопления тритерпеновых гликозидов в суспензионных культурах клеток <i>Panax japonicus</i> (С.А. Meyer) var. <i>repens</i> и <i>Polyscias fruticosa</i> (L.) Harms»
10.35	Лунькова Мария Константиновна, <i>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН</i> «Исследование ростовых и цитологических характеристик и дыхательной активности мутантных линий суспензионных культур клеток <i>Dioscorea deltoidea</i> Wall.»
10.45	Черныш Мария Александровна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Влияние брассиностероидов на рост и развитие протокормов <i>Phalaenopsis</i> × <i>hybridum</i> Blume, культивируемых в условиях <i>in vitro</i> »
10.55	Кофе-брейк, обсуждение стендовых докладов
Сессия 3. Руководитель сессии: Воденеев Владимир Анатольевич	
11.25	Воденеев Владимир Анатольевич, <i>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского</i> «Электрические сигналы высших растений: передача информации»
11.50	Захарова Екатерина Владимировна, <i>ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии</i> «Гормональный фактор ПКС в сигналинге механизма гаметофитной самонесовместимости РНКазного типа у петунии (<i>Petunia hybrida</i> L.)»
12.10	Гриусевич Полина Вацлавовна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Отток электролитов из клеток корня растений при стрессе: роль анионных каналов»
12.25	Дрозд Елизавета Валерьевна, <i>Институт генетики и цитологии НАН Беларуси</i> «Полиморфизм генов MYB2 <i>Solanum. Melongena</i> и AN2 <i>Solanum. Lycopersicum</i> , кодирующих R2R3MYB-активатор»
12.35	Никушин Олег Витальевич, <i>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова</i> «Влияние гистидина и глутамина на сорбционную способность клеточных стенок корней и побегов растений вики посевной (<i>Vicia sativa</i> L.)»
12.45	Самохина Вероника Валерьевна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Физиологический анализ сенсора активных форм кислорода в калиевом канале GORK»
12.55	Обед, обсуждение стендовых докладов
Сессия 4. Руководитель сессии: Демченко Кирилл Николаевич	
14.00	Демченко Кирилл Николаевич, <i>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН</i> «Корневые системы растений: пластичность ветвления и стратегии инициации бокового органа»
14.25	Емельянов Владислав Владимирович, <i>Санкт-Петербургский государственный университет</i> «Метаболические механизмы адаптации растений к дефициту кислорода»
14.45	Лазерко Надежда Владимировна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Воздействие активных форм кислорода и L-аскорбиновой кислоты на протеом корня высших растений»

14.55	Кусакин Пётр Глебович, <i>Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии</i> «Транскриптомный анализ клубеньков гороха (<i>Pisum sativum</i> L.), выращенных в условиях повышенной температуры»
15.05	Кириянов Павел Сергеевич, <i>Институт леса НАН Беларуси</i> «Молекулярно-генетическая идентификация транскрипционного фактора NAC карельской березы»
15.15	Новикова Алина Сергеевна, <i>Центральный ботанический сад НАН Беларуси</i> « <i>Rhamnus cathartica</i> как перспективный источник каротиноидов»
15.25	Шамустакимова Анастасия Олеговна, <i>Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса ФНЦ</i> «Исследование белка EsCSDP3 растения-экстремофита <i>Eutrema salsaugineum</i> (Pall.)»
15.35	Кофе-брейк, Стендовая сессия
Сессия 5. Руководитель сессии: Медведев Сергей Семенович	
16.30	Медведев Сергей Семенович, <i>Санкт-Петербургский государственный университет</i> «Механизмы переключения программы онтогенеза на этапе перехода от стадии семени к стадии проростка»
16.55	Прохоров Валерий Николаевич, <i>Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси</i> «Изучение влияния эколого-биологических особенностей роста и развития близкородственных видов растений из рода Недотрога (<i>Impatiens</i> L.) на их инвазионный потенциал»
17.15	Цыганова Анна Викторовна, <i>Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии</i> «Влияние абиотических факторов на развитие клубеньков гороха (<i>Pisum sativum</i> L.)»
17.35	Акыев Нагмат Атаджанович, <i>Белорусский государственный университет</i> «Поиск штаммов микроскопических грибов, обладающих фитостимулирующими и фитозащитными свойствами»
17.45	Звонарёв Сергей Николаевич, <i>Белорусский государственный университет</i> «Воздействие засоления на генерацию активных форм кислорода и стабильность ДНК в клетках протонемы <i>Physcomitrella patens</i> »
17.55	Каханоўскі Аляксандр Іванавіч, <i>Цэнтральны ботанічны сад НАН Беларусі</i> «Алелопатычная роля гідроксіантрахінонаў <i>Frangula alnus</i> і <i>Rhamnus cathartica</i> »
18.05	Абрамова Александра Сергеевна, <i>Московский государственный университет пищевых производств</i> «Получение протопластов подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)»
18.15	Светлаков Владислав Игоревич, <i>Белорусский государственный университет</i> «Разработка методов цифрового анализа изображений для Comet Assay растительных клеток с использованием свёрточных нейронных сетей»
18.25	Приступа Кристина Владимировна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Оценка некоторых показателей антиоксидантной системы трансгенных растений <i>Nicotiana tabacum</i> в условиях нарушения водного режима»
18:35	Завершение второго дня конференции

26 мая (четверг) - третий день конференции

Полевой выезд

27 мая (пятница) - четвертый день конференции

Время	Мероприятие / докладчик / тема доклада
Сессия 6. Руководитель сессии: Кабашникова Людмила Фёдоровна	
09.00	Шпаковский Георгий Вячеславович, <i>Курчатовский институт</i> «Молекулярная эволюция стероидных гормональных систем у <i>Plantae</i> и <i>Animalia</i> »

09.25	Феклистова Ирина Николаевна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Влияние весеннего и осеннего внесения микробного удобрения Жыцень на агрофизические показатели почвы и урожайность яровой пшеницы»
09.45	Кабашникова Людмила Федоровна, <i>Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси</i> «Влияние света на фотосинтетическую активность хлоропластов огурца <i>Cucumis sativus</i> L. при фузариозе»
10.05	Калацкая Жанна Николаевна, <i>Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси</i> «Бактерии рода <i>Bacillus</i> и сигнальные молекулы в индуцировании комплексной устойчивости растений к вирусному заражению и недостатку почвенного влагообеспечения»
10.25	Сухорукова Александра Вадимовна, <i>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН</i> «Анализ регуляции трансляции в условиях холодового стресса (на модели томата)»
10.35	Курьянчик Татьяна Геннадьевна, <i>Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси</i> «Механизмы адаптации фотосинтетического аппарата растений ячменя, обработанных 5-аминолевулиновой кислотой, к засухе»
10.45	Кофе-брейк, обсуждение стендовых докладов
Сессия 7. Руководитель сессии: Серегин Илья Владимирович	
11.30	Серегин Илья Владимирович, <i>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН</i> «Две стратегии накопления цинка у растений»
11.55	Кожевникова Анна Дмитриевна, <i>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН</i> «Влияние экзогенного гистидина на поглощение и транслокацию никеля и цинка у гипераккумулятора <i>Noccaea caerulescens</i> при отдельном и комбинированном действии металлов»
12.15	Ильина Елена Леонидовна, <i>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН</i> «Оптимизация метода трансформации гречихи посевной <i>Agrobacterium rhizogenes</i> »
12.30	Репкина Наталья Сергеевна, <i>Институт биологии Карельского научного центра РАН</i> «Реакция растений <i>Sinapsis alba</i> L. и <i>Brassica juncea</i> L. на избыток цинка в субстрате»
12.45	Мацкевич Вера Сергеевна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Анализ токсических и сигнальных реакций Ni ²⁺ , индуцируемых в корнях высших растений, и влияние на них свободного гистидина»
12.55	Петров Глеб Валерьевич, <i>Институт леса НАН Беларуси</i> «Приживаемость микроклональных растений разных видов лип на этапе адаптации»
13.05	Обед
Сессия 8. Руководитель сессии: Бабак Ольга Геннадьевна	
14.10	Бабак Ольга Геннадьевна, <i>Институт генетики и цитологии НАН Беларуси</i> «Изучение взаимосвязи генетической регуляции накопления флавоноидов и каротиноидов в зависимости от аллельного состава генов, определяющих качество плодов томата»
14.35	Степанова Анна Юрьевна, <i>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН</i> «Коллекция бородатых корней «hairy roots», как основа для фундаментальных и прикладных исследований»
14.55	Никонович Тамара Владимировна / Шестерень Павел Владимирович, <i>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия</i> «Использование метода RAPD для оценки реакции растений <i>Solanum lycopersicum</i> на светодиодное освещение различного спектрального состава»

15.15	Халилуев Марат Рушанович, <i>Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии</i> «Трансгенные растения семейства <i>Solanaceae</i> как экспериментальная модель в репродуктивной биологии покрытосеменных»
15.35	Кофе-брейк, обсуждение стендовых докладов
Сессия 9. Руководитель сессии: Цыганов Виктор Евгеньевич	
16.00	Цыганов Виктор Евгеньевич, <i>Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии</i> «Тубулиновый цитоскелет в симбиотических клубеньках Бобовых»
16.25	Николайчик Евгений Артурович, <i>Белорусский государственный университет</i> «Молекулярные коммуникации в патосистемах с участием <i>Pectobacterium spp.</i> »
16.50	Пузанский Роман Константинович, <i>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН</i> «Анализ метаболомного своеобразия красных, бурых и зеленых водорослей акватории Белого моря»
17.10	Иванов Руслан Сергеевич, <i>Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН</i> «Участие липид-транспортирующих белков (ЛТБ) и абсцизовой кислоты (АБК) в адаптации корней гороха (<i>Pisum sativum</i> L.) к засолению»
17.25	Мавлютов Юлиан Муратович, <i>Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса ФНЦ</i> «Дифференциация российских сортов фестулолиума с помощью SCoT-маркеров»
17.40	Шумилина Юлия Сергеевна, <i>Санкт-Петербургский государственный университет</i> «Экспериментальные подходы к моделированию засухи»
17.50	Куделина Татьяна Николаевна, <i>Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси</i> «Влияние LED-освещения разного спектрального состава на регуляцию ростовых и фотосинтетических процессов <i>A. thaliana</i> »
18.00	Русакович Алина Андреевна, <i>Белорусский государственный университет</i> «Разработка методики анализа качества пива и продуктов пищевой биотехнологии при помощи спектроскопии электронного парамагнитного резонанса»
18.10	Заккрытие конференции

Информация о производителях оборудования в области клеточной биологии и биотехнологии



8 017 388 48 22 | 8 029 180 69 58
info@lvs.by | www.lvs.by

Решения для исследований в области клеточной и молекулярной биологии компании «Лабораторные и весовые системы» включают оборудование китайской компании RWD:

- Диссоциатор суспензии отдельных клеток.
- Автоматический счетчик клеток.
- Набор для ферментативного расщепления тканей.
- Расходные материалы (предметные стекла + пробирка для обработки).



Диссоциатор суспензии одиночных клеток использует пробирки для обработки тканей, наборы для диссоциации тканей и встроенные программы оптимизации для приготовления высокоактивной суспензии одиночных клеток и гомогената ткани. Процесс приготовления суспензии одиночных клеток с высокой жизнеспособностью занимает 15-30 минут, что повышает воспроизводимость экспериментов. Четыре независимых рабочих канала и нагревательные рубашки позволяют автоматизировать процессы и повысить эффективность обработки ткани.

Широко используется в секвенировании ДНК одиночных клеток, сортировке флуоресцентно-активированных клеток (флуоресцентный сортинг), клеточной терапии и других областях исследований.



Автоматический счетчик клеток использует метод окрашивания трипановым синим, интеллектуальное распознавание изображений и усовершенствованную технологию оптической визуализации для точного и автоматического анализа клеток. Алгоритм способен идентифицировать как живые, так и мертвые клетки в течение 9 секунд. Также прибор позволяет получить информацию как о количестве клеток, так и их жизнеспособности и диаметре. С флуоресцентным модулем C100 одновременно анализирует каналы BF и FL, определяя количество клеток и их морфологию.

C100 – оптимальное устройство для анализа жизнеспособности клеток и эффективности трансфекции в иммунологии, при разработке вакцин, клеточной терапии, исследованиях опухолей, стволовых клетках, исследованиях метаболизма и др.

О компании.

- Работаем с 2008 года;
- Обеспечиваем поставку, установку, обучение специалистов, тех. обслуживание, калибровку, поверку, аттестацию;
- Собственная сервисная служба;
- Предоставляем необходимые лицензии, сертификаты, инструкции и др. документы.
- Общелабораторное и весовое оборудование;
- Аналитическое оборудование;
- Микробиология;
- Молекулярная биология;
- Посуда и аксессуары;
- Хим. реактивы, стандарты и эталоны;



**ЛАБОРАТОРНЫЕ
И ВЕСОВЫЕ
СИСТЕМЫ**

220131, г. Минск, 2-й пер. Кольцова, 24

8 017 388 48 22

info@lvs.by | www.lvs.by

ООО «Эмпрос»

Сотрудники компании ООО «Эмпрос» являются квалифицированными специалистами в сфере ремонта и технического обслуживания широкого спектра приборов лабораторно-аналитического назначения. Инженеры компании ежегодно проходят обучение и повышают свою квалификацию на международных тренингах ведущих производителей лабораторного оборудования, обеспечивая высокое качество его технической поддержки.



ООО «Эмпрос» обладает:

- сертификатом соответствия системы менеджмента качества предприятия применительно к сервисному обслуживанию и ремонту лабораторного и аналитического оборудования, что отвечает требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015);
- сертификатом БелГИМ о соответствии требованиям технического нормативного правового акта СТБ 8031-2007.

Профессиональный штат сотрудников позволяет быстро реагировать на каждую заявку и оперативно решать поставленные заказчиком задачи в любой точке Республики Беларусь. В случае невозможности проведения ремонта оборудования на территории заказчика все необходимые работы проводятся в сервисном центре ООО «Эмпрос» по адресу: г. Минск, ул. Маяковского, 111, пом. 303.

Ждем Ваших заявок по электронной почте: info@mce.by
и по тел.: +375 (17) 253-44-81 (тел./факс), +375 (29) 680-98-22

ООО «ТоталЛаб»

Компания ТоталЛаб является одним из ведущих поставщиков на рынок РБ общелaborаторного оборудования, микроволновых систем пробоподготовки, систем водоподготовки лабораторного назначения, ионных хроматографов, официальным дистрибьютером компаний LabTech, PreeKem, Reophile, Shine.



ООО «ТоталЛаб» предоставляет как оригинальные расходные материалы, так и их аналоги высокого качества от ведущих производителей – Agilent, MZ, Waters, XTerra, Zorbax, Symmetry, CHIRACEL, Shimadzu, PerkinElmer, LBT, Thermo, SETonic, IVA, Duratec, Sciencix и AIJIREN для хроматографии и спектрометрии и имеет подтвержденный многолетний опыт поставок.



Познакомиться с полным перечнем нашей продукцией вы можете на сайте <https://totallab.by>, а также запросив консультацию у менеджера по телефону +375 (17) 253-44-81 либо E-mail: info@totallab.by.

При необходимости наши специалисты окажут помощь в установке и сервисном обслуживании оборудования, а также проведут ремонт, установку запасных частей, диагностику лабораторного оборудования на предмет обнаружения неисправностей, определяют полный перечень необходимых для замены расходных материалов, дадут рекомендации по устранению неполадок.

Принимаем заявки на E-mail: info@totallab.by или по факсу +375 (17) 253-44-81

ООО «АртБиоТех»

Компания ООО «АртБиоТех» была основана в декабре 2016 года. С первых дней существования компанией взят курс на разработку и производство инновационной продукции в области молекулярной биологии. В настоящий момент ассортимент продуктов компании насчитывает более 100 наименований и включает тест-системы для ПЦР, реагенты для хранения и очистки ДНК/РНК, олигонуклеотиды, ферменты.

Продукция ООО «АртБиоТех» востребована в учреждениях здравоохранения, научно-практических центрах, ветеринарных учреждениях, центрах стандартизации и научных подразделениях. Разработки ООО «АртБиоТех» нашли своего покупателя на рынках ближнего и дальнего зарубежья.



**ДНК
полимеразы**



**ПЦР-РВ
тест-
системы**



**Реагенты
для
выделения
ДНК/РНК**



**Реагенты
для
молекулярной
биологии**



Олигонуклеотиды

Наши специалисты несут полную ответственность за качество предлагаемой продукции. Мы активно развиваем политику обратной связи: отзывы покупателей очень важны для нас, поскольку позволяют улучшать нашу продукцию, делая её более совершенной.

Основная цель компании – долгосрочное и надежное сотрудничество с клиентом, закрепленное ответственным подходом и новейшими технологиями, а также наличие собственного склада и расходных материалов, которые помогают в кратчайшие сроки решить поставленные Вами задачи.

Выбрав нашу компанию, Вы будете абсолютно уверены, что обнаружили надёжного и ответственного партнёра для себя и постоянного развития своего бизнеса на длительное время!

Производство нашей компании соответствует требованиям стандарта ISO 13485:2016 в области разработки и производства тест-систем и реагентов для молекулярной биологии и диагностики *in vitro*.

Веб-сайт: <http://www.qpcr.by/>

E-mail: info@qpcr.by

Тел.: +375 (17) 395-94-22, +375 (29) 395-94-22

Адрес: г. Минск, ул. Купrevича, д.1, к.3, пом. 8, каб. 306

Устные доклады

Сессия 1

100 лет кафедре клеточной биологии и биоинженерии растений БГУ: краткая историческая справка

Демидчик В.В.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Биологическое образование в Белорусском государственном университете (БГУ) появилось с момента организации в 1921 г. медицинского факультета, в составе которого были организованы кафедры ботаники и зоологии. В 1922 г. в БГУ начал работать педагогический факультет с отделением естествознания, на которое были переведены сотрудники этих кафедр, и за которым было закреплено преподавание дисциплин биологического цикла. История кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений ведет свое начало с 1922 г., когда в БГУ была создана **кафедра анатомии и физиологии растений**. Одним из инициаторов ее создания являлся профессор кафедры ботаники, выдающийся физиолог растений **Владимир Васильевич Лепешкин** – один из наиболее известных специалистов в области биологии растительной клетки начала 20 века. До переезда в Беларусь в 1921 г. В. В. Лепешкин заведовал кафедрой ботаники Казанского университета, являлся учеником знаменитого физиолога растений А.С. Фаминцина. В 1924 г. первым руководителем кафедры анатомии и физиологии растений стал известный физиолог растений, ботаник и альголог профессор **Николай Михайлович Гайдуков**. В 1928 г. кафедра изменила название на кафедру физиологии растений и микробиологии, и ее возглавил другой выдающийся ученый-биолог СССР, создатель белорусской школы физиологии растений и биофизики, академик АН БССР **Тихон Николаевич Годнев**. Он руководил кафедрой до 1960 г. За время его руководства кафедра стала крупнейшим центром по биохимии и клеточной биологии растений не только в Беларуси, но и одним из лидеров в данной области в СССР. Т.Н. Годневым и созданной им НИЛ фотосинтеза удалось впервые в мире расшифровать и детально исследовать биохимические пути биосинтеза хлорофилла, раскрыть природу биофизических взаимодействий между хлорофиллами и каротиноидами в фотосинтетическом аппарате листа. Долгие годы на кафедре работал академик НАН Беларуси **Александр Степанович Вечер** – один из создателей белорусской биохимии, а также многие другие выдающиеся ученые Беларуси. Была создана ведущая в СССР научная школа по физиологии растений, биохимии и биофизике пигментов, структуре и функции фотосинтетического аппарата, абиотической и гормональной регуляции фотосинтеза, а также по установлению молекулярных основ продуктивности растений. По инициативе Т.Н. Годнева был создан Институт фотобиологии АН БССР (сейчас – Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси).

С 1960 по 1971 г. кафедрой заведовал доцент **Сергей Владимирович Калишевич**, а с 1971 по 1991 г. – доцент **Людмила Васильевна Кахнович**. В 1950-ые–1960-ые гг. часть коллектива кафедры стала основой для создания двух новых кафедр факультета: микробиологии (1960) и биохимии (1965). С 1991 по 2011 г. кафедрой заведовал профессор **Владимир Михайлович Юрин**, являющийся одним из создателей белорусской школы физиологии минерального питания, ионного транспорта и электрофизиологии растений. С 1991 г. на кафедре в качестве заведующего научно-исследовательской лабораторией также работает доцент **Анатолий Иосифович Соколик** – классик восточноевропейской электрофизиологии растений. Значительный вклад в развитие кафедры внес выдающийся белорусский биохимик и физиолог растений академик НАН Беларуси **Владимир Николаевич Решетников**, работавший

на кафедре по совместительству с начала 2000-ых годов, и многие годы возглавляющий Государственную экзаменационную комиссию по специализации «Физиология растений» и «Биотехнология». С 2011 по 2019 г. кафедру возглавлял член-корреспондент НАН Беларуси **Вадим Викторович Демидчик**, являющийся одним из ведущих специалистов в области клеточной физиологии растений. До заведования кафедрой В.В. Демидчик проработал в качестве научного сотрудника и лектора в Кембриджском Университете и Университете Эссекса. С 2019 г. В.В. Демидчик является деканом биологического факультета и научным руководителем кафедры. Им создана и поддерживается научная школа по клеточной биологии, электрофизиологии, физиологии стресса, минерального питания и биотехнологии растений. Уровень исследовательской и публикационной активности кафедры стал один из самых высоких не только в Беларуси, но и в СНГ. С 2019 г. кафедрой заведует доцент **Смолич Игорь Иванович** – специалист в области биохимии, генетики и нанобиологии растений.

В 2022 г. на кафедре специализируется около 100 студентов, обучается 5 магистрантов, 7 аспирантов и 2 докторанта. Кафедра читает лекции по 41 учебной дисциплине (Физиология растений, Ксенобиология, Клеточная биология, Введение в системную биологию, Клеточная биология и др.). За кафедрой закреплено 20 ставок преподавателей и 5 ставок учебно-вспомогательного персонала, имеется научно-исследовательская лаборатория, в которой работает 12 научных сотрудников. Четыре сотрудника НАН Беларуси работают на кафедре по совместительству. На кафедре работают 1 член-корреспондент НАН Беларуси, 1 доктор биологических наук, 13 кандидатов биологических наук. На май 2022 г. список сотрудников кафедры включает следующих специалистов: Н.Г. Бандюкевич, В.Ю. Бондаренко, А.А. Ветошкин, М.А. Войтехович, А.М. Гиль, П.В. Гриусевич, В.В. Демидчик, Т.И. Дитченко, С.Н. Звонарев, Е.Н. Крытынская, С.Н. Куделько, В.А. Кучинская, Н.В. Лазерко, В.С. Мацкевич, О.В. Молчан, О.В. Недзьведь, Н.Б. Павлютина, Д.Е. Пржевальская, Н.В. Притулик, Е.С. Прокофьева, Н.Л. Шибытко, В.Е. Реут, А.А. Русакович, В.В. Самохина, И.И. Смолич, А.И. Соколик, Е.В. Спиридович, Г.Г. Филипцова, С.Н. Филиппова, И.А. Цурбанова, М.А. Черныш, О.В. Чижик, А.Ю. Шашко, О.Г. Яковец. На кафедре ежегодно публикуется около 70 научных работ, включая статьи в ведущих мировых научных журналах, выполняется около 10 финансируемых научных тем и грантов, в том числе проекты ГП, ОНТП, ГПНИ, ГКНТ, МО и БРФФИ. По рейтингу эффективности научно-исследовательской работы кафедра является лидером на факультете.

Коллекция *in vitro* – источник сохранения и получения возобновляемого сырья редких и лекарственных растений

Решетников В.Н.*, Спиридович Е.В.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: v.Reshetnikov@cbg.org.by

В ЦБС создана *in vitro* коллекция редких и эндемичных видов растений дикорастущей флоры стран СНГ. Для ее пополнения осуществляются экспедиции по особо охраняемым природным территориям (ООПТ) Беларуси для белорусских популяций редких растений, занесенных в Красную Книгу РБ: *Isoetes lacustris* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Trapa natans* L., *Osmunda regalis* L., *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo., *Dactylorhiza ochroleuca* (Wustn. ex Boll.) Holub, (*Gymnadenia conopsea* (L.) R.Br.) и др. В коллекцию привлечены образцы редких и охраняемых растений из учреждений РФ: *Dioscorea nipponica* Makino, *Hedysarum razoumovianum* DC, *Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq., *Actinidia kolomikta* (Rupr. & Maxim.) Maxim., *Drosera rotundifolia* L., *Chrysanthemum zawadskii* Herbich – (Волгоград); *Ficus carica* L. cv Blanche, *Cardiocrinum cordatum* (Thunb.) Makino –

(Санкт-Петербург). Привлекаются редкие исторические сорта рода *Syringa* (сирень пекинская - *S. reticulata* ssp. *pekinensis* (Rupr.) P.S.Green & M.C.Chang; сирень юньнаньская - *S. tomentella* ssp. *yunnanensis* (Franch.) Jin Y.Chen & D.Y.Hong; сирень Звегинцова - *S. tomentella* ssp. *sweginzowii* (Koehe & Lingelsh.) Jin Y.Chen & D.Y.Hong и др.). Для этих растений получены культуры клеток и суспензионные культуры, который призваны решать задачи в области получения возобновляемого растительного сырья с использованием современных биотехнологических методов.

Функции хлорофиллов в семенах высших растений

Смоликова Г.Н.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: g.smolikova@spbu.ru

Важным фактором семенной продуктивности растений является фотосинтез, который происходит в листьях и обеспечивает формирующиеся семена необходимыми ассимилятами. Однако хлорофиллы (Хл) могут синтезироваться и в других органах растений (колосья, черешки листьев, кора побегов и др.). К органам, в которых осуществляется «нелистовой» фотосинтез также относятся формирующиеся семена с зеленым зародышем. Приоритетной функцией хлоропластов в зародышах является синтез НАД(Ф)•Н и АТФ, которые расходуются на превращение поступающей из материнского растения сахарозы в ацетил-СоА, жирные кислоты и далее в триглицериды. Особенностью эмбриональных фото-зависимых синтетических реакций является то, что основным источником углерода служит сахароза, поступающая из материнского растения. На поздней стадии созревания под контролем АБК в семенах происходит потеря воды и переход в состояние покоя. При этом Хл деградируют, а хлоропласты заполняются запасными питательными веществами и превращаются в амило- или элайопласты. Однако деградация Хл часто происходит не полностью и их остаточные количества можно обнаружить в зрелых семенах ряда растений. Это явление крайне нежелательно, поскольку присутствие Хл снижает посевные и пищевые качества семян. Такие семена менее устойчивы к абиотическим стрессорам при хранении и прорастании, а выделяемые из них масла быстро окисляются. В докладе будут обсуждаться имеющиеся сведения о функциональной роли хлорофиллов в семенах растений и механизмах протекания фотохимических и фото-зависимых синтетических реакций, связанных с накоплением запасных питательных веществ и качеством семян.

Работа выполнена за счет средств гранта РФФИ № 22-26-00273 с использованием оборудования РЦ Научного парка СПбГУ.

Роль редокс-регуляции фотосинтетического аппарата в формировании ответных реакций высших растений при гипертермии

Пшибытко Н.Л.^{А*}, Лысенко Е.А.^Б, Крук Ю.^В, Стражалка К.^В, Демидчик В.В.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

^БИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

^ВЯгелонский университет, Краков, Польша

*E-mail: pshybytko@bsu.by

Температура является одним из основных факторов окружающей среды, оказывающим влияние на протекание биохимических и физиологических процессов у растений, структуру мембран, ультраструктуру субклеточных органелл, фотосинтетический аппарат. Согласно работам ряда авторов термочувствительность фотосинтетического аппарата определяется, в первую очередь, структурными модификациями пигмент-

белковых комплексов хлоропластов. Однако в последнее время редокс-регуляция рассматривается как центральный механизм, участвующий в нормальной и стрессовой физиологии растений, а хлоропласты и митохондрии важнейшими сайтами производства и воздействия редокс-агентов, таких как активные формы кислорода и азота. В данной работе с использованием ряда биохимических, биофизических и молекулярных методов исследованы механизмы термоинактивации тилакоидных мембран важной сельскохозяйственной культуры *Hordeum vulgare* L. При тепловой обработке (40°C) тилакоидных мембран в условиях *in vitro* обнаружено подавление транспорта электронов на донорной и акцепторной стороне ФС2, сопровождающееся высвобождением периферических белков 33 кДа, 24 кДа и 18 кДа, рекомбинацией Z^+ и Q_A^- , деградацией белка D1 и генерацией активных форм кислорода. При тепловой обработке интактных проростков ячменя существенных структурных изменений пигмент-белкового комплекса фотосистемы 2 не выявлено. На модельной системе первого листа разновозрастных проростков ячменя зарегистрировано термоиндуцированное повышение уровня АФК, сопровождающееся изменением редокс-состояния подвижных переносчиков электронов, включая пластохиноны и ферредоксин. Показана ключевая роль в адаптации фотосинтетического аппарата к повышенной температуре перераспределения пластохиноновых молекул между фотоактивным и нефотоактивным пулами. Обнаружено, что редокс-состояние ферредоксина может выступать основным регулятором термоиндуцированного перераспределения потоков электронов в хлоропластах между линейным транспортом через ферредоксин: НАДФ⁺-оксидоредуктазу и циклическими через ферредоксин: пластохинон-редуктазу (комплекс PGR5/PGRL1) и НАДН-дегидрогеназно-подобный комплекс. С использованием искусственных редокс-модуляторов установлено, что редокс-состояния пластохинонов и ферредоксина определяет ответную реакцию фотосинтетического аппарата на тепловое воздействие как на метаболическом, так и генетическом уровне.

Феномика растений: современное состояние проблемы и опыт фенотипирования модельных объектов

Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Феномика растений – новый раздел биологии растений, который фокусируется на выявлении закономерностей организации и анализе изменений фенотипов растений. Феномика дополняет молекулярный и физиолого-биохимический анализ статистически значимым цифровым материалом о фенотипах. Регистрация и анализ данных о фенотипах в феномике именуются фенотипированием. В особенности, широко внедряется так-называемое высокопроизводительное фенотипирование, обеспечивающее цифровой анализ больших выборок данных. Бурный прогресс в области фенотипирования растений обусловлен развитием высокоточных и доступных систем регистрации изображений в различных областях спектра, развитием стандартизированных подходов культивирования растительных объектов, появлением новых сенсорных технологий и робототехники, а также методов обработки и анализа данных с применением подходов компьютерного зрения и машинного обучения. Предполагается, что феномика в ближайшем будущем позволит создать цифровые модели процессов жизнедеятельности и «формирования» продуктивности растений на организменном уровне в связи с динамикой транскриптомов, протеомов, метаболомов и др. показателей. Высокопроизводительное фенотипирование активно развивается как в лабораторных условиях, так и на открытых площадках, лесных массивах и природных фитоценозах. Наша работа нацелена на создание систем автоматизированного

фенотипирования ряда декоративных растений и важнейших модельных видов (*Arabidopsis thaliana* и *Triticum aestivum*) с использованием RGB/HSV-имиджинга, спектрального анализа, методов машинного зрения и сверточных нейронных сетей. Разработаны и апробированы три мини-платформы для цифрового фенотипирования высших растений на базе SLR-камер. С их использованием протестировано воздействие ряда регуляторов роста и стрессоров на рост и развитие растений различных генотипов. В частности, впервые продемонстрировано участие редокс-сенсоров калиевых каналов GORK в ростовом ответе корня высших растений на солевой, осмотический и окислительный стресс, выявлены особенности ответа ростовых показателей корня на экзогенный аскорбат, присутствие различных brassinosterоидов, ауксинов, ионов никеля и меди, низких значений pH, различных химических форм алюминия и бора. Получены и проанализированы цифровые спектральные характеристики изображений декоративных растений на разных стадиях их роста и развития в нестерильных условиях, а также системах *in vitro* и *ex vitro*.

Метаболомный анализ как инструмент изучения физиологических и фармацевтических свойств растительных объектов

Орлова А.А.^{А,Б*}, Кисель Э.В.^В, Фролова Н.В.^В, Черевацкая М.А.^Б, Бурейко К.М.^Г, Соболева А.В.^{А,В,Г}, Попова В.В.^В, Ерофеева Н.О.^Г, Силинская С.А.^Г, Билова Т.Е.^{А,Б}, Фролов А.А.^{А,В,Г}

^АИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Лаборатория клеточной регуляции, Москва, Россия

^ВСанкт-Петербургский государственный университет, Кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия

^БИнститут биохимии растений им. Лейбница, Департамент Биоорганической Химии Галле, Германия

^ГСанкт-Петербургский государственный университет, Кафедра биохимии, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: anastasiya.lebedkova@spcru.ru

Метаболомика представляет собой совокупность методологических подходов к исчерпывающему качественному и количественному анализу метаболитов определенной биологической системы. Метаболомика растений является собой сравнительно недавно созданную платформу, базирующуюся на ряде распространенных высокоэффективных аналитических подходах, в основе которых лежат методы газовой и жидкостной хромато-масс-спектрометрии и спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Методы метаболомики находятся в постоянном развитии, принося новые возможности в фундаментальные и прикладные исследования растительных объектов, так как ее важность для получения новых знаний о биологических и физиологических свойствах растительных организмов, а также в оценке возможностей их использования в области медицины, биотехнологии и агробиотехнологии, не вызывает сомнений.

В проводимых нами исследованиях показана возможность оценки динамики накопления отдельных метаболитов как физиологического ответа организма на воздействия абиотических факторов окружающей среды. Выявлена возможность использования метаболомного подхода в процессе поиска новых лекарственных кандидатов для фармацевтической промышленности. Изучение различий в составе вторичных метаболитов различных видов растений традиционной медицины, и дальнейшее соотнесение их метаболома с экспериментальными результатами оценки отдельных типов фармакологической активности на моделях *in vitro*, дает возможность, с одной стороны, выявить потенциально значимые объекты для внесения их в перечень официальных лекарственных растений, а, с другой, определить целевые биологически

активные соединения для дальнейшей наработки и оценки их потенциала использования в фармацевтической практике.

Реконструкция и анализ пангенома картофеля *Solanum tuberosum* сортов сибирской селекции

Каретников Д.И.^{А,Б,В*}, Генаев М.А.^{А,Б}, Нестеров М.А.^{А,Б}, Ибрагимова С.М.^{А,Б}, Васильев Г.В.^{А,Б}, Тошаков С.В.^Г, Гавриленко Т.А.^Д, Афонников Д.А.^{А,Б}, Салина Е.А.^{А,Б}, Патрушев М.В.^Г, Кочетов А.В.^{А,Б}

^АФИЦ Институт Цитологии и Генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

^БКурчатовский геномный центр ФИЦ ИЦиГ СО РАН, Россия

^ВНовосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

^ГНИЦ Курчатовский институт, Москва, Россия

^ДФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: karetnikovmit@bionet.nsc.ru

При изучении сельскохозяйственных растений расшифровка геномной последовательности позволяет определять в ней гены и разрабатывать маркеры для поиска ассоциаций с фенотипическими признаками. Однако в геномах представителей одного вида могут быть структурные различия, которые невозможно выявить на основе одной референсной последовательности. Анализ нескольких геномов (пангенома) разрешает эту проблему, т. к. появляется возможность выделить в них наборы как общих, так и вариабельных генов. Вариабельная часть особенно важна для изучения, так как ее формируют гены, связанные с адаптацией растений к условиям внешней среды, устойчивостью к заболеваниям и абиотическим и биотическим стрессам. Мы провели исследование пангенома важнейшей сельскохозяйственной культуры, картофеля *Solanum tuberosum* 7 сортов сибирской селекции. Секвенирование было произведено парными короткими прочтениями Illumina и позволило получить сборку ДНК на уровне экзомов. Данная сборка была улучшена за счёт использования референсного генома картофеля DM1-3 516 R44, на ее основе идентифицированы белок-кодирующие гены. Выявлены структурные вариации для генотипов и проведено их сравнение, в том числе и с несколькими зарубежными сортами [Kyriakidou et al., 2020]. Выявлены консервативная и вариабельная части пангенома, определены их функции. Показано, что пангеном является открытым.

Работа выполнена за счет финансирования Курчатовского геномного центра ФИЦ ИЦиГ СО РАН, соглашение с Министерством образования и науки РФ № 075-15-2019-1662. Вычисления проводились с использованием ресурсов ЦКП «Биоинформатика».

Системы цифрового фенотипирования высших растений в условиях *in vivo* и *in vitro* на основе свёрточных нейронных сетей

Бондаренко В.Ю., Шашко А.Ю., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Феномика растений представляет собой омиксную дисциплину, сводящую информацию об анатомо-морфологических характеристиках и физиологических процессах в растительном организме к численно-анализируемому цифровому формату, схожему с массивами информации в геномике. В настоящее время актуальным является разработка недорогих и доступных платформ цифрового фенотипирования, основанных на глубоком анализе фенотипа с помощью искусственных нейронных сетей. Целью данной работы являлись разработка и апробация сверточных нейронных сетей нового поколения для высокоточного анализа таксономических и сортовых характеристик растений, их физиологического состояния в условиях открытого грунта

и *in vitro*, а также определения степени укоренения в условиях *in vitro*. Для реализации моделей нейронных сетей был использован язык программирования Python3, фреймворк TensorFlow и специализированные библиотеки для визуализации результатов (Pandas, Matplotlib и др.). Разработаны оригинальные системы получения и обработки изображений, а также последующего формирования баз данных, необходимых для обучения нейронных сетей. Создано 4 группы платформ фенотипирования на основе нейронных сетей, отличающихся по техническим подходам, объекту и задачам. Использовано более 100000 изображений *Heuchera* sp., *Hydrangea* sp., *Potentilla* sp., *Hosta* sp., *Berberis* sp., *Betula* sp., *Cornus* sp., *Salix* sp., *Rubus* sp., *Physocarpus* sp., *Syringa* sp., *Spiraea* sp., *Forsythia* sp., *Philadelphus* sp., *Picea* sp., *Juniperus* sp., *Thuja* sp. и других видов растений. База данных была построена из 25 различных классов, каждый из которых соответствовал отдельному виду или сорту. Созданные на базе нейронных сетей феномные системы показали высокий уровень точности при сортовидовой верификации декоративных растений, определении уровня стрессированности (физиологической жизнеспособности) растений, количественного анализа поражения патогенами (септория, фитофтора, парша, ржавчина, черная гниль и др.), анализ ростовых параметров растений в условиях *in vitro* внутри стерильных культивационных сосудов, пластиковых чашках (*Arabidopsis thaliana*, *Triticum aestivum*, *Pisum sativum* и др.) и водных культурах. Разработанные системы позволяют проводить автоматический анализ скорости роста корневой системы генетически отличных растений (природных экотипов, нокаутов по определенным генам и др.) в ответ на регуляторы роста, стрессоры и другие воздействия. Продемонстрирована возможность использования разработанной феномной платформы для проведения ускоренного скрининга генотипов растений с заданными свойствами.

Сессия 2

Формирование внутри- и межвидовой изменчивости лесных древесных растений и фитопатогенных грибов

Падутов В.Е.* , Баранов О.Ю.

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: forestgen@mail.ru

Процессы формирования генетической изменчивости лесных древесных растений и фитопатогенных грибов на молекулярном уровне являются сходными, и обусловлены, преимущественно, особенностями нуклеотидной структуры локусов ДНК. Уровень изменчивости ДНК-локусов в первую очередь определяется их индивидуальными структурно-функциональными характеристиками, а не принадлежностью к определенному типу маркеров. Отличительной особенностью фитопатогенных грибов от лесных древесных растений на надгенном уровне, является превалирование у них среди мультикопийных локусов генов вторичного метаболизма, к которым относятся и факторы патогенности и вирулентности. В то же время гены первичного метаболизма имеют сходный порядок копийности. Популяционная структура лесных древесных растений характеризуется высоким уровнем генотипического разнообразия и низкой степенью межпопуляционной подразделенности. У фитопатогенных микромицетов уровень генотипической гетерогенности внутри популяций является низким или отсутствует, а внутривидовая изменчивость главным образом связана с формированием межпопуляционных различий. Основными факторами, определяющими интенсивность протекания процессов видообразования и их особенности у лесных древесных растений и фитопатогенных грибов, являются: особенности смены ядерных фаз в ходе онтогенеза, степень генетической подразделенности и дифференциации популяций, продолжительность жизненного цикла.

Ель сибирская: экологические особенности в насаждениях хвойно-широколиственных лесах Удмуртской Республики

Бухарина И.Л., Пашкова А.С.*

Удмуртский государственный университет, кафедра инженерной защиты окружающей среды, Ижевск, Россия

*E-mail: annapashkova90@mail.ru

В последние десятилетия в результате массового усыхания еловых насаждений состояние темнохвойных лесов в Европейской части Российской Федерации стало актуальным объектом исследований. Следует отметить, что в очагах массового усыхания еловых насаждений встречаются участки насаждений и отдельные особи, имеющие хорошее жизненное состояние. Такие особи отмечены как в естественных лесных системах, так и в насаждениях урбанозкосистем. В связи с этим, целью исследования явилось изучение состояния еловых насаждений региона, а также оценке их устойчивости и адаптивного потенциала по отношению к неблагоприятным факторам среды. Исследования проводили на территории Удмуртской Республики. Исследования проводились в выделах с поврежденным древостоем с наличием процессов усыхания ели. Пробные площади закладывались в ельниках-кисличниках (Екс). Проведено таксационное описание пробных площадей, дана характеристика состояния лесной подстилки (морфологическая структура, влажность, компонентный состав, целлюлозоразлагающая активность). Для определения функционального состояния насаждений ели сибирской и отражения механизма адаптивных реакций был проведен сравнительный анализ биохимических показателей особей хорошего и удовлетворительного жизненного состояния по показателям содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, аскорбиновой кислоты, малонового диальдегида и танинов в побегах. Выявлены значимые различия этих показателей у особей разного жизненного состояния, что позволяет объяснить адаптивный потенциал вида.

Аспекты микроклонального размножения ряда лиственных лесобразующих видов Беларуси

Кулагин Д.В.*, Богинская Л.А., Константинов А.В., Осипенко Н.В., Петров Г.В.

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: aqua32@mail.ru

Успешность получения асептической культуры зависит как от химического состава питательных сред, так и от физиологического состояния материнского дерева и его генотипа (вклад фактора 13,5-37,5%). На интенсивность роста микропобегов в стабилизированных микроклональных культурах наибольшее влияние оказывают клоновая принадлежность объекта (вклад фактора – 3,5–11,3%) и содержание регуляторов роста гормональной природы в субстрате (вклад фактора – 11,6–25,4%). Максимальные коэффициенты мультипликации, за одинаковый промежуток времени, с использованием оригинальной методики составляют от 3,8 (дуб черешчатый) до 11,0 (гибридная осина). Микрорастения с различной видовой и клоновой принадлежностью реагируют сходным образом на одни и те же изменения условий выращивания на этапе адаптации, что говорит о универсальности основных технологических схем, при соблюдении которых возможно достигнуть сохранения 90-100% всего произведенного *in vitro* посадочного материала. Наиболее важными факторами, влияющими на рост микроклонально размноженных саженцев в условиях лесного питомника, являются как индивидуальные особенности организма (клоновая принадлежность – вклад фактора 13,8-23,5%, размеры саженцев в начале доращивания – 12,3%), так и условия произрастания (открытая/закрытая корневая система – 28,2%, состав почвенного субстрата – 11,2%, способы применения удобрений – 2,1-12,2%).

Оценка интенсивности органогенеза в каллусных культурах карельской березы, полученных при различных условиях освещения

Константинов А.В.*, Осипенко Н.В., Полевикова Е.Н., Кулагин Д.В.,
Кириянов П.С.

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: avkonstantinof@mail.ru

Фотоморфогенез выступает контрольным механизмом синхронизации регуляторных систем растений, под управлением которых находятся метаболические процессы, органогенез, устойчивость к неблагоприятным факторам среды, переход к генеративной фазе. Для изучения постэффектов различных режимов получения каллусных культур (при температуре $23\pm 2^\circ\text{C}$ на свету интенсивностью 2000 люкс от люминесцентных источников и в темноте) на процессы регенерации выполнялись на материале 17 клонов различных морфологических форм. Каллусообразование на листовых высеках инициировали на среде MS, дополненной $5\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ 6-BAР, $0,1\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ TDZ и $0,4\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ NAA, для регенерации проводили субкультивирование на среду MS с $1,0\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ 6-BAР и $0,1\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ NAA. Показано, что для каллусных культур, полученных на свету, коэффициенты регенерации (отношение количества полученных регенерантов к общему количеству каллусов) составили 0,19-0,20 и 0,15-0,36, при темновой инициации – 1,27-1,46 и 0,77-1,36 (клоны высокоствольной крупноузорчатой и шаровидноутолщенной форм соответственно). Регенеранты кустовидной и кустарниковой форм развивались только в каллусных культурах, инициированных в темновых условиях (коэффициенты регенерации варьировали: 1,13-4,80). Таким образом, выявлены существенные различия морфогенетического потенциала культур *in vitro* карельской березы в зависимости от формовой и клоновой принадлежности.

Хемосистематика – основа поиска форм лекарственных растений с высоким содержанием биологически активных веществ

Чубарова А.С.^{А*}, Капустин М.А.^Б, Курченко В.П.^Б, Лодыгин А.Д.^В

^АБелорусский государственный университет, кафедра биохимии, Минск, Беларусь

^ББелорусский государственный университет, кафедра общей экологии и методики преподавания биологии, Минск, Беларусь

^ВСеверо-Кавказский федеральный университет, Институт живых систем, кафедра прикладной биотехнологии, Ставрополь, Россия

*E-mail: chubarova.hanna@gmail.com

Биологически активные вещества, синтезируемые лекарственными растениями, принадлежат к различным классам химических соединений. С точки зрения хемосистематики именно эти вещества представляют наибольшую прогностическую ценность, так как их биосинтез у разных видов более специфичен по сравнению с продуктами первичного обмена. Исследование распространения отдельных соединений и их групп в лекарственных растениях представляет интерес для поиска перспективных продуцентов биологически активных веществ. В качестве объектов исследования нами были выбраны: сирень и расторопша пятнистая – хорошо известные источники природных биологически активных веществ, обладающих адаптогенными и гепатопротекторными свойствами. Проведенное методом ВЭЖХ исследование извлечений из коры 13 различных видов сирени показало, что наибольшее количество сирингина обнаруживается в коре *S. reticulata*, которое более чем в полтора раза выше, чем у других видов этого растения. Сирингин практически отсутствует в коре *S. sweginzowii*. Таким образом, наилучшим сырьевым источником для получения адаптогенного препарата сирингина является кора сирени сетчатой (*S. reticulata*). Среди растений семейства сложноцветных как источник фенилпропаноидных соединений особый интерес вызывает расторопша пятнистая (*Silybum marianum* Gaertn.), в плодах

которой содержится большое количество флаволигнанов. С использованием ВЭЖХ проведен анализ состава изомеров флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой различного происхождения. Содержание силимарина в исследованных плодах колебалось от 1,7 до 3,5%. Сравнительный анализ соотношения основных флаволигнанов: силибинина, силикрестина и силидианина, входящих в силимарин, показал, что по преимущественному содержанию одного из флаволигнанов силибинина или силидианина все растения этого вида можно разделить на две группы. Они были обозначены как две хеморасы этого лекарственного растения: силибининная и силидианиновая.

Особенности роста и накопления тритерпеновых гликозидов в суспензионных культурах клеток *Panax japonicus* (С.А. Meyer) var. *repens* и *Polyscias fruticosa* (L.) Harms

Тюрина Т.М.^{Б*}, Кочкин Д.В.^{А,Б}, Глаголева Е.С.^Б, Титова М.В.^А, Носов А.М.^{А,Б}

^АИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

^БМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия

*E-mail: tyurina.tatiana812@gmail.com

Растения рода *Panax spp.*, продуценты гинзенозидов, и в настоящее время в качестве источника целевых соединений является перспективным использование культур растительных клеток. Целью работы явилось исследование влияния гормонального состава питательных сред и систем культивирования на закономерности накопления вторичных метаболитов в процессе роста суспензионных культур клеток *Panax japonicus* (С.А. Meyer) var. *repens* и *Polyscias fruticosa* (L.) Harms. Для всех культур клеток *P. japonicus* было показано накопление сложной смеси тритерпеновых гликозидов разных групп с преобладанием олеанановых гликозидов, содержание которых возрастало по мере роста культур. При аппаратном культивировании на питательной среде без кинетина содержание гинзенозидов в клеточной биомассе *P. japonicus* снижалось по мере увеличения продолжительности аппаратного выращивания. При этом в образцах при выращивании в колбах замечено повышенное накопление некоторых индивидуальных гинзенозидов (Rb1, m-Rb1, Rb2, m-Rb2, Rg1, ChIVa) по сравнению с биореактором. Культуры клеток *P. fruticosa* накапливали гликозиды только олеананового ряда в очень низких концентрациях.

Исследование ростовых и цитологических характеристик и дыхательной активности мутантных линий суспензионных культур клеток *Dioscorea deltoidea* Wall.

Лунькова М.К.^{А,Б}, Титова М.В.^{А*}, Глаголева Е.С.^Б, Носов А.В.^А, Фоменков А.А.^А, Кочкин Д.В.^{А,Б}, Еремеева Е.А.^{А,Б}, Константинова С.В.^Б, Носов А.М.^{А,Б}

^АИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

^БМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия

*E-mail: titomirez@mail.ru

Dioscorea deltoidea Wall произрастает в горных районах Азии и активно используется в местной традиционной медицине. В качестве альтернативы природному растительному сырью, в ИФР РАН был получен ряд штаммов культур клеток *D. deltoidea*, синтезирующих характерные для данного вида фураностаноловые гликозиды. Целью исследования было сравнить линии ДМ-03 и ДМ-05к суспензионной культуры клеток *D. deltoidea* по цитофизиологическим характеристикам. Было выявлено, что значения ростовых характеристик и доли S-фазных клеток ниже для штамма ДМ-03. Размер клеток и агрегированность были больше для ДМ-05к, а гетерогенность по форме

клеток – для ДМ-03. Скорость общего дыхания для двух линий практически не отличалась, однако вклад альтернативного дыхания и активность антиоксидантных ферментов были выше для ДМ-03. Линия ДМ-03 также отличалась большей долей S-форм протодиосцина и дельтозида и меньшим содержанием дельтозида. Таким образом, нами были выявлены различия между линиями ДМ-03 и ДМ-05к. Полученные данные будут использованы в дальнейшем для подбора оптимальных условий аппаратного выращивания.

Влияние brassinosterоидов на рост и развитие протокормов *Phalaenopsis* × *hybridum* Blume, культивируемых в условиях *in vitro*

Черныш М.А.^{А*}, Лазерко Н.В.^А, Жабинский В.Н.^Б, Хрипач В.А.^Б, Демидчик В.В.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

^БИнститут биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: chernyshmaryia@gmail.com

Важнейшим фактором, контролирующим рост и развития растений в условиях *in vitro*, является присутствие в среде фитогормонов. В биотехнологии растений чаще всего используются ауксины и цитокинины. В последнее время появились работы, указывающие на возможность использования brassinosterоидов (БС) в качестве регуляторов роста и стрессоустойчивости растений, однако возможность применения данных фитогормонов для управления ростовыми процессами в условиях *in vitro* исследована фрагментарно. На данный момент отсутствуют данные о влиянии БС на рост и развитие представителей *Orchidaceae* – крупнейшего семейства покрытосеменных растений. В настоящей работе было протестировано воздействие важнейших БС на рост и развитие протокормов *Phalaenopsis* × *hybridum* Blume в культуре *in vitro*, полученной из семян. Анализировалось изменение морфологии, длины и веса протокормов на 100 сут инкубирования на среде с 6 различными по структуре БС в концентрации 10^{-10} – 10^{-6} М. Все протестированные БС вызывали усиление ростовых процессов, что выражалось в увеличении длины протокормов и приросте их массы. Наибольший стимулирующий эффект на длину растений наблюдался при культивировании в присутствии brassinолита (БЛ; 10^{-7} М). Наибольшим стимулирующим воздействием на прирост биомассы обладал 24-эпibrassinолит (ЭБ; 10^{-7} М). Ауксины вызывали схожее с БС воздействие на рост протокормов, но меньшее по интенсивности. При комбинированном воздействии БС и ауксинов обнаружено подавление стимулирующего эффекта, наблюдаемого при введении фитогормонов по отдельности. Таким образом, Орхидные, вероятно, обладают высокой чувствительностью к БС, что может быть использовано в технологии культивирования декоративных орхидей.

Сессия 3

Электрические сигналы высших растений: передача информации

Воденев В.А.^{А*}

^АНижегородский государственный университет им Н.И. Лобачевского, кафедра биофизики, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: v.vodeneev@ibbm.unn.ru

В силу прикрепленного образа жизни, обуславливающего невозможность избежать влияния неблагоприятных факторов среды, растения сформировали сложные системы восприятия стимулов и передачи сигналов, лежащих в основе формирования адаптации к стрессорам. Дистанционные электрические сигналы являются важнейшим компонентом механизмов системного функционального ответа при локальном

действию различных раздражителей. В докладе обсуждаются возможные механизмы передачи информации о характере раздражителя и формирования специфического системного ответа при участии электрических сигналов, вызванных различными абиотическими факторами. Механизмы развития специфического системного ответа рассмотрены на примере быстро и медленно нарастающих стимулов. Оба типа стимулов вызывают распространение электрического сигнала и функциональный ответ в нераздраженных участках растения, параметры которых зависят от типа стимула. Развитие индуцированного электрическим сигналом системного ответа происходит при участии других сигнальных систем, в частности гормональной. Выявленные различия системного ответа, отражают, по-видимому, стратегию адаптации растений к быстрым и медленно нарастающим стимулам. При быстро нарастающем стимуле наибольшее значение имеет оперативный ответ вблизи зоны повреждения, а для медленно нарастающего стимула - длительные изменения, обеспечивающие подготовку всего организма к возможным продолжительным изменениям окружающей среды.

Работа выполнена при поддержке Проекта Министерства науки и высшего образования РФ (0729-2020-0061).

Гормональный фактор ПКС в сигналинге механизма гаметофитной самонесовместимости РНКазного типа у петунии (*Petunia hybrida* L.)

Захарова Е.В.*

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, Россия

*E-mail: zakharova_ekater@mail.ru

Самонесовместимость (СН) – генетически детерминированный репродуктивный барьер, препятствующий инбридингу (который во многих семействах покрытосеменных предотвращает самооплодотворение и поддерживает разнообразие вида). Изучение механизма СН представляет интерес как в фундаментальном плане, так и для практики сельского хозяйства. Для петунии характерна гаметофитная СН S-РНКазного типа, механизм которой остается неисследованным до сих пор. Использование различных методов, в том числе метода TUNEL, позволило выявить в растущих *in vivo* несовместимых пыльцевых трубках петунии наличие маркеров программируемой клеточной смерти (ПКС) и доказать, что ПКС является фактором СН S-РНКазного типа. Предварительная (перед самоопылением) обработка рылец петунии самонесовместимой линией аминоксиуксусной кислотой (АОА, ингибитор синтеза АЦК), приводила к стимуляции роста несовместимых пыльцевых трубок, при этом в них отсутствовали какие-либо признаки ПКС. Эти данные свидетельствуют в пользу предположения, что этилен контролирует прохождение ПКС в несовместимых пыльцевых трубках в процессе функционирования механизма СН. Согласно нашей гипотезе, баланс фитогормонов и/или их взаимодействие могут модулировать время запуска ПКС в системе пыльца-пестик, а АЦК является одной из сигнальных молекул в сигналинге механизма СН S-РНКазного типа в прогамной фазе оплодотворения у петунии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-24-01148

Отток электролитов из клеток корня растений при стрессе: роль анионных каналов

Гриусевич П.В., Новосельский И.Ю., Толкачева Ю.В., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Отток электролитов из клеток корня высших растений является центральной реакцией растительного организма на стрессовые воздействия, включая засоление, засуху, атаку патогенных организмов, экстремальные температуры и др. Данное явление часто называют утечкой электролитов и связывают с неспецифическим повреждением тканей, однако, в последние годы четко показано, что отток/утечка электролитов контролируется клеткой и происходит в результате активации редокс-чувствительных и других типов ионных каналов плазматической мембраны. Ранее нами были идентифицированы катионные каналы, ответственные за отток калия из корней высших растений. В настоящей работе проведен детальный анализ роли анионных каналов, в частности, каналов семейства ALMT в феномене выхода анионов из корней высших растений. При помощи техники пэтч-кламп проведен анализ анионной проводимости плазматической мембраны растений дикого типа и нокаутных растений, лишенных функционального белка ALMT1. Показано, что плазматическая мембрана клеток корня *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа обладает высокой проницаемостью к аскорбату, малату и цитрату. Токи данных анионов характеризовались слабой потенциал-зависимостью и быстрой кинетикой активации. Введение в среду антрацен-9-карбоновой кислоты (блокатор анионных каналов семейства ALMT) значительно снижало аскорбат-, малат- и цитрат-индуцируемые токи. Нокаутирование канала ALMT1 приводило к снижению данных анионных токов. Вероятно, каналы ALMT1 обеспечивают выходящий поток аскорбата, малата и цитрата из клеток корня высших растений как в условиях нормальной физиологии, так и при стрессе. Впервые установлено, что анионные каналы плазматической мембраны клеток высших растений обладают значительной проницаемостью к аскорбату, представляющему собой обильный по содержанию анион в тканях у многих видов растений.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект Б19М-108) и Министерства образования РБ (договор № 002/2022-БГУ).

Полиморфизм генов MYB2 *Solanum. Melongena* и AN2 *Solanum. Lycopersicum*, кодирующих R2R3MYB-активатор

Дрозд Е.В.*, Бабак О.Г., Яцевич К.К., Кильчевский А.В.

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, лаборатория экологической генетики и биотехнологии, Минск, Беларусь

*E-mail: E.Drozd@igc.by

Антоцианы относятся к группе флавоноидов, накапливаемых в плодах и вегетативных органах пасленовых культур, выполняют в растениях защитные функции от абиотических и биотических стрессов, участвуют в обеспечении окраски разных частей растений. Поиск полиморфизма генов, влияющих на накопление антоцианов, и выявление ДНК-маркеров, связанных с регуляцией процесса их накопления, является важным в селекции сортов пасленовых культур, направленной на создание продуктов для функционального питания. Целью исследований являлся поиск полиморфизмов генов *Myb2 S. melongena* и *An2 S. lycopersicum*, кодирующих R2R3MYB-активатор, и оценка их связи с фенотипическим проявлением антоциановой окраски. На основании данных о последовательностях ДНК и мРНК гена *Myb2 S. melongena* подобраны праймеры для секвенирования последовательности гена у коллекционных образцов баклажана с контрастной антоциановой окраской плодов полностью перекрывающие

экзоны гена *Myb2*. После выравнивания полученных последовательностей гена *Myb2* изучаемых форм *S. melongena* относительно последовательности ДНК Sme2.5_05099.1 установлена полная идентичность экзонных областей. В результате секвенирования гена *An2 (Myb75) S. lycopersicum* (NM_001279063.2) у форм с различным фенотипическим проявлением признака накопления антоцианов в вегетативных органах, у образца с наименьшим накоплением антоцианов в листьях были выявлены SNP в экзонных областях, а также большие делеции в интронах. Предположительно эта последовательность является вторым аллелем гена *An2 (Myb75) S. lycopersicum - An2-Aft* (FJ705320.1). В настоящее время к выявленным полиморфизмам разрабатываются молекулярные маркеры.

Влияние гистидина и глутамина на сорбционную способность клеточных стенок корней и побегов растений вики посевной (*Vicia sativa* L.)

Никушин О.В.*, Мейчик Н.Р., Николаева Ю.И., Кушунина М.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: nikushin.94@mail.ru

В ответ на металл-стресс растения используют разнообразные механизмы избегания накопления тяжелых металлов (ТМ) в цитоплазме. Роль внеклеточных механизмов защиты растений от ТМ слабо изучена. К таким механизмам принято относить выделение корнями экссудатов, содержащих многочисленные лиганды, и сорбцию клеточной стенкой. Типичными компонентами корневых экссудатов являются аминокислоты, в связи с этим целью данной работы было изучение влияния гистидина и глутамина на сорбцию ионов меди клеточными стенками корней и побегов растений вики посевной (*Vicia sativa* L.). Проведено сравнительное исследование поглощения ионов меди корнями транспирирующих растений и изолированными из корней и побегов клеточными стенками (КС) при разных концентрациях гистидина или глутамина в присутствии 10 мкМ меди. В опытах с гистидином использовались концентрации 0,5 мМ и 1 мМ лиганда, с глутамином – 1 мМ и 5 мМ. В соответствии с результатами, гистидин не оказывает влияние на сорбционную способность КС корней и побегов в отношении Cu^{2+} . В свою очередь, глутамин увеличивает сорбцию ионов меди КС корня. Оба лиганда понижают поглощение меди интактными растениями. При этом сорбция ионов меди изолированными КС корней превосходит в несколько раз эндогенную концентрацию металла в опытных корнях. Полученные результаты дают основание полагать, что: 1) КС является основным местом депонирования ТМ в растении; 2) исследованные лиганды по-разному влияют на сорбцию Cu^{2+} клеточными стенками.

Физиологический анализ сенсора активных форм кислорода в калиевом канале GORK

Самохина В.В., Мацкевич В.С., Соколик А.И., Демидчик В.В.*

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Калиевые каналы GORK ответственны за стресс-индуцируемый выход из клеток корня высших растений ионов калия (K^+). Ранее считалось, что отток K^+ при стрессе является неконтролируемым спонтанным процессом, связанным с повреждением мембран. Однако сейчас показано, что данное явление обусловлено активацией K^+ -каналов наружного выпрямления GORK под действием активных форм кислорода (АФК), генерируемых при стрессе. Ранее нами идентифицирован АФК-чувствительный центр в структуре GORK (Цис-151) и проведена генетическая модификация данного центра – замена аминокислоты мишени АФК – цистеина (Цис) на редокс-инертный серин (Сер).

Целью настоящей работы являлось тестирование выхода K^+ из клеток корня *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. с помощью радиоактивного трейсера $^{86}Rb^+$ и сравнение его у растений, обладающих нативным и генетически модифицированным Цис-151. Также в задачи работы входил анализ стрессоустойчивости нокаутов по GORK и растений с GORK, модифицированным по Цис-151, с использованием техники замены среды без переноса растений. Было показано, что у растений дикого типа выход $^{86}Rb^+$ ускорялся под действием NaCl в 5 раз, Cu^{2+} /аскорбат (смесь, генерирующая гидроксильные радикалы - HO^*) в 3 раза, H_2O_2 в 2,5 раза. Близкие значения увеличения скорости выхода изотопа были зарегистрированы в случае растений *gork1-1* с возмещенным GORK. В то же время, скорость стресс-индуцируемого потока $^{86}Rb^+$ была в 2 раза ниже у нокаутов по K^+ -каналу *gork1-1*, а также у *gork1-1*, экспрессирующих GORK с заменой редокс-чувствительного Цис на Сер (GORK-C151S). Ингибирование роста корней линий арабидопсиса *gork1-1* и *gork1-1*, экспрессирующих GORK-C151S, под действием засоления, АФК, гамма-радиации, солей меди, никеля и алюминия было значительно слабее, чем у растений дикого типа, т.е. данные растения приобретали общую стрессоустойчивость к стрессорам, которые вызывают отток K^+ . Важно отметить, что экспрессия нативного гена *Gork* увеличивалась приблизительно в 1,5 и 2,7 раза при выращивании растений на фоне 100 и 200 mM NaCl, соответственно, и снижалась на 25-30% на фоне 1 mM H_2O_2 . Таким образом, было установлено, АФК-чувствительный центр в структуре GORK (Цис-151) имеет важное значение в активации K^+ -каналов GORK под действием АФК при стрессе, а также вероятно обеспечивает высокую чувствительность растений к абиотическим стрессорам.

Сессия 4

Корневые системы растений: пластичность ветвления и стратегии инициации бокового органа

Демченко К.Н.*, Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Лаборатория клеточных и молекулярных механизмов развития растений, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: demchenko@binran.ru

Способность корней к ветвлению в разнородной по своему составу почве в значительной степени определила успешность колонизации суши растениями, в том числе и в засушливых регионах. В ходе эволюции наземных растений, на протяжении более чем 450 миллионов лет, развивалась пластичность ветвления корневых систем, появлялись различные формы и стратегии ветвления корня. Несмотря на разнообразие и значительное различие в типах ветвления корневых систем, существует целый ряд общих регуляторных генетических модулей, определяющих компетенцию отдельных клеток корня к образованию нового органа. Мы рассмотрим возможные пути формирования этих генетических модулей в ходе эволюции семенных растений, а также их становление у предковых форм. Особое внимание будет уделено роли ауксина в единой координации ветвления корня, а также малым сигнальным пептидам (RALF, SER) в формировании системной регуляции этого процесса. Боковые корни возникают у большинства растений выше зоны растяжения, однако существует группа семейств (Тыквенные и др.), виды которых формируют примордии бокового корня непосредственно в меристеме родительского. Ключевым фактором при обоих типах инициации бокового корня является ауксин. В свою очередь, симбиотические клубеньки иницируются сходно с боковыми корнями выше зоны растяжения, но в ответ на восприятие ризобияльных бактерий на поверхности корня. Изучение развития актиноризных клубеньков, а также ризобияльных клубеньков с недетерминированным ростом у некоторых мутантов гороха (*Cochleata* и др.) показывает определенное

сходство генетических программ инициации этих органов и бокового корня. Несмотря на различия в инициации боковых корней и клубеньков, они имеют перекрывающиеся программы развития. Для понимания взаимосвязи корневой и клубеньковой программ развития был проведен сравнительный анализ. Так у мутантов по гену LOB-DOMAIN PROTEIN 16 (LBD16) обнаруживаются эквивалентные дефекты в инициации клубеньков и боковых корней. Проведенный филогенетический анализ, а также анализ уровней экспрессии генов семейства LBD в ответ на экзогенный ауксин, позволил выявить ортологи генов LBD16 и LBD18 *Arabidopsis* у представителей сем. Тыквенные. Нами был проанализирован паттерн экспрессии генов LBD при различных типах инициации бокового корня, а также при инициации симбиотических клубеньков, обсуждаются возможные мишени. Исследования позволили предложить эволюционную схему участия белков семейства LBD в регуляции инициации и развития боковых органов корня – симбиотических клубеньков и боковых корней. Таким образом, мы пытаемся сформировать общую картину того, как наземные растения в ходе эволюции приобрели столь адаптивную пластичности в ветвлении корневой системы, а также определить, как эти знания могут способствовать направленному изменению сельскохозяйственных культур.

Исследование поддержано РНФ № 20-16-00115.

Метаболические механизмы адаптации растений к дефициту кислорода

Емельянов В.В.^{А*}, Пузанский Р.К.^Б

^АСанкт-Петербургский государственный университет, кафедра генетики и биотехнологии, Санкт-Петербург, Россия

^ББотанический институт им. В.Л. Комарова РАН, лаборатория аналитической фитохимии, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: bootika@mail.ru

Способность адаптироваться к кислородной недостаточности связана с наличием у растений различных приспособлений, многие из которых опосредованы существенными изменениями обмена веществ. Метаболическое профилирование с помощью ГХ-МС выявило значительные изменения в метаболомах побегов исследованных растений при недостатке кислорода. У пшеницы (неустойчивое растение) аноксия приводила к уменьшению спектра дисахаридов, и накоплению карбоксилатов (пирувата и лактата), пролина и ГАМК. Побеги риса (устойчивое растение) характеризовались незначительными изменениями метаболизма. Среди карбоксилатов накапливались глицерат и сукцинат, а среди аминокислот - пролин, ГАМК и аланин. Сукцинат, аланин и ГАМК являются важными анаэробными интермедиатами, образующимися в результате функционирования анаэробных путей реокисления НАД(Ф)Н. Сравнение метаболомов корней выявило значительные различия между пшеницей и рисом. В корнях пшеницы при аноксии аккумулировались моносахариды, полиолы и карбоксилаты (пируват, лактат и сукцинат). Аккумуляция сахаров может быть следствием их недостаточной метаболизации из-за инактивации ферментов гликолиза у неустойчивых видов растений, к которым относится пшеница. В корнях риса спектр углеводов сокращался, накапливалась ГАМК и эфиры жирных кислот, что может быть следствием активации липидного обмена. Перераспределение значимости сахаров и органических кислот в определении метаболического профиля выявлено у обоих растений, что определялось активацией гликолиза, брожений и альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н. Аккумуляция стрессовых метаболитов указывает на общность механизмов метаболической адаптации, реализуемых при кислородной недостаточности.

Исследование поддержано РНФ № 22-24-00484.

Воздействие активных форм кислорода и L-аскорбиновой кислоты на протеом корня высших растений

Лазерко Н.В.^А, Горбач Д.П.^Б, Войтехович М.А.^А, Черныш М.А.^А, Мацкевич В.С.^А, Самохина В.В.^А, Лукашева Н.В.^Б, Ветошкин А.А.^А, Фролова Н.В., Фролов А.А.^{Б,Г}, Демидчик В.В.^{А*}

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

^БСанкт-Петербургский государственный университет, кафедра биохимии, Санкт-Петербург, Россия

^ВСанкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия

^ГИнститут биохимии растений им. Лейбница, кафедра биоорганической химии, Галле, Германия

*E-mail: vadzim.dzemidchyk@gmail.com

В настоящее время накоплен значительный пласт информации по вопросам генерации активных форм кислорода (АФК) у растений, а также физиологическим и патофизиологическим реакциям, вызываемым данными веществами. Большую актуальность приобрели вопросы детоксикации АФК и редокс-регуляции в растительной клетке в связи со стрессовыми реакциями. Целью настоящей работы являлся анализ модификации экспрессии белков корня под действием обработок АФК, экзогенным аскорбатом и модельными абиотическими стрессорами. В ходе проведенных исследований обнаружено более 600 белков, имеющих достоверно измененный уровень экспрессии в ответ на АФК и другие обработки. Обработка АФК вызывала в основном снижение экспрессии белков, а аскорбатом – повышение. Основными мишенями воздействия АФК являлись аскорбат-глутатионовая антиоксидантная защита, метаболизм аминокислот, метаболизм белков и пути передачи сигнала, а аскорбата – метаболизм сахаров, органических кислот и кофакторов, вторичный метаболизм. Среди белков, которые имели повышенную экспрессию при обработке гидроксильными радикалами и H₂O₂ особенно выделялись белковые функциональные группы «метаболизма глутатиона», «вторичного метаболизма», «ответа на стресс» и «АВС-транспортеров». Засоление вызывало достоверное изменение экспрессии 164 белков, при этом в основном затрагивались функциональные группы «фотосинтеза», «метаболизма белков», «метаболизма сахаров» и «транспорта воды». При обработке осмотическим стрессом модифицировалась экспрессия 123 белков. При этом особенно можно выделить группы «фолдинга» и «везикулярного транспорта». Был также проведен сравнительный анализ дифференциальной экспрессии всеми типами протестированных обработок, который выявил наличие универсальных характеристических паттернов редокс-зависимых перестроек протеома при стрессовых воздействиях, указывающих на центральную роль АФК в стрессовых ответах в корне высших растений.

Транскриптомный анализ клубеньков гороха (*Pisum sativum* L.), выращенных в условиях повышенной температуры

Кусакин П.Г.*, Серова Т.А., Цыганов В.Е.

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, лаборатория молекулярной и клеточной биологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

*E-mail: kussakin@gmail.com

Формирование симбиотических клубеньков бобовых растений чувствительно к воздействию различных стрессов. В условиях глобального потепления повышенная температура становится ключевым стрессовым фактором, влияющим на развитие и

функционирование бобово-ризобияльного симбиоза. Тем не менее, исследования в данном направлении не проводятся. Нами с использованием лабораторной линии гороха SGE, было показано, что под воздействием повышенной температуры (28 °C) в клубеньках активируется аномальный тип старения, активирующийся не в базальной, а в апикальной части клубенька. В ходе данного исследования был проведен транскриптомный анализ (с использованием подхода RapidMACE, последующим выравниванием полученных прочтений на референсный геном гороха и выявлением дифференциально экспрессированных генов при помощи пакета DESeq2) клубеньков гороха линии SGE, подвергавшихся действию повышенной температуры в течение 1, 5 и 9 суток. В результате были выявлены изменения в дифференциальной экспрессии генов, связанные с действием повышенной температуры.

Работа поддержана РНФ 21-16-00117.

Молекулярно-генетическая идентификация транскрипционного фактора NAC карельской березы

Кирьянов П.С.*, Баранов О.Ю.

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: PKirjanov@yandex.ru

Формирование вторичных проводящих тканей ствола лесных древесных растений является сложным процессом, в который вовлечено большое количество генов. Особенности процессов ксилогенеза у различных лесообразующих пород, включая и наследственные механизмы их детерминации, являются основой для создания хозяйственно-ценных фенотипов методами селекции и биотехнологии. В связи с этим, необходимым является комплексное генетическое изучение аномалий формирования тканей древесины лесных растений с целью поиска наследственных детерминант, определяющих нарушения процессов ксилогенеза. В ходе транскриптомного анализа камбиальных тканей карельской березы (характеризующейся узорчатостью древесины) и березы повислой (узорчатость древесины отсутствует) был идентифицирован транскрипт гена, детерминирующего транскрипционный фактор, содержащий NAC-домен (обозначен как *nac*). NAC-содержащие полипептиды играют важную роль в онтогенезе растений, включая регуляцию процессов формирования апикальной меристемы побегов, генеративных органов, боковых побегов, а также в гормональном контроле и защите от внешних неблагоприятных факторов. В условиях эксперимента, наибольшая экспрессионная активность гена *nac* была отмечена в узорчатых частях карельской березы, и заметно снижалась в безузорчатых участках ствола карельской березы и березе повислой (в 20 раз). Полученные результаты будут использованы для изучения механизмов формирования узорчатости древесины, диагностики хозяйственно-ценных генотипов карельской березы на ранних этапах онтогенеза, а также проведения селекционных мероприятий по данному признаку.

***Rhamnus cathartica* как перспективный источник каротиноидов**

Новикова А.С.^Б, Спиридович Е.В.^А, Агабалаева Е.Д.^А, Деева А.М.^{А*}, Решетников В.Н.^А

^АЦентральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^ББелорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: alladzeeva@gmail.com

Жостер слабительный (*Rhamnus cathartica*) – кустарник семейства крушиновые (Rhamnaceae), насчитывающий в мире от 100 до 125 видов. В условиях ухудшения экологической обстановки применение растительного сырья в качестве источника биологически активных соединений приобретает все большую популярность. В последние годы возрос научный интерес к исследованию каротиноидов в продуктах

растительного происхождения, что связано в первую очередь с их антиоксидантными свойствами. Количественный и качественный состав каротиноидов может зависеть от вида растительного сырья, региона его произрастания и фазы вегетационного периода. Целью нашего исследования был анализ содержания каротиноидов в коре жостера слабительного, собранного в осенний период 2020 года в разных областях республики. Суммарное количество каротиноидов определяли прямой спектрофотометрией с предварительным экстрагированием каротиноидов гексаном. По результатам анализа содержание исследуемых пигментов в анализируемых образцах колебалось в пределах от 8,8мг% до 18,9мг%. Согласно данным Фармакопеи РБ кора *R. cathartica* традиционно рассматривается как источник глюкофрангулинов. Наши исследования показывают, что данный вид растительного сырья может служить перспективным источником каротиноидов, т.к. нормы физиологических потребностей в минеральных веществах и витаминах для мужчин и женщин 18–59 лет в Беларуси предусматривают количество каротиноидов 5 мг в сут.

Исследование белка *EsCSDP3* растения-экстремофита *Eutrema salsugineum* (Pall.) Шамустакимова А.О.^{А,Б*}

^АФедеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», лаборатория молекулярно-генетических исследований кормовых культур, Лобня, Россия

^БФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», лаборатория стрессоустойчивости растений, Москва, Россия

*E-mail: nastja_sham@mail.ru

Белки с доменом холодового шока растений – это РНК/ДНК-связывающие белки, задействованные как в процессах роста и развития, так и в адаптации к абиотическому стрессу. Они содержат в своём составе консервативный домен холодового шока на N-конце и глицин-богатые регионы с различным количеством цинковых пальцев ретровирусного типа ССНС – на С-конце. В настоящей работе нами был исследован белок с доменом холодового шока 3 растения *Eutrema salsugineum* (*EsCSDP3*). Это растение являясь экстремофитом, способно выдерживать высокие концентрации солей, воздействие пониженных температур и засуху. Установлена тканеспецифичность экспрессии гена *GUS* под контролем промотора *EsCSDP3* в растениях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Показано, что окрашивание наиболее интенсивно локализуется в устьицах, трихомах, пыльце и апексе побега. Применение ковалентно-связывающегося флуоресцентного красителя позволило установить ядерно-цитоплазматическую локализацию химерного белка *EsCSDP3-HaloTag* в трансгенных растениях с постоянной экспрессией. Путём соосаждения РНК-белковых комплексов на магнитных частицах и последующего анализа полученной РНК удалось приблизиться к пониманию функции этого белка в растениях до и после холодового закаливания.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (№05-04-89005- NWO, №14-04-00816). Работа была выполнена с использованием научного оборудования Центра коллективного использования «Биотехнология» в ФГБНУ ВНИИСБ (соглашение № RFMEFI62114X0003).

Сессия 5

Механизмы переключения программы онтогенеза на этапе перехода от стадии семени к стадии проростка

Смоликова Г.Н.^А, Крылова Е.А.^{А,Б}, Стрыгина К.В.^{А,Б}, Черевацкая М.А.^А, Фролова Н.В.^А, Горбач Д.П.^В, Рыженко А.С.^В, Кисель Е.В.^Г, Вихорев А.В.^Д, Билова Т.Е.^А, Фролов А.А.^{В,Г}, Медведев С.С.^{А*}

^АСанкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия

^ВВсероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова РАН, лаборатория постгеномных исследований, Санкт-Петербург, Россия

^ВСанкт-Петербургский государственный университет, кафедра биохимии, Санкт-Петербург, Россия

^ГLeibniz Institute of Plant Biochemistry, Department of Bioorganic Chemistry, Halle/Saale, Germany

^ДФедеральный институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*E-mail: s.medvedev@spbu.ru

Несмотря на то, что зрелые ортодоксальные семена теряют до 95% воды, они способны поддерживать жизнеспособность длительное время при резких изменениях параметров внешней среды. Механизмы устойчивости к обезвоживанию и другим стрессорам включаются на поздней стадии созревания семян и связаны с накоплением белков позднего эмбриогенеза, малых белков теплового шока, ряда олигосахаридов и антиоксидантов. Основными регуляторами созревания и формирования устойчивости к обезвоживанию являются АБК и белок DOG1, под контролем которых находится сеть транскрипционных факторов LAFL (LEC1, ABI3, FUS3, LEC2). При этом подавление экспрессии сети генов LAFL является важным условием выхода семян из покоя и запуска программы прорастания. Устойчивость к обезвоживанию семени сохраняют вплоть до момента инициации роста зародышевого корня, когда в онтогенезе растения происходит переход от стадии семени к стадии проростка. Этот переход сопровождается массовыми перестройками сигнальных путей и переключением программ экспрессии генов, которые контролируются балансом АБК, гиббереллинов, а также других фитогормонов. В докладе будет проведен анализ процессов, обеспечивающих формирование устойчивости семян к обезвоживанию, а также обсуждены механизмы перехода прорастающего семени к стадии проростка, основанные на полученных нами данных транскрипционного, протеомного и метаболомного анализа.

Работа выполнена за счет средств гранта РФФИ № 20-16-00086 с использованием оборудования РЦ Научного парка СПбГУ.

Изучение влияния эколого-биологических особенностей роста и развития близкородственных видов растений из рода Недотрога (*Impatiens* L.) на их инвазионный потенциал

Прохоров В.Н.*, Карасева Е.Н., Бабков А.В., Сак М.М.

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: prohoroff1960@mail.ru

В последние годы на территории республики Беларусь отмечается существенное увеличение численности популяций ряда инвазивных видов, в том числе недотроги мелкоцветковой и недотроги железконосной. Эти виды заселяют нарушенные местообитания, активно внедряются в естественные лесные, прибрежные, луговые, болотные фитоценозы, часто образуя значительные по площади одновидовые сообщества, что негативно сказывается на природном биоразнообразии. В связи с этим,

очень важно понять, какие факторы оказывают решающее влияние на увеличение уровня их инвазивности. В том плане представляется очень перспективным сравнение близкородственных видов растений, различающихся по инвазионному потенциалу. В этой связи цель исследований – оценка инвазионного потенциала трех видов недотроги: инвазивных – мелкоцветковой (*Impatiens parviflora* L.) и железконосной (*Impatiens glandulifera* Royle) и аборигенной – обыкновенной (*Impatiens noli-tangere* L.) Установлено, что наибольший инвазионный потенциал имеет недотрога мелкоцветковая, наименьший недотрога обыкновенная. Недотрога железконосная по этому показателю занимает промежуточное положение. Показано, что высокий инвазионный потенциал недотроги мелкоцветковой обусловлен такими свойствами как высокая семенная продуктивность отдельных растений, большая семенная продуктивность на единицу площади, высокая способность к внедрению в растительные сообщества. Вид имеет очень высокую лабильность по таким факторам как освещенность, кислотность почвы, уровень плодородия почвы, тип почвы. Отличается более продолжительными периодами сохранения всхожести семян и цветения растений, а также более быстрым ростом в начале весенней вегетации. Высокий инвазионный потенциал недотроги железконосной определяется в первую очередь большей высотой растений, высокой конкурентоспособностью, способностью формировать монодоминантные сообщества и рассеивать семена дальше от материнского растения, большей мощностью корневой системы, а также почти полным отсутствием в новом ареале болезней и вредителей.

**Влияние абиотических факторов на развитие клубеньков гороха (*Pisum sativum* L.)
Цыганова А.В.*, Горшков А.П., Селиверстова Е.В., Серова Т.А., Китаева А.Б.,
Цыганов В.Е.**

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, лаборатория молекулярной и клеточной биологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

*E-mail: avtsyganova@arriam.ru

Бобовые культуры, обладающие способностью к симбиотической азотфиксации, являются ключевыми для развития экологически ориентированного сельского хозяйства из-за высокого содержания в них белка и низкой зависимости от минеральных азотных удобрений. Однако на процесс клубенькообразования и эффективность симбиотической азотфиксации могут повлиять различные условия окружающей среды, такие как температура, влажность, аэрация, pH среды, засоление, структура почвы, дисбаланс питательных веществ в почве, болезни и насекомые, а также антропогенное загрязнение почв и водоемов пестицидами, химикатами и ионами тяжелых металлов. Нами было проведено исследование влияния двух факторов: экологического – высокой температуры и антропогенного – обработки фунгицидами на развитие азотфиксирующих клубеньков у гороха (*Pisum sativum* L.). Было показано, что повышенная температура (28°C), действующая на протяжении 5 суток приводила к выраженным ультраструктурным изменениям инфицированных клеток клубеньков гороха в виде дегенеративных изменений ядер и симбиосом. Отрицательный эффект обработки растений гороха фунгицидами из класса триазолов проявлялся в просветлении и набухании клеточных стенок, утолщении стенок инфекционных нитей, слиянии симбиосом и деградациии бактериоидов. Таким образом, в результате действия различных абиотических стрессов было показано, что наибольшему воздействию подвергаются именно симбиотические структуры.

Работа поддержана РФФ 21-16-00117.

Поиск штаммов микроскопических грибов, обладающих фитостимулирующими и фитозащитными свойствами

Акыев Н.А. *, Язмырадов Д.Ч., Маслак Д.В.

Белорусский государственный университет, кафедра генетики, НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии, Минск, Беларусь

*E-mail: akuyevnagmat@gmail.com

Оценена способность штаммов микроскопических грибов стимулировать ростовые параметры растений рапса озимого сорт «Звычайны» и проявлять антагонизм по отношению к бактериальным и грибным фитопатогенам. Установлено, что достоверное влияние на энергию прорастания семян рапса оказала обработка суспензией грибов Ж1 и 7Г9 (+11,5 % и +13,7% к контролю соответственно). Штамм 7Г9 достоверно увеличивал полевую всхожесть семян (+ 24,4 %). При обработке штаммом 7Г15 достоверно увеличивалась длина стебля и корня опытных растений (+ 11,6% и + 11,9% к контролю). Достоверное увеличение сухого веса стебля на 11,3% и тенденция к увеличению сухого веса корня на 13,2% наблюдается при обработке штаммом 2-б. При обработке штаммом 7Г1 наблюдается тенденция к увеличению сухого веса стебля и корня (+ 5,6% и + 31% к контролю соответственно). Определена антагонистическая активность изучаемых штаммов по отношению к фитопатогенам. У штаммов 6Г2, 7Г1, Ж-1, и 9-б7 выявлены антибактериальные свойства в отношении штаммов *Clavibacter* sp., *E. carotovora*, *E. aroidea atroseptica*, *E. carotovora atroseptica*, *Ps. syringae*. У штамма 2-б выявлена антифунгальная активность по отношению к *F. culmorum* (степень ингибирования 39 %). Штаммы микроскопических грибов 7Г9, *Trihcoderma* sp. V, *Trihcoderma* sp. 4, *Trihcoderma* sp. Т, 2-б, 9-б7, Л/С и Д/Т подавляли рост как фитопатогенных бактерий, так и фитопатогенных грибов (*F. semitectum*, *F. culmorum* и *B. cinerea*).

Воздействие засоления на генерацию активных форм кислорода и стабильность ДНК в клетках протонемы *Physcomitrella patens*

Звонарёв С.Н., Светлаков В.И., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchyk@bsu.by

Засоление является одним из наиболее важных экологических факторов, повреждающих естественные фитоценозы и лимитирующих выращивание культурных растений. Генерация активных форм кислорода (АФК) и индукция запрограммированной клеточной гибели, проявляющаяся в опосредуемом эндонуклеазами разрушении ДНК, являются одними важнейших реакций растительной клетки на засоление. В то же время можно предположить, что мощный окислительный стресс, развивающийся при воздействии высоких уровней NaCl, также может вызывать прямое (неферментативное) разрушение ДНК клетки. Данная возможность пока не протестирована для высших растений. В настоящей работе с использованием протонемы *Physcomitrella patens* (модельной системы для анализа синтеза АФК и деструкции ДНК) был исследован качественный состав АФК, генерируемых при засолении, и проведена оценка происходящих при этом «программируемых» (двойных) и «генотоксических» (одиночных) разрывов ДНК. Было показано, что доминирующей АФК при воздействии NaCl является супероксидный анионный радикал ($O_2^{\bullet-}$), также в значительных количествах синтезируются гидроксильные радикалы ($\bullet OH$), и, в меньшей степени, H_2O_2 . Анализ ДНК комет показали, что обработка 100-500 мМ NaCl вызывает значительное увеличение как дву-, так и одноцепочечных разрывов ДНК. «Тушители» гидроксильных радикалов, такие как тиомочевина или диметилсульфоксид, ингибировали образование разрывов ДНК в ответ на NaCl.

Полученные данные свидетельствуют о том, что NaCl индуцировал как «программируемые», так и «генотоксические» повреждения ДНК в гидроксил-зависимой манере.

**Алелапатычная роля гідроксіантрахінонаў *Frangula alnus* і *Rhamnus cathartica*
Каханоўскі А.І.^{А*}, Спірыдовіч А.У.^А, Новікава А.С.^Б**

^АЦэнтральны батанічны сад НАН Беларусі, лабараторыя прыкладной біяхіміі, Мінск, Беларусь

^ББеларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь

*E-mail: a.kakhanouski@yandex.by

Усе часткі раслін *Frangula alnus* і *Rhamnus cathartica* (сям. *Rhamnaceae*) утрымліваюць гідроксіантрахіноны. Гэтыя фенольныя злучэнні ўяўляюць цікавасць для фармацэўтыкі, але іх роля ў фізіялогіі раслін не высветлена. Ёсць меркаванне, што гэтыя злучэнні могуць адказваць за алелапатыю. Мэта даследавання: на мадэльным арганізме *Allium cepa* вызначыць алелапатычную ролю гідроксіантрахінонаў адносна астатніх фенольных злучэнняў лісьця *F. alnus* і *Rh. cathartica*. Матэрыялы і метады. У водныя экстракты лісьця *F. alnus* і *Rh. cathartica*, расцітраваныя па гідроксіантрахінонам на 4 дозы ($3,38 \cdot 10^{-5}$, $6,75 \cdot 10^{-5}$, $10,13 \cdot 10^{-5}$, $13,5 \cdot 10^{-5}$ моль экв.эмадына/л), высадзілі цыбуліны *A. cepa*. На 10-ы дзень замералі даўжыню каранёў. Вынікі. Па агульнай колькасці фенольных злучэнняў лісце *F. alnus* і *Rh. cathartica* не адрозніваецца ($p = 0,497$). Па колькасці гідроксіантрахінонаў лісьце *F. alnus* перавышае *Rh. cathartica* прыкладна ў 2 разы ($p = 0,012$). Карэляцыйны аналіз паказаў, што існуе вельмі высокая адмоўная карэляцыя паміж даўжынёй каранёў *A. cepa* і канцэнтрацыяй гідроксіантрахінонаў (у абодвух выпадках каэфіцыент карэляцыі складае $-0,98$). Розніцы ў даўжыні каранёў паміж экстрактамі лісьця *F. alnus* і *Rh. cathartica* не вызначана ($p = 0,53$). Выснова. Алелапатычны эффект *F. alnus* і *Rh. cathartica* залежыць ад колькасці гідроксіантрахінонаў ў лісці.

Получение протопластов подсолнечника (*Helianthus annuus* L.)

Абрамова А.С.^А, Соловьев А.А.^Б, Гарибян Ц.С.^{Б*}

^АФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Факультет Биотехнология, Москва, Россия

^БФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, лаборатория маркерной и геномной селекции растений, Москва, Россия

*E-mail: tsovinar1980@mail.ru

В связи с ведущей ролью подсолнечника (*Helianthus annuus*), как одним из важных масличных культур не только в России, но и во всем мире, актуальным становится изучение методов, увеличивающих получение и продуктивность данного растения. Растительные протопласты в настоящее время широко используются в качестве исходного материала для генетических манипуляций с культурными растениями. Успешное выделение протопластов зависит от многих факторов, от сортовых особенностей в том числе и необходимо индивидуально оптимизировать. Цель исследования: оптимизация условий получения протопластов подсолнечника. Объектом исследований являлись три сорта растений подсолнечника: Победа, Джинн и СПК. В качестве эксплантов послужили молодые листья из 2-х недельных проростков растений подсолнечника, выращиваемых в условиях *in vitro*. Для оптимизации концентрации ферментов в ферментном растворе, обработку эксплантов проводили при 16-и часовой ферментации (температура инкубирования $+29^{\circ}\text{C}$, режим центрифугирования 4 мин. при RPM 1000об/мин.). Оценивали эффективность выделения протопластов в зависимости от концентрации ферментов, подсчитывая количество выделенных протопластов под микроскопом. Полученные

экспериментальные данные показали, что для всех применяемых в работе сортов максимальное количество жизнеспособных протопластов выделяется при добавлении ферментов с концентрацией 0,5% Cellulase и 0,5% Macerozyme, а увеличение концентрации данных ферментов свыше 0,5%, приводит к резкому снижению выходу жизнеспособных протопластов. Максимальное количество жизнеспособных протопластов было получено из мезофилла листа подсолнечника сорта Джинн. Продолжается исследование по изучению культивирования полученных протопластов.

**Разработка методов цифрового анализа изображений для Comet Assay растительных клеток с использованием свёрточных нейронных сетей
Светлаков В.И., Звонарёв С.Н., Демидчик В.В.***

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchyk@bsu.by

Растения постоянно подвергаются стрессовым воздействиям различной природы. Влияние стрессоров, помимо негативного воздействия на физиологические процессы растений может приводить к повреждению генетической информации, хранящейся в ядре, т.е. индуцировать так-называемые генотоксические эффекты. Их исследование имеет большое фундаментальное и прикладное значение для биологии растений и биотехнологии. Одним из подходов, позволяющих количественно определить степень повреждения ДНК, является электрофорез одиночных ядер или метод анализа «ДНК-комет» (англ.: Comet Assay). Данная методика универсальна и применима к любым эукариотическим клеткам. Важнейшим этапом интерпретации данных, получаемых при помощи техники ДНК-комет, является анализ изображений флуоресцентно-окрашенных ядер, подвергнутых горизонтальному электрофорезу (ДНК-комет). В работе использовались модельные растения *Arabidopsis thaliana* и *Physcomitrella patens*. В качестве стрессоров использовались тяжелые металлы (свинец, медь, марганец и цинк), ультрафиолетовое облучение, засоление. Работа была проведена с использованием Python 3.9 и библиотек OpenCV для работы с компьютерным зрением и Tensorflow для создания, тренировки и интеграции в программное обеспечение нейронной сети, Pandas для создания отчетов о детекции и табличном выводе результатов, PyQt для создания графического интерфейса. Была создана нейронная сеть со сверточной архитектурой, содержащая 4 сверточных и 4 полносвязных слоя, тренировка происходила на наборе данных размером в 4149 фотографий, при этом 80% изображений использовалось для тренировки, 20% для валидации. Количество тренируемых параметров составляло 1,928,385. Метрика AUC для ROC кривой составила 0.98 для валидационной выборки, метрика точности составила 97 процентов. В созданной программе была заложена функция работы в автоматическом режиме. В сравнении с программным обеспечением «open source» и коммерческим ПО для Comet Assay, созданная программа продемонстрировала точность определения и анализа ДНК-комет, в том числе детерминации одиночных и двойных разрывов ДНК, на уровне ручного анализа человеком-оператором. Подобные программы пока отсутствуют среди коммерческих предложений.

Оценка некоторых показателей антиоксидантной системы трансгенных растений *Nicotiana tabacum* в условиях нарушения водного режима

Приступа К.В.*, Кукулянская Т.А.

Белорусский государственный университет, кафедра биохимии, Минск, Беларусь

*E-mail: kristina.pristupa@mail.ru

Одной из задач учёных является получение растений, отличающихся повышенной устойчивостью к абиотическим стрессовым воздействиям. В таких условиях у растений

происходит активация антиоксидантной защитной системы. Также растения в ответ на стресс продуцируют этилен, избыточное количество которого негативно влияет на растения. Современный способ снижения данного фитогормона – создание трансгенных растений, несущих в своем геноме бактериальный ген *acdS*. Данный ген кодирует 1-аминоциклопропан-1-карбоксилатдезаминазу, которая разрушает предшественник этилена. Объектом исследования выступали нетрансгенные и трансгенные растения *Nicotiana tabacum*, которые несли в своем геноме ген *acdS* бактерий *Pseudomonas putida* B-37. Растения были выращены в нормальных условиях (контрольная серия) и в условиях водного дефицита (опытная серия). Показано, что наименьшая активность супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы обнаружены в растениях контрольной серии. Установлено, что максимальная активность ферментов антиоксидантной защиты в растениях в условиях нарушения водного режима наблюдалась на 6 сутки эксперимента, затем наблюдалось снижение активности исследуемых ферментов. Продемонстрировано, что в трансгенных растениях активность ферментативных антиоксидантов в условиях дефицита влаги ниже, чем в нетрансгенных. Возможно, это связано с тем, что в трансгенных растениях в меньшем количестве образуются активные формы кислорода по сравнению с нетрансгенными.

Сессия 6

Молекулярная эволюция стероидных гормональных систем у Plantae и Animalia Шпаковский Г.В.^{А*}, Бабак О.Г.^Б, Халилуев М.Р.^В, Спивак С.Г.^Г, Шематорова Е.К.^А

^АНациональный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

^БИнститут генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^ВВсероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия

^ГБелорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

*E-mail: yushpak57@mail.ru

Одними из древнейших биорегуляторов живой клетки являются стероидные соединения (стерины и их производные). В отличие от животных и дрожжей, у которых практически единственными стероидными липидами являются соответственно холестерин и эргостерин, в растениях в значительных количествах присутствуют по крайней мере четыре вида фитостероинов: β -ситостерин, кампестерин, стигмастерин и холестерин. Хотя в начале 80-х годов прошлого века был открыт особый класс стероидных фитогормонов – брассиностероиды, только в начале этого столетия доказано, что у высших растений сохранены начальные (до стадии синтеза прогестерона и его первичных производных) этапы впервые описанной для животных и ставшей «классической» схемы синтеза стероидных гормонов, приводящие к синтезу таких характерных для животных стероидов, как прегненолон сульфат, прогестерон, 17-гидроксипрогестерон, 16-дегидропрогестерон и андростендион. Дальнейшие исследования показали, что эта «прогестероновая» гормональная система важна у высших растений как для регуляции роста и развития, так и для неспецифической защиты от биотических (инфекции такими патогенами, как *Botrytis cinerea*, *Alternaria spp*, *Oidium neolycopersici* и *Cladosporium fulvum*) и абиотических (засуха, засоление) стрессов и используется у лекарственных растений в том числе для синтеза ряда важных метаболитов медицинского применения, таких как сердечные гликозиды у наперстянки. Характеристика всех компонентов и механизма функционирования прогестероновой системы гормональной регуляции растений и изучение её взаимодействия с другими гормональными системами растений является важной задачей современной генетики и биотехнологии.

Влияние весеннего и осеннего внесения микробного удобрения Жыцень на агрофизические показатели почвы и урожайность яровой пшеницы
Феклистова И.Н.^{А*}, Маслак Д.В.^А, Урмонас М.^Б, Скакун Т.Л.^А, Гринева И.А.^А, Ломоносова В.А.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра генетики, НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии, Минск, Беларусь

^БUAB Agroconsult, Vilnius, Lithuania

*E-mail: feklitova@bsu.by

Микробное удобрение Жыцень разработано в НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики биологического факультета БГУ и внедрено на производство в ООО «Центр инновационных технологий». Жыцень является комплексным микробным удобрением, предназначенным ускорения разложения пожнивных остатков на полях, повышения урожайности зерновых культур (озимых и яровых) и улучшения качества почвы. Исследования проводились на территории Литовской Республики на протяжении 2018-2019 гг. Оценивали влияние препарата Жыцень на агрофизические свойства почвы (плотность, влажность, твердость и структура почвы), а также урожайность яровой пшеницы и прочность ее соломы. Установлено, что осеннее внесение препарата Жыцень повышает влажность почвы на 0,8 % относительно контроля, снижает в почве долю мега-фракций (размер частиц от 25 мм до 1 мм) на 12,5 % (весеннее – на 9,8 %) и повышает долю микрочастиц. Кроме того, в почве наблюдается повышение содержание гумуса (на 2,49 %), азота (на 0,4 %), повышение всхожести пшеницы на 9,4 шт/м², и ее урожайность на 0,14 т/га. При этом прочность соломы уменьшалась на 24,6 %. Весеннее внесение микробного удобрения повышает влажность почвы на 0,5 %, урожайность на 1,15 т/га. Таким образом, схема применения микробного удобрения может быть скорректирована: препарат Жыцень может применяться как осенью после уборки урожая, так и весной до высева сельскохозяйственных культур путем опрыскивания с дальнейшим задисковыванием.

Влияние света на фотосинтетическую активность хлоропластов огурца

***Cucumis sativus* L. при фузариозе**

Кабашникова Л.Ф.^{А*}, Доманская И.Н.^А, Молчан О.В.^Б

^АИнститут биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БИнститут экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: kabashnikova@mail.ru

Свет является важным индуктором иммунитета растений. Изучены ответные реакции хлоропластов огурца сорта Кустовы, сформированных при разной интенсивности света (180 мкмоль квантов/м² с и 330 мкмоль квантов/м²) или на свету с преобладанием красного ($\lambda=630$) и дальнего красного ($\lambda=730$), на заражение *Fusarium oxysporum*. Количество хлорофиллов и каротиноидов в хлоропластах, сформированных при пониженной освещенности, возрастало через 72 ч после инфицирования, а при повышенной освещенности наблюдали существенное усиление катаболизма пигментов. При фузариозе в условиях изученного светового диапазона не был задействован виолаксантинный цикл, а фотохимическая активность хлоропластов мало зависела от уровня освещенности. Преобладание красного или дальнего красного света вызывало увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов в пересчете на сухую массу листа по сравнению с растениями, выращенными на белом свету. Заражение на белом и красном свету вызывало увеличение общего содержания хлорофиллов и каротиноидов, а на дальнем красном свету отмечено снижение этих показателей относительно здоровых растений. Обсуждаются различные механизмы ответной реакции

хлоропластов огурца на инфицирование патогеном в зависимости от световых условий формирования фотосинтетических мембран.

Бактерии рода *Bacillus* и сигнальные молекулы в индуцировании комплексной устойчивости растений к вирусному заражению и недостатку почвенного влагообеспечения

Калацкая Ж.Н.^{А*}, Балюк Н.В.^А, Недведь Е.Л.^А, Рыбинская Е.И.^А, Герасимович К.М.^А, Яруллина Л.Г.^Б, Ламан Н.А.^А

^АИнститут экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БИнститут биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: kalatskayaj@mail.ru

Одним из путей экологически безопасного повышения устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям биотической и абиотической природы является научно обоснованное применение непатогенных ризосферных бактерий. Защитный спектр биопрепаратов на основе бактерий рода *Bacillus* можно значительно расширить, комбинируя их применение с сигнальными молекулами растительной клетки. Установлено, что биологическая активность составов на основе бактерий *Bacillus subtilis* повышается при включении метилжасмоната и салициловой кислоты. При выращивании инфицированных растений картофеля в условиях оптимального почвенного водообеспечения применение состава позволило снизить накопление У-вируса в растительной ткани, стимулировать рост и снизить стресс-индуцируемое накопление пролина, фенольных соединений, растворимых углеводов и активность основных антиоксидантных ферментов, вызвало изменение соотношения синтезируемых фенолкарбоновых кислот. Состав *Bacillus subtilis* с салициловой кислотой и метилжасмонатом в условиях совокупно действующих стрессовых факторов – водного дефицита и вирусного заражения - способствовал активизации растениями картофеля защитных реакций и формированию комплексной устойчивости, вероятно, путем регуляции преимущественно жасмонат-индуцируемых сигнальных путей. Применение *B.subtilis* с МеЖ и СК привело к увеличению массы и количества миниклубней с единицы площади, содержанию аскорбиновой кислоты в них.

Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта Б20Р-154 БРФФИ.

Анализ регуляции трансляции в условиях холодового стресса (на модели томата) Сухорукова А.В., Тюрин А.В., Голденкова-Павлова И.В.*

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

*E-mail: sualsha@yandex.ru

Изучение дифференциальной трансляционной активности генов растений в условиях низкотемпературного стресса направлено на исследование механизмов формирования низкотемпературной устойчивости у растений. В качестве модели использованы растения томатов *Solanum lycopersicum*, геном которого определен и аннотирован. Для реализации научной задачи растения томатов выращены в нормальных условиях жизнедеятельности - температура +22°C, 16-часовой фотопериод и освещенность 100 мкмоль/(м²с), в возрасте шести недель (5–7 листьев), после этого проведено закаливание растений климатической камере при следующих условиях: температура +4°C, 16-часовой фотопериод и освещенность 100 мкмоль/(м²с) с последующим низкотемпературным стрессом для растений (после закаливания и без применения закаливания) при температуре ±1°C в течение 2 часов. На основании классических физиолого-биохимических маркеров (индекс повреждения за счет оценки выхода электролитов, накопление сахарозы и малонового диальдегида) оценена стрессовая реакция на низкотемпературное воздействие. Оценен трансляционный статус индивидуальных мРНК в масштабе транскриптома растений томатов в условиях

низкотемпературного стресса (закаливание и краткосрочно действие низких положительных температур) и при нормальных условиях жизнедеятельности. Для этого выделена суммарная РНК и проведено полисомное профилирование мРНК растений томата, выращенных в условиях холодного стресса и при нормальных условиях жизнедеятельности с последующим секвенированием общего транскриптома (суммарная РНК), а также пулов мРНК моносомной и полисомной фракций, полученных в ходе полисомного профилирования.

Механизмы адаптации фотосинтетического аппарата растений ячменя, обработанных 5-аминолевулиновой кислотой, к засухе

Курьянчик Т.Г.*, Козел Н.В.

Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: t.kuryanchyk@gmail.com

Засуха является наиболее существенным стрессовым фактором, который приводит к изменению важных физиолого-биохимических процессов в растительном организме, что в значительной степени влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур. Целью данной работы являлось изучение действия почвенной засухи на состояние фотосинтетического аппарата листьев ячменя, обработанных 5-аминолевулиновой кислотой (АЛК). В качестве объекта исследования использовали проростки ячменя засухоустойчивого сорта «Бровар» и сорта «Аванс», выращенные в лабораторных условиях в почве и обработанные путем опрыскивания АЛК в концентрации 10 мг/л. В них определяли содержание активных форм кислорода, фотосинтетических пигментов и белков пигмент-белковых комплексов фотосистем. Установлено существенное влияние почвенной засухи на накопление активных форм кислорода, а также содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя сортов «Бровар» и «Аванс». Обнаружена тонкая подстройка компонентов фотосинтетического аппарата, в частности, изменение количества отдельных белков пигмент-белковых комплексов листьев ячменя сорта «Бровар», обработанных АЛК, при засухе, что может быть одним из ключевых факторов, определяющих устойчивость этого сорта к данному виду абиотического стресса. У сорта «Аванс» такие адаптационные механизмы либо отсутствуют, либо проявляются в меньшей степени, что приводит к более интенсивному развитию окислительного стресса в растениях этого сорта при действии почвенной засухи.

Сессия 7

Две стратегии накопления цинка у растений

Серегин И.В.^{А*}, Кожевникова А.Д.^А, Схат Х.^Б

^АИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

^БСвободный Университет, Амстердам, Нидерланды

*E-mail: ecolab-ipp@yandex.ru

Проведен анализ способности гипераккумуляторов (*Arabidopsis halleri*, *Noccaea japonicum*, а также 28 экотипов *Noccaea caerulescens*) и исключателей (*Microthlaspi perfoliatum*, *Thlaspi arvense*) накапливать цинк (Zn). Растения выращивали в гидропонике в присутствии соли Zn [2 – 2750 мкМ (*A. halleri*); 2 – 5750 мкМ (*N. caerulescens*); 2 – 2250 мкМ (*N. japonicum*); 2 – 250 мкМ (*M. perfoliatum* и *T. arvense*)]. Содержание Zn определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, а распределение – гистохимическими методами. Содержание Zn в побегах *N. caerulescens*, *N. japonicum* и *A. halleri* было выше, чем у других видов. Вариация по способности накапливать Zn 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 маталлоносные почвы *de novo*. У всех изученных видов Zn найден во всех тканях корня и накапливался в апексе корня, примордиях боковых корней и в корневых волосках. В клетках коры Zn выявлялся преимущественно в апопласте, а остальных тканях – также в протопластах клеток. В побегах Zn выявлялся преимущественно в проводящих пучках и эпидерме, главным образом в замыкающих и основных клетках. Содержание Zn в мезофилле было низким, что позволяет рассматривать накопление Zn в эпидерме гипераккумуляторов в качестве механизма его детоксикации.

Влияние экзогенного гистидина на поглощение и транслокацию никеля и цинка у гипераккумулятора *Noccaea caerulescens* при раздельном и комбинированном действии металлов

Кожевникова А.Д.^{А*}, Серегин И.В.^А, Схат Х.^Б

^АИнститут физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

^БСвободный Университет, Амстердам, Нидерланды

*E-mail: ecolab-ipp@yandex.ru

Изучено влияние L-гистидина на поглощение и транслокацию никеля (Ni) и цинка (Zn) при раздельном и комбинированном действии у гипераккумулятора Ni и Zn *Noccaea caerulescens* популяций Monte Prinzera (MP), Puente Basadre (PB) с серпентиновых почв и La Calamine (LC), St. Félix de Pallières (SF) и Durfort (Du) с каламиновых почв. Цинк в значительной степени ингибировал поглощение Ni у растений популяций Du, SF и MP, но не у LC, тогда как значительного влияния Ni на поглощение Zn не наблюдалось. Цинк в большинстве случаев не оказывал существенного влияния на загрузку Ni в ксилему, тогда как Ni у растений LC и SF ингибировал транслокацию Zn, хотя значительное снижение наблюдалось только у растений, предобработанных гистидином. У MP и Du Ni не влиял ни на загрузку Zn в ксилему, ни на концентрацию Zn в пасоке. Предобработка экзогенным L-гистидином не оказывала существенного влияния на транслокацию Zn у интактных растений PB, но усиливала транслокацию Zn у LC и SF, а также транслокацию Ni у растений всех популяций. Таким образом, высокая концентрация гистидина в корнях *N. caerulescens*, может не только объяснить сохраняющуюся на уровне вида способность к гипераккумуляции Ni, но также может способствовать транслокации Zn, по крайней мере, у растений популяций, произрастающих не на богатых Ni ультраосновных почвах.

Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда (проект № 21-14-00028, <https://rscf.ru/project/21-14-00028/>).

Оптимизация метода трансформации гречихи посевной *Agrobacterium rhizogenes*

Ильина Е.Л.*, Гусева Е.Д., Пучкова В.А., Кирюшкин А.С., Демченко К.Н.

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

*E-mail: eilina@binran.ru

Для изучения большинства процессов развития оптимальной моделью являются композитные растения с побегом дикого типа и трансгенной корневой системой, образующиеся в результате инокуляции растений *Agrobacterium rhizogenes*. Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) является важной сельскохозяйственной культурой, подходы к агробактериальной трансформации которой остаются недостаточно разработанными. Целью данной работы была оптимизация метода агробактериальной трансформации гречихи посевной. Основой для оптимизации послужила методика, разработанная нами ранее для гречихи сорта «Баллада». Использовали семена гречихи сортов «Даша», «Диана» и «Дикуль». Очищенные семена

подвергали поверхностной стерилизации в смеси перекиси и этилового спирта, промывали и проращивали на водном агаре. Основание гипокотилия 4-х дневных проростков инокулировали штаммами R1000, A4, R1601 и MSU440 *A. rhizogenes*. Клетки агробактерий содержали вектор 242 pK_{GW-DR5::mNeonGreen}, позволяющий отбор трансгенных корней по флуоресценции белка *DsRED1*. Были применены различные протоколы инокуляции: с использованием вакуума, с нанесением бактериальной суспензии или пасты, с поранением интактных растений иглой или приготовлением апикальных эксплантов, с добавлением антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, цистеина, глутатиона) в среду для ко-культивации. Трансформанты после элиминации агробактерий выращивали в вермикулите или в аэропонной системе. Оптимальным протоколом является инокуляция апикальных эксплантов гречихи сорта «Диана» суспензией агробактерий штамма R1000 под вакуумом, кокультивация на среде MC без антиоксидантов и выращивание композитных растений в аэропонной системе. Эффективность метода составила 6,25%.

Исследования поддержаны грантом РФФИ 20-016-00233-а.

Реакция растений *Sinapsis alba* L. и *Brassica juncea* L. на избыток цинка в субстрате

Репкина Н.С.*, Нилова И.А., Казнина Н.М.

Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

*E-mail: nrt9@ya.ru

Цинк является важным микроэлементом для жизнедеятельности растений, но его высокие концентрации токсичны для них. Известно, что растения обладают механизмами устойчивости к тяжелым металлам, которые могут по-разному реализовываться у видов с разной стратегией их накопления. В частности, *S. alba* является исключением и накапливает металлы преимущественно в корнях, тогда как *B. juncea* – гипераккумулятор с преимущественным накоплением металлов в побегах. Целью исследования явилось сравнительное изучение влияния избытка цинка (300 мг/кг) в субстрате на реакцию растений *S. alba* и *B. juncea*. Обнаружено, что избыток цинка не оказывает ингибирующего действия на высоту побега исследуемых видов. Однако биомасса *B. juncea* в этих условиях снижалась (по отношению к контролю), а биомасса *S. alba* – повышалась. Кроме того, у обоих видов растений при избытке цинка увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов. При этом, содержание каротиноидов у *S. alba* – снижалось, а у *B. juncea* оставалось на уровне контроля. Помимо этого, избыток цинка негативно влиял и на семенную продуктивность, приводя к уменьшению количества семян и их биомассы. В целом, реакция растений *S. alba* и *B. juncea* на избыток цинка несколько различается, что вероятно, связано с разной стратегией накопления металлов и реализацией механизмов устойчивости, однако негативный эффект на семенную продуктивность наблюдается у обоих видов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00668

Toxic and signaling effects induced by Ni²⁺ and complexes of Ni²⁺ with histidine in roots of higher plants

Mackievic V.^A, Kozhevnikova A.^B, Seregin I.^B, Yu M.^C, Huang X.^C, Demidchik V.^{A,C*}

^ABelarusian State University, Minsk, Belarus

^BTimiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^CInternational Research Centre for Environmental Membrane Biology, Foshan University, Foshan, China

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

In response to excess nickel content in the soil, many plants synthesize and excrete histidine (His), which binds Ni²⁺ and forms complexes. In the present work, the hypothesis was tested according to which the formation of Ni-histidine complexes causes activation of the redox- and Ca²⁺-signaling systems, contributing to the recognition of Ni²⁺ excess in the environment. *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. root growth inhibition was observed beginning from 3 to 30 μM Ni²⁺ depending on cultivation method (sterile gel systems or hydroponics), plant development stage, and treatment techniques (germination or medium exchange). The addition of Ni²⁺ with His at a ratio of 1:2 had a protective effect against the toxic effects of Ni²⁺. His stimulated the accumulation of nickel in the roots, but inhibited the translocation of this metal into the aboveground organs. Using EPR spectroscopy, it was shown that the treatment with 0.01-3 mM Ni²⁺ did not cause the formation of hydroxyl radicals (HO•) under standard conditions, in the presence of 1 mM of L-ascorbate and 1 mM of H₂O₂. At the same time, the introduction of nickel together with His induced the synthesis of HO•. Similar effects were found when registering ROS using fluorescent ROS-sensitive probes. ROS synthesis under Ni²⁺-His₂ treatment was inhibited by dimethyl sulfoxide (free radical scavenger), suggesting that it was related to hydroxyl radicals. In aequorin-transformed plants, the addition of 0.01-3 mM Ni²⁺ did not cause changes in the level of cytosolic Ca²⁺ ([Ca²⁺]_{cyt.}), but a significant Ca²⁺ signal was generated after addition of Ni²⁺-His₂. Hypothetically, in the presence of His, nickel formed ROS-generating complexes causing redox-dependent activation of Ca²⁺-permeable cation channels and a transient increase in [Ca²⁺]_{cyt.}. The work also revealed expression of genes responsible for the processes of signal transduction, DNA repair, and antioxidant protection to be stimulated in the presence of Ni²⁺, but not in the presence of Ni²⁺-His₂. Experiments with agricultural species showed high sensitivity to nickel of wheat and sunflower and low sensitivity of pea plants (pea growth was observed until 10 mM Ni²⁺ in the medium).

Приживаемость микроклональных растений разных видов лип на этапе адаптации

Петров Г.В., Каган Д.И.*, Осипенко Н.В.

Институт леса НАН Беларуси, научно-исследовательский отдел генетики, селекции и биотехнологии, Гомель, Беларусь

*E-mail: quercus-belarus@mail.ru

Липа – одно из наиболее распространенных деревьев в городских насаждениях. Ведение селекционной работы, сохранение ценных генотипов и производство качественного посадочного материала определяют перспективность разработки и внедрения биотехнологических методов размножения древесных растений, включая представителей *Tilia spp.* Изучена приживаемость микроклональных растений *Tilia cordata* Mill. и *Tilia platyphyllos* Scop. на этапе адаптации, укоренение которых проводилось на шести вариантах питательных сред различного минерального и гормонального состава. Наибольшая приживаемость для обоих видов отмечена у растений, ризогенез которых осуществлялся на питательной среде состава ½ MS, 0,3 мг/л НУК, 10 г/л сахарозы (*T. cordata* – 74,29%, *T. platyphyllos* – 90,00%) и ½ MS без

агара, стерильный субстрат перлит : вермикулит (1:1), 10 г/л сахарозы (73,88 и 81,25% соответственно). Во втором случае микроклональные растения характеризовались более интенсивным ростом и развитием. Высокая приживаемость растений *T. cordata*, в отличие от *T. platyphyllos*, установлена для варианта ½ MS, 0,3 мг/л ИМК, 10 г/л сахарозы (80,56 и 42,86% соответственно).

Сессия 8

Изучение взаимосвязи генетической регуляции накопления флавоноидов и каротиноидов в зависимости от аллельного состава генов, определяющих качество плодов томата

Бабак О.Г.^{А*}, Некрашевич Н.А.^А, Дрозд Е.В.^А, Анисимова Н.В.^А, Яцевич К.К.^А, Соловьева А.Е.^Б, Курина А.Б.^Б, Артемьева А.М.^Б, Фатеев Д.А.^Б, Кильчевский А.В.^А

^АИнститут генетики и цитологии НАН Беларуси, лаборатория экологической генетики и биотехнологии, Минск, Беларусь

^БВсероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: O.Babak@igc.by

Выполнен биохимический анализ накопления каротиноидов и антоцианов у форм томата в зависимости от аллельного состава структурных и регуляторных генов качества плодов на широкой коллекции образцов Института генетики и цитологии и ВИР. ДНК-скрининг форм томата осуществлялся по целевым аллелям: *rin*, *nor*, *r*, *at*, *t*, *og*, *og^c*, *B*, *gf-3*, *gf-5*, *hp-1*, *hp-2^{dg}*, *u*, *gs*, *SlMyb12*, *Ant1*. На основе сопоставления данных молекулярной оценки и биохимического анализа получены следующие результаты: показано повышение концентрации пигментов в плодах при наличии в генотипе аллелей: *U*, *hp-2^{dg}*, аллелей *gf*; подтверждены закономерности накопления форм каротинов в плодах томата в зависимости от аллелей гена ликопин-β-циклазы: максимальное накопление ликопина у форм с сочетанием аллелей *og^c*, каротина – с аллелем *B*, преимущественное накопление ликопина – у форм с аллелем *b*; выявлен характер взаимосвязи генетической регуляции накопления флавоноидов и каротиноидов: максимальное накопление антоцианов в плодах томата, в генотипе которых присутствуют аллели *Ant1*, *Y*, *U*, сопряжено с уменьшением концентрации ликопина в плодах; наличие аллеля у гена халконсинтазы увеличивает накопление ликопина в плодах томата. Отобраны образцы *S. lycopersicum* с различным сочетанием аллелей генов накопления флавоноидов и каротиноидов как для дальнейшего изучения генетической регуляции накопления пигментов в плодах и использования в селекционном процессе, направленном на создание форм с высоким уровнем антиоксидантной активности.

Коллекция бородатых корней «*hairy roots*», как основа для фундаментальных и прикладных исследований

Степанова А.Ю.*, Соловьева А.И., Малунова М.В., Евсюков С.В., Карпычев И.В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, группа специализированного метаболизма корней Отдела биологии клетки и биотехнологии, Москва, Россия

*E-mail: step_ann@mail.ru

В связи с ростом населения, нестабильностью климатических условий и уменьшением территорий, возникает необходимость в привлечении современных генетических подходов для получения высокопродуктивного растительного материала. Данное утверждение относится как к созданию сортов растений, так и получению нового фармацевтического сырья. Генетическая трансформация растительных клеток с

помощью *Agrobacterium rhizogenes* обеспечивает получение стабильно и быстро растущих «*hairy roots*» ценных лекарственных растений, которые синтезируют корнеспецифичные вещества, содержание которых сопоставимо с корнями целого растения. Коллекция *hairy roots* ИФР РАН (Россия), была основана Кузовкиной И.Н. на базе Группы специализированного метаболизма корней. В настоящее время коллекция содержит более 50 штаммов ценных лекарственных растений, относящихся к 16 семействам, в частности, представителей рода *Rauvolfia*, *Ruta*, *Rubia*, *Rhodiola* и *Scutellaria* и т.д. Развитие группы происходит в трех направлениях: фундаментальные исследования, связанные с выяснением роли вторичных метаболитов в защите растительных клеток от стрессов; прикладные исследования, связанные с поиском новых продуцентов биологически активных соединений; создание генетического паспорта коллекции. Генотипирование линий бородачатых корней основано на изучение положения T-ДНК в геноме растения с использованием метода обратной ПЦР. В частности, в линии *Scutellaria baicalensis* (Sc.baic.V) показано, что вставка T-ДНК частична дублирована. В данный момент нами проводятся работа по определению точного местоположения вставки T-ДНК в геноме линий. Таким образом, коллекция бородачатых корней – новое перспективное направление, требующее всестороннего изучения.

Использование метода RAPD для оценки реакции растений *Solanum Lycopersicum* на светодиодное освещение различного спектрального состава

Никонович Т.В.*, Шестерень П.В., Баева И.Е.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки, Беларусь

*E-mail: tvnikonovich@gmail.com

Искусственное освещение применяется в тех случаях, когда выращиваемые растения не могут в полной мере реализовать свой биологический потенциал за счёт природных условий. Подбор светильников, используемых для данной цели, осложняется требованиями культуры к свойствам приходящего светового излучения. В большей степени влияние на развитие растений оказывает спектральный состав света. Для оценки его воздействия на растительный организм использовался RAPD метод. Объектами для исследования служили растения *Solanum Lycopersicum* сорта Тамара, которые культивировались при различном светодиодном освещении, всего 11 вариантов. Оценка электрофореграмм позволила выявить образцы, полученные при эффективности излучения фотонов 1,86 мкмоль/(с·Вт), которые демонстрировали проявление новых фрагментов, не свойственных остальным пробам по всем используемым праймерам, а также отсутствие большинства фрагментов, наблюдавшихся у испытуемых растений. Образцы, сформировавшиеся при эффективности излучения фотонов 1,95; 1,89; 1,93 мкмоль/(с·Вт) показывали отсутствие некоторых фрагментов, имеющих у остальных вариантов, в том числе у контрольных растений. Исходя из полученных результатов, следует отметить целесообразность применения метода RAPD для исследования реакции растений на различные спектральные составы светодиодного освещения.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ по гранту № Б21-069 от 01.07.2021 г.

Трансгенные растения семейства *Solanaceae* как экспериментальная модель в репродуктивной биологии покрытосеменных

Халилуев М.Р.^{А,Б*}, Демиденко Д.В.^{А,Б}, Варламова Н.В.^А

^АФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, Россия

^БФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева, кафедра биотехнологии, Москва, Россия

*E-mail: marat131084@rambler.ru

На модели трансгенных растений томата, экспрессирующих гены защитных PR-4 белков *Amaranthus caudatus* (*ac*) и *A. retriflexus* (*RS-intron-Shir*), а также гевеиноподобных антимикробных пептидов *Stellaria media* (*amp2*), были установлены причины возникновения аномалий развития генеративных органов, возникающих в результате нарушения идентичности флоральной меристемы. Это выражается в формировании эктопических генеративных побегов, которые в ряде случаев приводят к образованию многоярусных партенокарпических плодов. Причина отсутствия нормального оплодотворения – формирование дефектной пыльцы. Цитоэмбриологический анализ семязачатков установил, что зародышевый мешок развивался нормально, однако впоследствии дегенерировал. При этом семяпочка продолжала дифференцировку за счет пролиферации клеток эндотелия, которые формировали на месте зародышевого мешка псевдоэмбриональную ткань. Кроме того, на основе самосовместимого и самонесовместимого генотипов петунии получены трансгенные линии с целевой последовательностью *MAP-MBD*, кодирующая слитый репортерный белок mCherry для прижизненной визуализации микротрубочек. Полученные трансгенные линии являются удобной моделью для изучения роли тубулинового цитоскелета в регуляции роста мужского гаметофита в прогамной фазе оплодотворения, включая механизм гаметофитной самонесовместимости S-RNКазного типа.

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-24-01148.

Сессия 9

Тубулиновый цитоскелет в симбиотических клубеньках Бобовых

Цыганов В.Е.^{А*}, Китаева А.Б.^А, Кусакин П.Г.^А, Горшков А.П.^А, Цыганова А.В.^А

^АВсероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, лаборатория молекулярной и клеточной биологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

*E-mail: vetsyganov@arriam.ru

Дифференцировка растительных клеток в симбиотических клубеньках Бобовых основана на реорганизации тубулинового цитоскелета. Нами был проведен анализ организации тубулинового цитоскелета у трех видов, формирующих недетерминированные клубеньки (с продолжительной активностью меристемы) и четырех видов с детерминированными клубеньками (с ограниченной активностью меристемы). В меристематических клетках в клубеньках всех анализируемых видов кортикальные микротрубочки формировали неупорядоченный паттерн (они перекрещивались под разными углами), а эндоплазматические микротрубочки связывали ядро с периферией клетки. В инфицированных клетках в клубеньках всех изученных видов эндоплазматические микротрубочки были ассоциированы с инфекционными нитями и инфекционными каплями, определяя направление их роста. В неинфицированных клетках кортикальные микротрубочки формировали нерегулярный паттерн в клубеньках *Glycine max* и *G. soja*, в отличие от всех других видов, для которых был характерен регулярный паттерн (микротрубочки были

ориентированы поперечно продольной оси клетки). В недетерминированных клубеньках в инфицированных клетках микротрубочки формировали неупорядоченный паттерн, а в зрелых детерминированных – упорядоченный. Выявленные различия в организации кортикальных микротрубочек в недетерминированных и детерминированных клубеньках указывают на возможный переход в ходе эволюции инфицированных клеток от анизотропного роста в детерминированных клубеньках к изодиаметрическому росту в недетерминированных клубеньках. Можно предположить, что этот переход обеспечил эволюционное преимущество видам Бобовых с недетерминированными клубеньками, что позволяет им более эффективно размещать симбиосомы в инфицированных клетках.

Работа поддержана РНФ 21-16-00117.

Молекулярные коммуникации в патосистемах с участием *Pectobacterium* spp.

Николайчик Е.А.^{А*}, Колубако А.В.^А, Крук А.Н.^А, Дюбо Ю.В.^А, Игнатенко Е.И.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра молекулярной биологии, Минск, Беларусь

*E-mail: nikolaichik@bio.bsu.by

Pectobacterium spp. являются патогенами многих видов растений и традиционно рассматривались как малоспециализированные некротрофные патогены, полагающиеся при заражении растений в основном на свой богатый арсенал гидролитических экзоферментов, способных разрушать клеточные стенки и в конечном итоге вызывать гибель клеток растения-хозяина. Последние достижения геномики и молекулярной фитопатологии показали более узкую специализацию отдельных видов (и тем более штаммов) пектобактерий и выявили достаточно сложные молекулярные коммуникации между пектобактериями и их растениями-хозяевами. Наши исследования выявили механизмы сигнализации между растениями и пектобактериями, опосредуемые рядом ключевых метаболитов:

- продуктами деградации клеточной стенки растений,
- катионами кальция и магния,
- анионами нитрата,
- ацилгомосеринлактонами,
- фенольными соединениями растений,
- эффекторными белками пектобактерий, включая штаммоспецифический эффектор с нуклеазной активностью,
- фитогормонами и их аналогами, продуцируемыми пектобактериями.

В докладе будут рассмотрены сигнальные цепочки, активируемые указанными метаболитами в клетках патогена и его хозяина, и обсуждены видо- и штаммоспецифические аспекты взаимодействий между двумя организмами. Также будет рассмотрено влияние вирусов картофеля на исход взаимодействия с пектобактериями.

Анализ метаболомного своеобразия красных, бурых и зеленых водорослей акватории Белого моря.

Пузанский Р.К.^{А*}, Киселёв Г.А.^Б, Шишова М.Ф.^В, Шаварда А.Л.^А, Емельянов В.В.^{Б,Г}

^АБотанический институт им. В. Л. Комарова РАН, лаб. аналитической фитохимии, Санкт-Петербург, Россия

^БСанкт-Петербургский государственный университет, каф. ботаники, Санкт-Петербург, Россия

^ВСанкт-Петербургский государственный университет, каф. физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия

^ГСанкт-Петербургский государственный университет, каф. генетики и биотехнологии, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: puzansky@binran.ru

Были проанализированы профили метаболитов 30 видов красных, бурых и зелёных макрофитных водорослей, собранных в акватории Белого моря. Красные водоросли отличались наибольшим набором метаболитов (> 600), немного отставали от них бурые (\approx 500), а для зеленых было детектировано наименьшее число метаболитов (\approx 300). Анализ без учителя (PCA, MDS, HCA) показал, что профили группируются согласно таксономической принадлежности. Классификация методами OPLS-DA и Random Forest в сочетании с MSEA позволила выявить метаболиты и пути, с которыми связаны различия таксономических групп. Археопластиды, особенно красные водоросли, отличались от бурых, большим уровнем метаболитов, связанных с путями обмена аминокислот. Для бурых водорослей были характерны более высокие уровни соединений, связанных с метаболизмом сахаров, глиоксилата и липидов. Сравнение метаболомов красных и зеленых водорослей выявило, что для красных свойственна большая активность путей обмена гексоз и аскорбата, а для зелёных – гликолиза и ПФП. Корреляционный анализ уровня содержания метаболитов показал наличие групп, объединяющих карбоксилаты и жирные кислоты, а также несколько групп аминокислот.

Работа выполнена при поддержке плановой темы № АААА-А18-118032390136-5 БИН РАН.

Участие липид транспортирующих белков (ЛТБ) и абсцизовой кислоты (АБК) в адаптации корней гороха (*Pisum sativum* L.) к засолению

Иванов Р.С.^{А*}, Ахиярова Г.Р.^А, Иванов И.И.^А, Финкина Е.И.^Б, Мельникова Д.Н.^Б, Богданов И.В.^Б, Нужная Т.В.^А, Овчинникова Т.В.^Б, Веселов Д.С.^А, Кудоярова Г.Р.^А

^АУфимский Институт биологии Уфимского ФИЦ РАН, Уфа, Россия

^БИнститут биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

*E-mail: ivanovirs@mail.ru

Липид транспортирующие белки (ЛТБ) участвуют во многих важных физиологических процессах в растениях. Мы изучали взаимодействие между ЛТБ и абсцизовой кислотой (АБК, «стрессовый» гормон) и их взаимное участие в отложении суберина в эндодерме корней гороха, подвергнутых солевому стрессу. С помощью иммулокализации было впервые показано индуцированное NaCl накопление ЛТБ и АБК в клеточных стенках флоэмы параллельно с отложением суберина в области эндодермы корней гороха. В отличие от ЛТБ, локализованных вокруг клеток флоэмы, АБК также присутствовала внутри этих клеток. Кроме того, обработка АБК приводила к накоплению как ЛТБ, так и АБК в клетках флоэмы и способствовала отложению суберина в корнях. Эти результаты свидетельствуют о важности накопления АБК, индуцированного NaCl, в увеличении содержания ЛТБ и суберина. С помощью молекулярного моделирования и

флуоресцентной спектроскопии мы подтвердили способность различных ЛТБ растений, в том числе Ps-LTP1 гороха, связывать АБК. Поэтому мы предполагаем участие ЛТБ растений в транспорте АБК (выгрузка из флоэмы) в качестве одного из механизмов адаптации к засолению.

**Дифференциация российских сортов фестулолиума с помощью SCoT-маркеров
Мавлютов Ю.М.*, Шамустакимова А.О., Клименко И.А.**

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса
ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», Лобня, Россия

*E-mail: yulian92@mail.ru

Важнейшим условием успешного сохранения и использования сортов сельскохозяйственных культур является их идентификация и контроль генетической изменчивости. В настоящее время для этих целей широко используются различные типы молекулярных ДНК-маркеров. В наших исследованиях SCoT (*Start Codon Targeted Polymorphism*) техника маркирования использовалась при анализе российских сортов фестулолиума с целью выявления информативных маркеров для межсортовой дифференциации. Фестулолиум (*Festulolium* F. Aschers. et Graebn.) – нетрадиционная злаковая культура, полученная методом отдаленной гибридизации *Festuca* spp. (овсяница луговая или тростниковая) и *Lolium* spp. (райграсс пастбищный или многоукосный). Отличается от исходного материала повышенным долголетием, высокой семенной продуктивностью и устойчивостью к полеганию. Генотипирование пяти российских сортов фестулолиума (Аллегро, Пилигрим, Фест, Изумрудный, Айвенго) провели на «балк-образцах» геномной ДНК (по 30 генотипов на сорт), выделенной SDS-методом с модификациями. Использовали 25 SCoT-маркеров, успешно применяемых в последние годы для молекулярно-генетического анализа разных видов злаковых трав. Из общего набора выделены 20 маркеров, с помощью которых удалось получить 115 полиморфных фрагментов размером от 431 до 3518 п.н. Средний уровень полиморфизма составил 25,4%. По результатам анализа проведена кластеризация и построена UPGMA-дендрограмма, разделяющая исследуемые сорта на две группы. В первой группе оказались образцы, близкие к райграсу по морфологическому типу, согласно селекционным учетам и наблюдениям. В отдельном кластере разместился сорт Изумрудный – «овсяничного» морфотипа. Итоговый анализ главных компонент (РCoA) также дифференцировал исследуемые образцы в соответствии с их известной морфологией. Кроме того, среди сортов «райграсового» морфотипа заметно выделялся сорт Аллегро, имеющий уникальные ДНК-профили по маркерам SCoT 11, SCoT 13, SCoT 15, SCoT 26, SCoT 59 и SCoT 63. При этом Айвенго, Фест и Пилигрим оказались наиболее близкими по генетической структуре. Полученные результаты имеют практическое значение для селекции и сортовой идентификации фестулолиума.

Экспериментальные подходы к моделированию засухи

Шумилина Ю.С.^{А*}, Леонова Т.С.^{А,С}, Ким А.^С, Билова Т.Е.^{В,Д}, Фролов А.А.^{А,С,Д}

^АСанкт-Петербургский государственный университет, Кафедра Биохимии, Санкт-Петербург, Россия

^ВСанкт-Петербургский государственный университет, Кафедра Физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия

^СИнститут биохимии растений им. Лейбница, Кафедра Биоорганической Химии, Халле, Германия

^ДИнститут Физиологии Растений им. К.А. Тимирязева, Лаборатория клеточной регуляции, Москва, Россия

*E-mail: schumilina.u@yandex.ru

Засуха – одна из самых распространенных форм абиотического стресса. Она характеризуется снижением водного потенциала среды и оказывает непосредственное влияние на состояние растений. События, запускаемые дефицитом воды, приводят к развитию окислительного стресса, который оказывает разрушительное действие на работу всех внутриклеточных процессов, а значит, на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных растений. Ввиду высокой важности и крайней актуальности изучения вопроса влияния этого вида стресса на растительный организм, наряду с моделью, базирующейся на прекращении полива, используются модели на основе агара и гидропонной системы. В рамках этой модели, снижение водного потенциала в среде достигается путем добавления осмотически активных веществ, чаще всего, полиэтиленгликоля (ПЭГ) с различной молекулярной массой. В нашей лаборатории было проведено всестороннее изучение потенциала каждой из этих моделей в отношении моделирования осмотического стресса и связанной с ним засухи. Для создания гидропонной и агаровой модели использовались растворы полиэтиленгликоля (ПЭГ) 8000 с концентрацией 5, 10, 15 и 20% (об/об), в то время как для постановки модели с остановкой полива изучалось прекращение ирригации до двух недель. Для оценки эффективности моделей, нами был разработан репрезентативный набор методов для получения объективной физиологической и биохимической характеристики ответа растений на действия стрессора. При этом, эффективность рассматриваемым моделям оценивалась как для модельных растений (*Арабидопсис*), так и для культурных – рапс (*Brassica napus*) и горох посевной (*Pisum sativum*). Полученные нами результаты показали различную динамику развития осмотического стресса в случае каждого типа моделей, что необходимо учитывать при их применении. Так, гидропонная модель показала наиболее сильный и быстро развивающийся ответ, в то время как техника прирывания полива показала медленное нарастание симптомов засухи.

Влияние LED-освещения разного спектрального состава на регуляцию ростовых и фотосинтетических процессов *A. thaliana*

Куделина Т.Н.^{А*}, Молчан О.В.^А, Пилипович Т.С.^В, Кабашникова Л.Ф.^В,

Кривобок А.С.^В, Бибикова Т.Н.^Г

^АИнститут экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^ВИнститут биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^ВИнститут медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

^ГМосковский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: 10tan10@mail.ru

С использованием ранее разработанной методики культивирования растений *A. thaliana*, сочетающей применение питательной среды на основе фитогеля и гидрофильной мембраны из гидратцеллюлозной пленки, отделяющей корневую систему растения от среды, впервые изучено влияние LED-освещения, включающего

все диапазоны физиологически активной радиации (400-800 нм) в различном соотношении на рост и развитие арабидопсиса дикого типа и мутантов *wei8-1tar1-1* и *ahk2*. Установлено участие рецепторов гистидинкиназы АНК2 в стимуляции образования вегетативных органов *A. thaliana* в ответ на снижение синего (С) света, повышение красного (К) и соотношения К/С в сложных спектральных композициях при сохранении постоянным уровня фотосинтетически активной радиации. При увеличении К в спектре до 60% и соотношения К/С до 4, увеличивалось содержание хлорофилла в листьях, скорость переноса электронов в электрон-транспортной цепи, снижался уровень нефотохимического тушения флуоресценции, что свидетельствует о более эффективном функционировании ФС 2. Обсуждаются особенности активации эндогенных фитогормональных систем (ауксинов и цитокининов) при формировании различных фенотипов и регуляции функциональной активности фотосинтетического аппарата *A. thaliana* под влиянием LED-освещения.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Б19РМ-065, Б21М-097 и Российского фонда фундаментальных исследований Бел_мол_а 19-54-04015.

Разработка методики анализа качества пива и продуктов пищевой биотехнологии при помощи спектроскопии электронного парамагнитного резонанса

Русакович А.А.^А, Войтехович М.А.^А, Пшибытко Н.Л.^А, Чернышов И.С.^Б, Демидчик В.В.^{А*}

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

^БОАО "Криница", Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchyk@bsu.by

В пиве и других продуктах пищевой биотехнологии происходят окислительные процессы, приводящие к снижению их полезных качеств и порче. В их основе лежит генерация активных форм кислорода (АФК) и накопление форм органических веществ с различной степенью окисленности. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР-спектроскопия) в настоящее время широко применяется для регистрации и характеристики свободных радикалов в продуктах пищевой биотехнологии, в частности, при производстве пива, вина, безалкогольных напитков и масел. В настоящей работе на основе техники ЭПР-спектроскопии была разработана методика анализа качества пива, позволяющая производить оценку его окислительной стабильности за счет определения свободнорадикальной и антиоксидантной емкости. Предложенная методика основана на обнаружении свободных радикалов с применением спиновых ловушек α -фенил-N-трет-бутилнитрон (« α -phenyl-N-tert-butylnitron»; PBN) и α -4-пиридил-1-оксид-N-трет-бутилнитрон (« α -(4-pyridyl-1-oxide)-N-tert-butylnitron»; POBN), формирующих стабильные аддукты с гидроксильным радикалом. Использовалась техника ускоренного старения пива при помощи обработки повышенной температурой с параллельной регистрацией накопления свободнорадикальных аддуктов PBN и POBN. Для количественной характеристики сигнала применялось двойное интегрирование первой производной ЭПР-спектра. Проводилось определение уровня эндогенного антиоксидантного потенциала (Endogenous Antioxidant Potential; EAP) – показателя, коррелирующего с устойчивостью к окислению. Значение EAP рассчитывалось по точке перегиба кинетической кривой накопления спинового аддукта при нагревании. С помощью разработанной методики была проведена оценка влияния температурных, световых и временных факторов на уровень свободных радикалов в образцах различных сортов пива, разлитого в разную тару, а также протестировано воздействие важнейших антиоксидантов на окислительную стабильность светлого и темного пива производства компании

"Криница". Показано, что хранение в отсутствие освещения, при пониженных температурах и в стеклянной таре способствует сохранению окислительной стабильности пива. Обработка газообразным азотом также значительно повышала сохранность пива. Более высокое содержание свободных радикалов было показано для образцов тёмного пива. L-аскорбиновая кислота продемонстрировала наибольший эффект по стабилизации пива (увеличение значений ЕАР в сравнении с контролем) среди протестированных антиоксидантов.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработать и внедрить в производство технологии регистрации свободнорадикальных и высокоокисленных соединений для нужд биотехнологии и пищевой химии» подпрограммы «Инновационные биотехнологии-2025» государственной программы «Научно-технологические и инновационные технологии» на 2021–2025 годы, № госрегистрации 20213563.

Онлайн доклады

№ 01

Совместное действие радиации и ионов Zn^{2+} на ряску малую (*Lemna minor* L.)**Боднарь И.С.*, Чебан Е.В.**

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

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

Радиоактивное загрязнение пресных водоемов является следствием деятельности предприятий с ядерным циклом, аварийных ситуаций, ненадлежащего захоронения радиоактивных отходов. Такие объекты гидросферы представляют опасность для биоты и населения, поэтому нуждаются в рекультивации, постоянном мониторинге. Наличие посторонних факторов, таких как химическое загрязнение, осложняет оценку риска и биодиагностику подобных территорий. В настоящей работе смоделировано совместное действие гамма-излучения и ионов Zn^{2+} на лабораторную культуру ряски малой (*Lemna minor* L.). Рясковые часто используются при экотоксикологической оценке природных водоемов и сточных вод. Предварительно облученные растения в дозах 18, 42 и 63 Гр помещали на питательную среду с избытком цинка (3.15; 6.3, 12.6 мкмоль/л) на 7 дней. Анализ совместного действия факторов на скорость роста растений преимущественно был аддитивным, но при сочетании облучения в максимальной дозе и высоких концентраций цинка факторы действовали синергически. Радиация способствовала накоплению цинка в тканях растений, а значит снижению устойчивости ряски к избытку металла в среде. Сравнение действия факторов совместно и по отдельности позволило выявить, что сокращение площади листовидной поверхности ряски (фронда) происходило из-за токсичности цинка. Облучение привело к увеличению хлорофилла а+в, что оказывало протекторное действие при рассматриваемом мультифакторном воздействии.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Действие ионизирующего излучения и факторов нерадиационной природы на биологические объекты и биогенная миграция тяжелых естественных радионуклидов» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 021051101422-0-1.6.23).

№ 02

Краткосрочное и долгосрочное влияние низовых пожаров на содержание белков теплового шока в хвое *Pinus sylvestris* L.**Гетте И.Г.^{А*}, Коротаева Н.Е.^Б, Косов И.В.^Б, Боровский Г.Б.^Б**^А Сибирский федеральный университет, Институт экологии и географии, Красноярск, Россия^Б Сибирский институт физиологии и биохимии растений, лаборатория физиологической генетики, Иркутск, Россия^В Институт Леса им. В.Н. Сукачева, лаборатория экоурбанистики, Красноярск, Россия

*E-mail: GetteIrina@yandex.ru

Ранее было показано, что после воздействия низового пожара малой и средней интенсивности древесные растения остаются жизнеспособными, а их защитные механизмы активируются на различных уровнях организации. Мы исследовали влияние контролируемого выжигания на накопление в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) белков теплового шока (Hsp), которые являются одним из факторов термоустойчивости растений. Содержание Hsp 101, Hsp 70 и Hsp 17,6 в хвое увеличивалось на 2-е сутки после контролируемого выжигания (кратковременное действие огня). Через 3 года после пожара содержание Hsp 101 и Hsp 17,6 в хвое было подавлено по сравнению с контролем (долгосрочный эффект огня). В ходе исследования хвоя деревьев, подвергшихся воздействию контролируемого выжигания

три года назад, подвергалась дополнительному тепловому стрессированию в лабораторных условиях при 45°C (ТС). После ТС содержание всех исследованных Hsp снизилось в контрольной хвое и увеличилось или не подверглось снижению в хвое после контролируемого выжигания. Полученные результаты подтверждают предположение, что, по сравнению с контрольными условиями, предыдущее воздействие пожара может привести не только к изменениям в содержании Hsp в хвое, но и к изменениям в накоплении Hsp в ответ на повторное стрессирование, что может быть связано с глубокими физиологическими изменениями, произошедшими с деревьями после пожара.

№ 03

Влияние состава питательной среды на микроразмножение *in vitro* чабера горного Егорова Н.А. *, Коваленко М.С., Платонова Т.В.

ФГБУН Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма,
Симферополь, Россия

*E-mail: yegorova.na@mail.ru

Чабер горный (*Satureja montana* L.) – ценное эфиромасличное и лекарственное растение, широко распространенное во многих странах мира. Эфирное масло и растительное сырье чабера используется в медицине, благодаря антисептическим, антиоксидантным и противовоспалительным свойствам, а также в косметике и кулинарии. При селекционной работе возникает необходимость быстрого размножения ценных образцов и сортов, что требует привлечения биотехнологических методов. Цель исследования – изучение влияния состава питательной среды на развитие эксплантов *S. montana* на основных этапах клонального микроразмножения *in vitro*. В качестве эксплантов использовали сегменты стебля с узлом, которые культивировали на различных модификациях питательной среды Мурасиге и Скуга (МС), при 24–26°C, влажности воздуха 70% и освещенности 2–3 клк с фотопериодом 16 часов. При введении *in vitro* наибольшее число побегов (2,4–2,8 шт./эксплант) наблюдали на средах с бензиламинопурином или тидиазуроном, однако при этом отмечено до 35-50% витрифицированных побегов. Более эффективно добавление в среду 0,5–1,0 мг/л кинетина, обеспечивающего, наряду с множественным побегообразованием, максимальную длину побегов (до 54,0 мм). На 2-м этапе собственно микроразмножения при сравнении трех цитокининов также было установлено преимущество кинетина. Для получения полноценных побегов и максимального коэффициента размножения (6,2–7,5) целесообразно использовать среду МС с 0,5 мг/л кинетина и гибберелловой кислоты. Подобрана питательная среда (½МС с 0,5 мг/л индолилмасляной кислоты), на которой отмечена высокая частота укоренения микропобегов (93,8%) и формирование 4,5 корня/побег.

№ 04

Влияние температурных условий на динамику физиологических процессов у винограда

Луцкий Е.О. *, Сундырева М.А.

ФГБНУ Северо-Кавказский Федеральный Научный Центр Садоводства,
Виноградарства и Виноделия, Краснодар, Россия

*E-mail: maxitostyle@gmail.com

Виноград является одной из наиболее значимых сельскохозяйственных культур. Низкотемпературный стресс является одним из основных факторов, приводящих к потере урожая по всему миру. Поэтому важным является изучение динамики физиологических процессов у растений, подвергающихся воздействию данного абиотического стресса с последующей разработкой методов нивелирования его

последствий. Цель данного исследования – выявить динамику изменения физиолого-биохимических показателей у винограда в зависимости от температурных условий в период покоя. Объектами исследования являлись три сорта винограда, контрастных по морозостойкости: неустойчивый ТАНА 33, морозостойкие ТАНА 42 и ТАНА 68. Для проведения исследований были отобраны черенки винограда с полевого участка в период с октября 2020 года по март 2021 года, который характеризовался значительными температурными колебаниями. Была исследована экспрессия ряда генов углеводного и липидного обмена, содержание малонового диальдегида, активность антиоксидантных ферментов и содержание углеводов. Корреляции между содержанием малонового диальдегида (MDA) и температурными колебаниями обнаружено не было. У сортов ТАНА 42 и ТАНА 68 наблюдалось повышение активности и увеличение числа изоформ пероксидаз (POD), на фоне понижения температуры. Для неустойчивого сорта ТАНА 33 было характерно резкое повышение содержания растворимых углеводов и снижение содержания крахмала при понижении температуры (коэффициенты корреляции -0,88 и 0,77 соответственно), в то время как изменения содержания углеводов для сортов ТАНА 42 и ТАНА 68 не были связаны с температурными флуктуациями. У всех гибридов винограда в ноябре и декабре (органический покой), наблюдался более высокий уровень экспрессии генов липоксигеназы (LOX) и десатураз (Des) с последующим понижением в январе и феврале и ростом в марте при начале сокодвижения. Температура не влияла на динамику экспрессии десатураз и липоксигеназы в течение периода покоя винограда у неморозостойкой ТАНА33 и формы ТАНА68. Для наиболее устойчивой ТАНА 42 было характерно повышение экспрессии LOX при увеличении температуры. Экспрессия генов сахарозосинтазы (SS4) и сахарозофосфатсинтазы (SPS) слабо изменялась в течение периода покоя и не была связана с температурными изменениями. Экспрессия гена трегалоза-6-фосфатазы (TRPB) имела тенденцию к повышению во время выхода растений винограда из периода покоя в марте, более интенсивное увеличение экспрессии TRPB наблюдалось у морозостойких сортов. Уровень относительной экспрессии трегалазы (TRE) был высоким с период органического покоя и снижался к марту. Изменения содержания различных фракций углеводов при колебаниях температур в зимних период характеризовали неморозостойкий сорт винограда. Уровень относительной экспрессии генов, участвующих в метаболизме сахарозы и трегалозы, изменениях состава билипидных мембран (Des, LOX), был слабо подвержен температурным изменениям, однако существенно менялся в разные стадии периода покоя. Данные гены могут обеспечивать регуляцию стадий покоя у винограда и обеспечивать при этом различные уровни устойчивости к низким температурам.

№ 05

Система ДНК-маркеров для идентификации аллелей генов короткостебельности *Rht-B1* и *Rht-D1* у сортов мягкой пшеницы

Поротников И.В.*, Митрофанова О.П., Антонова О.Ю.

Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: i.v.porotnikov@gmail.com

Основные гены «Зеленой революции», а именно гены *Rht-B1* и *Rht-D1* широко используют при создании короткостебельных сортов интенсивного типа. Наибольшее распространение получили аллели с однонуклеотидными заменами (SNP): *Rht-B1b*, *Rht-B1e*, *Rht-D1b* и *Rht-B1p*, а также *Rht-B1c* и *Rht-B1h*, несущие вставки. Для детекции аллелей с SNP используют принцип аллель-специфичной ПЦР, который предъявляет высокие требования к условиям реакции и не всегда дает однозначные результаты. Нами предложена система ДНК-маркеров для идентификации распространенных и/или

перспективных для селекции аллелей генов *Rht-B1* и *Rht-D1*. Разработано три CAPS-маркера для *Rht-B1b*, *Rht-D1b*, *Rht-B1p* и два dCAPS-маркера для *Rht-B1b* и *Rht-B1e*. Подобраны InDel-маркеры аллелей *Rht-B1c*, *Rht-B1h*. Эффективность системы подтверждена при генотипировании 11 образцов мягкой пшеницы коллекции ВИР с известными аллелями короткостебельности. Предложенная система позволяет получить однозначный ответ о присутствии одного из перечисленных выше аллелей короткостебельности генов *Rht-B1* и *Rht-D1* в том или ином генотипе, а разработанные CASP/dCAPS-маркеры дают легко интерпретируемые результаты.

№ 06

Индукция иммунного клеточного ответа при действии антигенного "раннего" белка ВПЧ16 Е2 на опухоли, вызванные инъекцией раковых клеток HeLa, в легких и семенниках мышей

Рекославская Н.И.*, Саляев Р.К., Столбиков А.С., Нурминская Ю.В.

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

*E-mail: rekoslavskaya@sifibr.irk.ru

Высокоэффективная растительная экспрессионная система синтеза гетерологичных белков была разработана на основе плодов томата с введением в генетическую конструкцию гена, кодирующего RdRP (РНК2а+2b) вируса мозаики огурца (CMV var. New Dehli), и использована для синтеза "ранних" белков папилломавируса высокоонкогенного типа ВПЧ16. Регуляторный "ранний" белок папилломавируса ВПЧ16 Е2 является суперсупрессором экспрессии онкогенов *hvp16 Е6* и *hvp16 Е7*, кодирующих "ранние" основные онкобелки ВПЧ16 Е6 и ВПЧ16 Е7. Инъекция раковых клеток HeLa в бедренную мышцу мышей вызывала различные виды опухолеобразования в легких, в семенниках, брюшной полости, лимфоузлах и др. Пероральное вакцинирование вакцинным материалом плодов томата, трансгенного по гену *hvp16 Е2*, вызывало регрессию опухолей семенников и последующую нормализацию их размеров до контроля. В периферических мононуклеарных клетках крови и в спленocyтaх у мышей, перорально вакцинированных ВПЧ16 Е2, происходило весьма значительное увеличение содержания интерферона, Т клеточного рецептора, CD4 и CD8 Т-лимфоцитов, а также ферментов апоптоза: гранзима Б, перфорина и гранулизина согласно результатам анализа ЭЛИСПОТ. Чрезвычайно чувствительными к клеткам HeLa оказались легкие мышей, как *in vivo*, так и *in vitro*. Пролиферация клеток легких с гиперхромными ядрами (по аналогии с круглоклеточной (мелкоклеточной) саркомой легких) и последующее опухолеобразование наблюдали на 2-5 сутки после помещения изолированных легких мышей в суспензию раковых клеток HeLa. При использовании микротомной техники и окрашивания парафиновых срезов легких гематоксилином по Carazzi обнаружено, что при совместной инкубации изолированных легких с "ранним" белком ВПЧ16 Е2 в суспензии клеток HeLa не происходит перехода к пролиферации клеток и опухолеобразованию. Таким образом, разработка пероральной терапевтической противораковой вакцины на основе "раннего" белка ВПЧ16 Е2, синтезированного в растительной экспрессионной системе, представляется весьма перспективной.

№ 07

Влияние микробных препаратов на биохимический состав фитомассы и семян *Nigella damascene L.*

Чайковская Л.А.*, Немтинов В.И., Баранская М.И., Пехова О.А., Тимашева Л.А.

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,

Симферополь, Республика Крым

*E-mail: ludachaika@mail.ru

Одним из элементов современных агротехнологий выращивания растений является применение микробных препаратов на основе эффективных штаммов бактерий, обладающих широким спектром полезных свойств: азотфиксация, фосфатмобилизация, продуцирование фитогормонов и других физиологически активных веществ. Цель наших исследований заключалась в определении влияния предпосевной инокуляции семян *N. damascenaL.* (сорт Ялита) на её продуктивность, содержание жирных и эфирных масел в семенах, сахаров и аскорбиновой кислоты в фитомассе. Для бактериализации семян использованы микробные препараты, созданные в отделе с/х микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма»: Азостим-Агро (А), Фосфостим-Агро (Ф), Биопрофид-Агро (Б) и Микробиоком (М.). Анализ результатов, полученных в условиях микроделяночных полевых опытов, показал позитивное влияние исследованных микробных препаратов на содержание аскорбиновой кислоты и сахаров в фитомассе *N. damascene L.* Наибольшая прибавка по сравнению с контролем получена в вариантах с применением А и Ф: накопление аскорбиновой кислоты увеличилось на 13%; общих сахаров, моно- и дисахаридов – на 8%, 5% и 12% соответственно (среднее за 2 года). Следует также отметить, что применение М для предпосевной инокуляции семян позволило получить достоверную прибавку урожайности семян *N. damascene L.* – на 16% против контроля. Не выявлено достоверного влияния инокуляции на содержание эфирных и жирных масел в семенах нигеллы, однако их выход возрастает в случае применения М: за счет увеличения урожайности.

Стендовые доклады

№ 01

Характеристика некоторых параметров антиоксидантной системы ряда трутовых грибов

Антонович А.О.^{А*}, Денисюк Д.В.^В, Глушенок Е.И.^В, Кукулянская Т.А.^В, Шабашова Т.Г.^А

^А Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси лаборатория микологии, Минск, Беларусь

^В Белорусский государственный университет, кафедра биохимии, Минск, Беларусь

*E-mail: anaria1995@mail.ru

Избыточная генерация АФК в живых организмах является одним из ранних неспецифических ответов на стрессовые воздействия и сопровождается развитием цепных окислительных реакций, в первую очередь, перекисного окисления липидов. В данной работе были изучена интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), активность каталазы, супероксиддисмутазы и общая антиоксидантная активность (ОАА) трутовых грибов *Ganoderma applanatum* (трутовик плоский), *Polyporus badius* (трутовик каштановый), *Laetiporus sulphureus*, (трутовик серно-желтый), *Polyporus squamosus* (трутовик чешуйчатый), *Trametes gibbosa* (трутовик горбатый), *Fomitopsis pinicola* (трутовик окаймленный), *Piptoporus betulinus* (трутовик березовый). Наибольший интерес из данных грибов представляет трутовик серно-желтый, так как он отличается высоким содержанием биологически активных веществ с разнообразным спектром действия, относится к съедобным грибам, а также активно паразитирует на живых деревьях, что способствует их гибели и разрушению. Было установлено, что *Laetiporus sulphureus* отличается от других изученных трутовых грибов наиболее высоким содержанием белка, низким уровнем ПОЛ, высокой ОАА и активностью каталазы и супероксиддисмутазы. Необходимо отметить, что высокой ОАА характеризуется и гриб *Polyporus squamosus*, в котором в отличие от *Laetiporus sulphureus*, самая низкая активность антиоксидантных ферментов и наибольшей интенсивностью ПОЛ.

№ 02

Исследование протекторного действия треонина при засолении

Яковец О.Г.*, Аtdжыева О.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: yakovets@inbox.ru

Засоление является одним из сильнодействующих стрессовых факторов на растительный организм. Поиск способов повышения устойчивости культурных растений к данному стрессору позволит их выращивать в условиях засоления. Для этой цели часто используются отдельные аминокислоты или их смеси. Целью нашей работы было исследование возможного протекторного эффекта аминокислоты треонина (*Thr*) на озимую пшеницу (сорт Мроя) в модельной системе, имитирующей засоление. Эксперименты проводились на 10-дневных проростках, выращенных в водной культуре рулонным методом. Предстрессовой обработке 1% *Thr* подвергались семена путем их замачивания в течение 1 сут перед посадкой. За 1 сут до измерений рулоны переставляли в 0,1мМ CaSO₄ (контроль) и экспериментальные растворы, содержащие дополнительно 50–300 мМ NaCl. В качестве маркера стрессового состояния использовалась активность пероксидазы (A_{пкс}), которая определялась по Бояркину. Установлено, что при увеличении концентрации NaCl в среде выращивания A_{пкс} в выращенных из необработанных семян проростков постепенно растет. Предстрессовая

обработка семян *Thr* приводила к тому, что у проростков, выращенных при 50 мМ NaCl, $A_{\text{ПКС}}$ уменьшалась в большей степени, чем у выращенных из необработанных семян; при 150 мМ NaCl – изменялась (уменьшалась) по сравнению с контролем; при 200 мМ NaCl – уменьшалась, а не увеличивалась, как у выращенных из необработанных семян; при 300 мМ NaCl – не увеличивалась, а не изменялась по сравнению с контролем. В литературе сообщается о способности *Thr* снижать уровень АФК и ПОЛ через индукцию синтеза антиоксидантов. Выявленное нами относительное уменьшение $A_{\text{ПКС}}$ может дополнительно свидетельствовать об отсутствии необходимости в ее высоком уровне в проростках после предстрессовой обработки *Thr* семян. Следовательно, *Thr* может использоваться для повышения адаптивности растений к окислительному стрессу, возникающему при засолении.

№ 03

Анализ влияния физико-химических факторов на скорость роста микроклональных растений осины при их адаптации к почвенным условиям **Богинская Л.А.*, Кулагин Д.В.**

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: lpochta@mail.ru

Оптимизация условий культивирования микроклонально размноженных растений осины на этапе адаптации позволяет добиться ускорения их роста при последующем доращивании. Для выращивания растений осины клона V22 использовались субстраты на основе верхового торфа и перлита. Культивирование осуществлялось в вегетационных камерах. Учёт размеров надземной части проводился по истечении одного месяца выращивания. Диапазон значений изучаемого параметра составил от $3,6 \pm 0,7$ до $9,1 \pm 2,3$ см. Наибольший значимый эффект (увеличение размеров в 1,2-1,5 раза) даёт внесение в субстрат выращивания Кристалона желтого (0,2 г/л смеси) по сравнению с аналогичными дозами Кристалона голубого или состава WPM. Отмечено существенное влияние партии торфа, используемого для почвенного грунта (соотношение высоты стволика – 1,6). Добавление в субстрат 1/6 части песка не дало значимого эффекта. Применение грунта, представляющего собой агропелит, насыщенный составом WPM, приводит к увеличению размеров растений в 1,5 раза по сравнению с торфо-перлитной смесью. При более высокой температуре выращивания (различия между нижней и верхней полками стеллажа) рост ускоряется в 1,1-1,3 раза. При увеличении продолжительности выращивания растений в условиях высокой влажности с двух до четырех недель получены растения с большими в 1,2-1,3 раза размерами.

№ 04

Эффект хлорида натрия на развитие корневой системы и побегов проростков пшеницы разных сортов

Бушманова М.В., Яковец О.Г.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: yakovets@inbox.ru

Одним из сильнодействующих абиотических стрессоров, влияющих на растения, остается засоление. Наибольший негативный эффект на растительный организм оказывают ионы Na^+ и Cl^- . Поэтому остается актуальным изучение возникающих под действием хлоридно-натриевого засоления изменений ростовых характеристик растений. Эксперименты проводились на проростках озимой пшеницы сортов Мроя, Ода, Элегия, выращенных рулонным методом в растворах следующего состава: 0,1 мМ CaSO_4 (контроль); 0,1 мМ CaSO_4 , 1 мМ NaCl; 0,1 мМ CaSO_4 , 5 мМ NaCl; 0,1 мМ CaSO_4 ,

50 мМ NaCl; 0,1 мМ CaSO₄, 150 мМ NaCl; 0,1 мМ CaSO₄, 200 мМ NaCl; 0,1 мМ CaSO₄, 300 мМ NaCl. Через 10 суток после посадки определяли линейные размеры корней и надземной части проростков. Установлено, что у проростков протестированных сортов пшеницы с увеличением концентрации NaCl от 1 мМ до 300 мМ эффект соли на развитие корневой системы и надземной части возрастает и сильнее угнетается развитие побегов. Хлорид натрия в концентрации ≥ 150 мМ оказывает существенное влияние на ростовые параметры проростков пшеницы. Более чувствительной к действию сильного засоления (150–300 мМ) оказалась корневая система проростков пшеницы сорта Ода, менее чувствительной – сорта Элегия. При действии 150 и 200 мМ NaCl развитие надземной части у проростков пшеницы сорта Мроя подавляется в большей степени, чем у сортов Ода и Элегия; при действии же 300 мМ NaCl развитие побегов у проростков пшеницы сорта Мроя подавляется в меньшей степени, чем у сортов Ода и Элегия. Исследованные сорта по устойчивости к сильному засолению (300 мМ) корневой системы можно расположить в следующий ряд – Элегия>Мроя>Ода; по устойчивости надземной части – Мроя>Ода>Элегия.

№ 05

Влияние нанокompозитов пектин-серебро на устойчивость растений ячменя к грибным патогенам в модельном эксперименте

Герасимович К.М.^А, Рыбинская Е.И.^А, Недведь Е.Л.^{А*}, Калацкая Ж.Н.^А, Гилевская К.С.^Б, Корытько Л.А.^А, Ламан Н.А.^А

^АИнститут экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БИнститут химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*Email: nedved_e@tut.by

Преимуществом использования полисахаридов в качестве матрицы для создания нанокompозитов является возобновляемая и доступная сырьевая база, биосовместимость, нетоксичность и широкий спектр биологической активности, тогда как наночастицы серебра обладают эффективным биоцидным действием. В модельном эксперименте оценивали особенности ответных реакций ячменя на инфицирование возбудителями *Bipolaris sorokiniana* и *Pyrenophora teres* при инкубации отрезков листьев на растворах, исследуемых нанокompозитов. Нанокompозиты получали методом «зеленой химии» путем химического восстановления нитрата серебра пектинами. Использовали пектины Citrus и Classic с молекулярной массой 141 и 89 кДа и степенью этерификации 80 и 38 % соответственно. Инкубация на растворах нанокompозита пектин Classic-серебро сопровождалась снижением интенсивности процессов ПОЛ, содержания H₂O₂, повышением общей антиоксидантной активности и активности антиоксидантных ферментов на начальном этапе инфекционного процесса. При интенсивном развитии болезни отмечалось накопление фенольных соединений, снижение степени некротических повреждений, сохранялось высокое содержание фотосинтетических пигментов относительно инфицированного контроля, что свидетельствует о повышении устойчивости ячменя к возбудителям пятнистостей при действии нанокompозитов пектин-серебро.

Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта Б21В-002 БРФФИ.

№ 06

Трансгенные растения петунии с прижизненной визуализацией тубулинового цитоскелета как экспериментальная модель для изучения реорганизации микротрубочек в условиях абиотического стресса

Демиденко Д.В.^{1,2*}, Варламова Н.В.¹, Халилуев М.Р.^{1,2}

¹ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

²РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

*E-mail: frankenvini1998@mail.ru

Микротрубочки – элементы цитоскелета с диаметром около 25 нм, состоящие из гетеродимеров глобулярного α - и β -тубулина. Эти структуры необходимы для клеточного функционирования, обеспечивая нормальное деление клеток у эукариотических организмов. Для изучения роли реорганизации тубулинового цитоскелета в условиях абиотических стрессов была проведена агробактериальная трансформация растений петунии самосовместимого (Белый шар, Суперкаскадная синяя F1) и самонесовместимого клонов. Использовали векторную конструкцию pCMU-MTUBr с геном MAP-MBD, кодирующим слитый репортерный белок *mCherry* для прижизненной детекции микротрубочек, а также селективный ген *nptII*. Индукцию процессов морфогенеза проводили на базовой среде MS, дополненной 6-БАП и AgNO₃ в концентрациях 5 мг/л и 0,1 мг/л ИУК, а также 300 мг/л тиментина для элиминации агробактерии и 50 мг/л канамицина. Культивирование листовых эксплантов на селективной питательной среде обеспечило массовую регенерацию побегов. Часть линий успешно сформировало корни на среде для ризогенеза с высокой концентрацией канамицина. ПЦР подтвердила наличие чужеродных генов у 2 трансгенных линий сорта Белый шар. Кроме того, флуориметрический анализ экспрессии репортерного гена *mCherry* выявил визуальные отличия между контролем и трансгенными линиями, свидетельствуя об его экспрессии. В настоящее время продолжается отбор предположительно трансгенных линий и их молекулярно-генетический анализ.

Работа выполняется при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 22-24-01148.

№ 07

Тандемный вектор для анализа цис-регуляторных элементов в растениях

Демьянчук И.С.*, Тюрин А.А., Сухорукова А.В., Фридман В.А.,
Голденкова-Павлова И.В.

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

*E-mail: Demyan.Iya253@yandex.ru

Агроинфильтрация растений уже давно стала одним из основных подходов к тестированию генов и регуляторных элементов. Цель данного исследования – создание бирепортерного вектора, содержащего тандемную связку системы внутреннего контроля и основной экспрессионной кассеты. Для конструирования основной плазмиды применяли СПЕС (circular polymerase extension cloning). Агроинфильтрацию 4-хнедельных растений *N.benthamiana* проводили, используя *A.tumefaciens* (GV3101). Уровни экспрессии целевых генов оценивали по флуоресценции их продуктов. Статистическую обработку данных и их визуализацию проводили, задействуя библиотеки SciPy и Matplotlib для Python. Бирепортерный вектор pIRF разрабатывался для тестирования трансляционных цис-регуляторных элементов. Основой для тандемного вектора послужила, ранее разработанная авторами, плаزمида pVIG-T, оптимизированная для транзientной экспрессии в растениях. Система внутреннего контроля представлена геном *gfp* под контролем промотора актина арабидопсиса, целевая экспрессионная кассета включает ген *rfp* и промотор SmAM430. Для

тестирования созданного вектора в базовую плазмиду в дальнейшем были интегрированы известные трансляционные энхансеры: растительного (AT30, AT65, AT100 и AT208) и вирусного (Ω) происхождения. Главной идеей при разработке pIRF было то, что физическое сцепление двух репортерных систем даст линейную зависимость при их трансляции. Поэтому для анализа данных флюориметрии применяли линейную регрессию. Таким образом, уровни экспрессии исследуемых конструкций выражались наклоном регрессионной прямой относительно контрольного варианта.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033000137-1).

№ 08

Влияние эпина на содержание продуктов ПОЛ в проростках пшеницы при гербицидном стрессе

Яковец О.Г.^{А*}, Дурдыева Д.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: yakovets@inbox.ru

В сельскохозяйственной практике широко используются препараты на основе различных регуляторов роста. Препарат Эпин-Экстра (д.в. 24-эпибрасинолид), согласно литературным данным, обладает сильным антистрессовым действием. Целью нашей работы было исследование защитного действия данного препарата на проростки пшеницы, подвергнутые гербицидному стрессу. Эксперименты проводили на 10-дневных проростках яровой пшеницы сорта Любава, выращенных рулонным методом. Семена пшеницы (10 г) перед посадкой сначала в течение 15-20 мин обрабатывали слабо розовым раствором $KMnO_4$, затем промывали H_2O и замачивали в течение 24 ч в $H_2O/10^{-7}$ М (по д.в) растворе эпина (10 мл) в термостате при температуре 24-26°C. Проростки выращивали при температуре $20 \pm 2^\circ C$, естественном освещении. За 1 сутки до эксперимента проростки обрабатывались прометрексом (*П*) и хизалофоп-П-этилом (*ХЗФ*) в концентрациях 10^{-6} М, 10^{-5} М, 10^{-4} М путем помещения рулонов в сосуды с растворами гербицидов (контроль – H_2O). ПОЛ оценивали методом прямой спектрофотометрии по количеству диеновых (D_{232}), триеновых (D_{268}) и оксодиеновых (D_{276}) конъюгатов. На основании проведенного анализа выявлено, что предобработка семян эпином изменяет характер действия гербицидов на проростки яровой пшеницы сорта Любава. В присутствии используемых гербицидов в концентрации 10^{-6} М количество продуктов ПОЛ начинает уменьшаться (за исключением диеновых конъюгатов в присутствии *ХЗФ*: оно также, как и в проростках, выращенных из необработанных эпином семян достоверно не изменяется по сравнению с контролем). Под действием обоих гербицидов в концентрации 10^{-5} М установлен рост содержания всех типов конъюгатов. При этом *П* по сравнению с *ХЗФ* обладает более выраженными эффектами по триеновым и оксодиеновым конъюгатам. Действие гербицидов в концентрации 10^{-4} М также отличается между собой. В присутствии *П* выявленные эффекты у проростков, выращенных из обработанных эпином семян, изменяются: уменьшаются по сравнению с таковыми у проростков, выращенных их необработанных регулятором роста семян. Под действием же *ХЗФ* обработка семян эпином никак не повлияла на изменение концентрации диеновых и триеновых конъюгатов, содержание же оксодиеновых конъюгатов достоверно уменьшилось, а не увеличилось.

№ 09

Влияние стабилизированных хитозаном наночастиц серебра на физиолого-биохимическое состояние микроклонов картофеля в культуре *in vitro*

Еловская Н.А.^{А*}, Калацкая Ж.Н.^А, Ламан Н.А.^А, Гилевская К.С.^Б, Красковский А.Н.^Б

^АИнститут экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БИнститут химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: yalousskaya92@mail.ru

Создание соединений на основе наночастиц металла, стабилизированных природным полимером хитозаном, позволяет усилить их активность или получить комплексы с новыми свойствами. Исследовали влияние нанокompозитов серебросодержащего хитозана (хитозан: Ag – 50:1 и 100:1), на морфометрические и биохимические показатели микроклонов картофеля *in vitro*. Опыты проводили в два этапа: на первом - растения-регенеранты клонировали непосредственно на питательную среду Мурасиге-Скуга, содержащую стабилизированные хитозаном наночастицы серебра в разведении 1:500 и 1:1000; на втором – микроклоны предварительно выращивали на стандартной среде, а затем заменяли на среду с хитозаном и его производными. Контролями служили стандартная среда и с добавлением чистого хитозана в аналогичном разведении. Клонирование растений непосредственно на модифицированную питательную среду тормозило рост и развитие микроклонов: снижалась их длина и масса, число междоузлий. Значительный негативный эффект нанокompозиты оказали на развитие корневой системы. При пересадке 3-х недельных микроклонов в питательную среду с нанокompозитами в разведении 1:500 выявлено их позитивное действие на накопление биомассы, сохранялся уровень содержания пролина, при снижении количества образующейся перекиси водорода, что, вероятно, свидетельствует об отсутствии стрессовой реакции растений картофеля на наночастицы серебра, стабилизированные хитозаном.

№ 10

Исследование ростовых и биосинтетических показателей суспензионной культуры клеток *Mandragora turcomanica* – эндемика Туркменистана и Ирана

Еремеева Е.А.^Б, Титова М.В.^{А*}, Кочкин Д.В.^{А,Б}, Котенкова Е.А.^Б, Носов А.М.^{А,Б}

^АИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

^БМосковский государственный университет имени М.В.Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия

^БВсероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова, Москва, Россия

*E-mail: titomirez@mail.ru

Мандрагора – растение, веками использовавшееся как лекарственное в Европе и на Ближнем Востоке. Растения рода *Mandragora* являются эффективными продуцентами алкалоидов. Вид *M. turcomanica* эндемичен для Туркменистана и Ирана. В Институте физиологии растений им. К.А. Тимирязева была получена суспензионная культура клеток *M. turcomanica*, для которой провели исследование ростовых характеристик, спектра синтезируемых вторичных метаболитов и биологической активности. Показано достоверное влияние начальной плотности посадки и концентрации сахарозы в среде культивирования на основные ростовые характеристики культуры. Наибольшие значения ростовых параметров наблюдали при плотности посадки 1 г/л по сухой массе и 5% сахарозы. Качественный анализ с помощью УЭЖХ-ИЭР-МС выявил существенные различия в спектре синтезируемых соединений между культурой клеток и корнем интактного растения. В частности, в экстрактах из клеточной биомассы отсутствовал алкалоид гиосциамин, характерный для корня, однако присутствовал ряд

фенилпропаноидов. Также показано, что экстракты из корня интактного растения и клеточной биомассы исследуемой культуры клеток *M. turcomanica* отличались по антимикробной активности по отношению к *S. aureus*.

№ 11

Влияние куркуминоидов и наноструктур куркуминоидов с циклодекстринами на процесс повреждения ДНК фага λ свободнорадикальными продуктами пероксидазного окисления

Капустин М.А.^{А, В*}, Чубарова А.С.^А, Курченко В.П.^А, Лодыгин А.Д.^В, Холодова Е.Н.^В

^АБелорусский государственный университет, кафедра общей экологии и методики преподавания биологии, Минск, Беларусь

^ВСеверо-Кавказский федеральный университет, Институт живых систем, кафедра прикладной биотехнологии, Ставрополь, Россия

^ВСеверо-Кавказский федеральный университет, Пятигорский институт СКФУ, кафедра технологии продуктов питания и товароведения, Пятигорск, Россия

*E-mail: maximkapustin84@gmail.com

Куркумин и его производные являются хорошими антиоксидантами и эффективно связывают свободнорадикальные продукты пероксидазного окисления бензидина и его производных, предотвращая образование ДНК-аддуктов. Наноструктуры куркуминоидов с нативным и 2-гидроксипропилированным бета-циклодекстринами обладают значительной, по сравнению с нативными куркуминоидами, растворимостью в воде и также проявляют выраженную способность к инаktivации свободнорадикальных продуктов пероксидазного окисления. Проведенные исследования показали, что куркуминоиды и наноструктуры комплексов включения куркуминоидов с циклодекстринами предотвращают повреждения ДНК, образующимися продуктами пероксидазного окисления бензидина, 3,3'-диметилбензидина и 3,3'-диметоксибензидина, т.е. обладают выраженными антимуtagenными свойствами. Увеличение концентрации куркуминоидов и их наноструктур в реакционной среде от $0,07 \times 10^{-5}$ М до $20,75 \times 10^{-5}$ М приводит к уменьшению количества повреждений ДНК продуктами окисления бензидина (1×10^{-5} М), 3,3'-диметилбензидина (1×10^{-5} М) и 3,3'-диметоксибензидина (3×10^{-5} М). Для сравнения ДНК-протекторной активности куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина и наноструктур на их основе были определены показатели IC_{50} , соответствующие концентрациям нативных куркуминоидов и их эквивалентным концентрациям в составе наноконплексов, предотвращающим 50% повреждение ДНК фага λ . Сравнение IC_{50} показало, что куркуминоиды и их наноструктуры обладают различной антирадикальной активностью. Самая высокая ДНК-протекторная активность наблюдалась у бисдеметоксикуркумина в отношении активированных метаболитов всех трех исследованных аминокислот. Близкой активностью обладал куркумин. Наименьшей ингибирующей активностью отличался деметоксикуркумин ($p \leq 0,05$). Аналогичная зависимость прослеживалась и для наноструктур комплексов включения куркуминоидов с бета-циклодекстрином и 2-гидроксипропил-бета-циклодекстрином, полученных при молярных соотношениях 1:2 соответственно.

№ 12

Адаптация растений *Dioscorea alata* L. при ускоренном размножении на модифицированном ионообменном субстрате

Карасева Е.Н.*

Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*Email: Ledymc_net@mail.ru

Адаптация растений к условиям выращивания представляет собой интегральный процесс, зависящий от ряда факторов. В настоящей работе изучены особенности адаптации интродуцента *Dioscorea alata* L. – лианы тропического происхождения, требующей достаточного водообеспечения и минерального питания в процессе вегетативного роста, в условиях защищенного грунта при ускоренном микрочлонирувании *in vivo*. Для ускорения процессов ризогенеза и начального роста в условиях *in vivo* целесообразно использование биологически активных веществ, в частности новых соединений на основе адсорбционного геля – Ecoloc, ковалентно удерживающего ионы макро- и микроэлементов, гуминовые кислоты, бентонит и др. С помощью геля был модифицирован ионообменный субстрат Триона® для потребностей лианы. Триона® представляет собой композицию, состоящую из ионообменных синтетических и природных материалов. Модификацию субстрата осуществляли путем внесения определенного количества гидрогеля в следующих вариантах: гидрогель без удобрений крупной и мелкой фракции, гидрогель с бентонитом, гидрогель с гуматом, гидрогель K⁺. Гель в дозах 1,0 и 0,5 г/л вносили в субстрат ТРИОНА® после предварительного его набухания. При изучении процессов адаптации нового интродуцента для Беларуси *Dioscorea alata* L. наиболее ранний ризогенез наблюдался в вариантах с гидрогелем крупной и мелкой фракции в дозе 1,0 г/л.

№ 13

Получение каллусных культур перспективного лекарственного растения физалиса обыкновенного (*Physalis alkekengi* L.)

Козлова О.Н., Медвецкая М.В., Чижик О.В.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, лаборатория клеточной биотехнологии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: cbgconf@gmail.com

Физалис обыкновенный содержит широкий спектр БАВ. Особый интерес вызывают такие соединения как физалины. Рядом исследований показано, что физалины проявляют антиканцерогенную активность в различных культурах опухолевых клеток. В частности, физалин-F индуцирует клеточный апоптоз в клетках карциномы человека и является очень перспективным противораковым средством. В связи с чем получение каллусных культур физалиса с повышенным синтезом физалинов является перспективным направлением исследований. С целью получения асептических культур физалиса проведена оценка всхожести семян физалиса и определены факторы, стимулирующие или угнетающие прорастание. Установлено, что холодовая стратификация посевов в течение 1 месяца не оказывала существенного влияния на всхожесть, в отличие от фотопериода. В условиях «короткого дня» (8/16) наблюдали максимальные показатели всхожести у *Ph. alkekengi*. Изучено влияние различных видов и комбинаций ауксинов и цитокининов в среде культивирования на индукцию морфогенеза и каллусогенеза у растений физалиса из различных типов эксплантов. Установлена зависимость эффективности каллусообразования от типа экспланта. Показано, что наиболее эффективный каллусогенез наблюдался при использовании стеблевых эксплантов на среде МС, содержащей 2мг/л 2,4-Д и 2мг/л 2иП. Анализ

результатов экспериментов по использованию различных типов цитокининов как индукторов каллусогенеза показал, что оптимальной средой для получения каллусных культур физалиса обыкновенного является среда с добавлением 3 мг/л 2иП. В дальнейших исследованиях по получению стабильно пассируемой каллусной массы *Ph. alkekengi* была использована среда МС с добавлением 3мг/л 2иП+3мг/л 2,4-Д. Условия культивирования (темнота/освещенность) не имели принципиального влияния морфогенез в асептической культуре растений рода физалис.

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № Б22В-013.

№ 14

Влияние ультрафиолета на стабильность ДНК в клетках протонемы мха

Physcomitrella patens

Колзун Д.А., Звонарёв С.Н., Светлаков В.И., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchuk@bsu.by

Ультрафиолет является важным стрессовым фактором для живых систем, вызывая повреждения клеток и тканей всех типов организмов, в ряде случаев приводя к их гибели. Растения также чувствительны к ультрафиолетовому облучению, что особенно важно ввиду их стационарного существования и невозможности избежать воздействия света. На клеточном уровне ультрафиолет вызывает прямые повреждения ДНК, которые довольно редки, а также значительную генерацию активных форм кислорода в результате фотолиза воды, что приводит к «системному» окислительному стрессу, затрагивающему практически все структуры клетки, включая генетический аппарат. В настоящей работе с использованием методов эпифлуоресцентной микроскопии и техники ДНК-комет продемонстрировано, что воздействие UV-C/В (280 нм; 500 мВт; 1-60 мин) вызывает генерацию АФК в клетках *Physcomitrella patens* (протонемные клетки). Эффект наблюдался при обработке продолжительностью свыше 3 мин и усиливался с увеличением времени экспозиции. Во всех случаях обработки регистрировались однонитевые разрывы ДНК. При 10-, 30- и 60-минутной обработке количество одноцепочных разрывов увеличивалось в 7, 8 и 10 раз, соответственно. Двунитевые разрывы при этом не обнаруживались. В ростовых тестах было показано, что протонема *Physcomitrella patens* не погибает до 30-минутной обработки ультрафиолетом (при более длительных обработках наблюдалась гибель культуры). Также параллельно с повреждением ДНК под действием ультрафиолета в клетках протонемы *Physcomitrella patens* регистрировалась генерация АФК. Обнаруженные эффекты UV-C/В могут быть использованы в дальнейших фундаментальных исследованиях аппарата репарации ДНК при окислительном стрессе, а также в качестве основы для позитивного контроля при разработке коммерческих подходов на основе методики ДНК-комет.

Работа выполнена в рамках проекта «Закономерности воздействия холодной плазмы на процессы клеточной сигнализации у высших растений» ГПНИ «Конвергенция-2025», подпрограмма «Микромир, плазма и вселенная», № госрегистрации 20211734.

№ 15

ДНК-маркеры как средство оценки генетического разнообразия и идентификации злаковых трав

Кондрацкая И.П.*, Юхимук А.Н., Чижик О.В., Решетников В.Н.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: ikondratskaya@mail.ru

Эффективность селекции во многом зависит от наличия генной изменчивости в исходном селекционном материале. Оценка генетической изменчивости помогает оценить исходный материал при создании принципиально новых форм с хозяйственно-ценными признаками. В связи с этим, проведена оценка генетического полиморфизма генотипов злаковых трав, представляющих интерес как исходного селекционного материала, так и в качестве кандидата на сорт по ДНК –маркерам. Для генотипов *Festulolium* и *Lolium* L с использованием маркерной системы SCoT было идентифицировано 73 локуса, из них 69 являлись полиморфными. Примененная маркерная система выявила высокий уровень полиморфизма у исследуемых генотипов *Festulolium* и *Lolium* L –94,52%. Для генотипов межвидовых гибридов рода *Alopecurus* L. и их родительских форм было идентифицировано 90 локусов – 46 SCoT-маркеров и 44 SRAP-маркера. Из всего пула маркеров 73 маркера являлись полиморфными. средним уровнем полиморфизма составил 81,1%. Для генотипов межродовых гибридов рода *Cristatum* L. и их родительских форм было идентифицировано 157 локусов - 52 для RAPD-ПЦР и 105 для ISSR-ПЦР. Из всего пула маркеров 104 оказались полиморфными с уровнем полиморфизма – 66,24%. По результатам ДНК маркирования составлены генетические паспорта злаковых трав.

№ 16

Особенности протекания процессов созревания и прорастания соматических эмбриоидов ели европейской в клеточных линиях, полученных из материала белорусского происхождения

Кусенкова М.П.*, Кулагин Д.В.

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: marinaggu@mail.ru

Соматический эмбриогенез – одна из наиболее эффективных систем микрклонального размножения хвойных растений. Его общая успешность определяется эффективностью протекания всех стадий, включая созревание и прорастание эмбриоидов. Эмбриогенные клеточные линии были получены в 2021 году из зрелых семян ели европейской (происхождение – Жлобинский лесхоз и Корневская ЭЛБ Института леса НАН Беларуси). Исследование показало, что протекание процессов созревания и прорастания эмбриоидов характеризуется высоким уровнем изменчивости, которая проявляется как внутри отдельных клеточных линий при различных условиях культивирования, так между ними. Реакция растительного материала на условия культивирования во многом определяется его наследственными характеристиками. Продуктивность каллусной ткани достигала 50 зародышей в расчёте на 1 г со средним значением 17,0. Частота формирования эмбриоидов главным образом определялась наследственными особенностями клеточных линий. Доля эмбриоидов, развивающихся в жизнеспособные растения, составила от 0,0 до 100,0% со средним показателем 49,6%, размеры гипокотыля – от 1,1 до 2,1 см, а корней – от 0,3 до 1,0 см. При этом вклад наследственного фактора в общую вариацию длины гипокотыля был достоверным и составил от 1,71 до 5,08%.

№ 17

Влияние бактериального меланина на рост и развитие *Vaccinium vitis-idaea* в культуре *in vitro*

Мазур Т.В.*, Чижик О.В., Круль А.С.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: tmazur@inbox.ru

Применение водорастворимого бактериального меланина (БМ) при культивировании растений брусники обыкновенной сортов Коралл и Ред Перл в условиях *in vitro* представляет большой интерес с точки зрения повышения коэффициента размножения и эффективности адвентивного корнеобразования при получении экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Показано, что добавление БМ в концентрации от 10 до 40 мг/л в питательные среды стимулировало активацию верхушечных и боковых почек на высаженных побегах на 8-ые сутки культивирования. В то время как на средах с добавлением традиционных регуляторов роста с ауксиновой активностью (ИУК, ИМК) активация верхушечных почек отмечена на 12-14 сутки. Добавление в питательные среды БМ вызвало более раннюю инициацию ризогенеза у эксплантов брусники по сравнению с добавлением классических ауксинов: спустя 15 дней на высаженных побегах наблюдали образование корешков. При использовании экзогенных фитогормонов ИУК и ИМК образование зачатков адвентивных корней произошло через 20 дней. Применение ИМК вначале вызвало активное каллусообразование на раневой поверхности черенка. Спустя 6 недель культивирования микропобеги брусники на средах с классическими ауксинами были в среднем на 20 % ниже. Максимальный процент укорененных черенков был отмечен на среде с добавлением 35 мг/л БМ и составил 90,69% для сорта Коралл и 78,8% – для сорта Ред Перл.

№ 18

Влияние солености среды на липидный и жирнокислотный профиль диатомовой водоросли *Haslea ostrearia*

**Мурзина С.А.^{А*}, Репкина Н.С.^А, Воронин В.П.^А, Давидович О.И.^В,
Давидович Н.А.^В**

^АИнститут биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

^ВКаратагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия, Россия

*E-mail: murzina.svetlana@gmail.com

Haslea ostrearia (Gaillon) Simonsen – представитель шовных пеннатных диатомовых микроводорослей. Космополит, его репродуктивно совместимые популяции находятся в разных районах Мирового океана, включая Черное море, в связи с чем изучение эколого-биохимических механизмов адаптации *H. ostrearia* к разной солености актуально. Известно, что изменения жирнокислотного состава (ЖК) липидов является одним из компенсационных реакций и важны для успешной адаптации такого рода. Цель – изучение ЖК-профиля культур *H. ostrearia* в условиях разной солености. Отбор проб проведен в бассейне Черного моря (залив Донузлав). Выделенные клоновые культуры содержали в питательной среде ESAW с разным уровнем солености (20 и 30 ‰). ЖК-состав – определяли методом ГХ-МС. Анализ отдельных классов липидов – методом ВЭТСХ. Установлены количественные отличия липидов *H. ostrearia*, содержание стеролов выше у водорослей при 30 ‰, чем при 20 ‰. Показаны качественные различия ЖК профилей: идентифицированы 21 индивидуальная ЖК у водорослей при 30 ‰ и 13 при 20 ‰. Обнаружение отдельных минорных n-3 и n-6

ПНЖК свидетельствуют об активном биосинтезе, а количество и соотношение некоторых ЖК характеризует направление метаболизма в пользу п-3 ПНЖК у *H. ostrearia* при 30 %. Учитывая вышесказанное, мы можем предположить, что ЖК-метаболизм у *H. ostrearia* при 20 %, характеризуется супрессивным состоянием (компенсационным), при этом обеспечивающим обитание в этих условиях.
Работа выполнена в рамках ГЗ КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.

№ 19

Адаптация *ex vitro* микрклонально размноженных растений карельской березы (*Betula pendula* var. *carelica* Mercl.) в условиях полноспектрального LED-освещения при варьировании физиологически важных спектральных диапазонов

Обуховская Л.В.^{А*}, Куделина Т.Н.^А, Константинов А.В.^Б

^АИнститут экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^Б Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: olv_8@mail.ru

Биотехнологические методы широко используются для получения высококачественного посадочного материала лесных культур. Для повышения приживаемости микрклонально размноженных растений в условиях *ex vitro* применяют методы, стимулирующие ризогенез и повышающие адаптивный потенциал. Одним из ключевых параметров при адаптации *ex vitro*, влияющим на морфогенез и физиологическое состояние растений-регенерантов, является освещение. В связи с развитием LED-технологий появилась возможность формирования спектров освещения с заданными свойствами. Для культивирования регенерантов из апикальных и медиальных черенков *Betula pendula* var. *carelica* использовали несколько вариантов LED-осветителей, различающихся по спектральному составу света. Получены новые данные о влиянии света разного спектрального состава на рост, развитие регенерантов *Betula pendula* var. *carelica* из черенков разного происхождения. Установлено, что черенки, полученные из апикальной и медиальной части микрорастений, проявляли разную чувствительность к спектральному составу освещения. Установлены спектры освещения, при которых происходило стимулирование ризогенеза, наиболее интенсивное накопление биомассы, увеличение площади листьев, содержания хлорофиллов и фенольных соединений у растений карельской березы из регенерантов разного происхождения.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда, подпрограмма «Биоразнообразие, биоресурсы, экология».

№ 20

Влияние конъюгированных форм оксикоричных кислот и хитозана на устойчивость растений огурца к солевому стрессу в условиях закрытого грунта
**Овчинников И.А.^{А*}, Недведь Е.Л.^А, Калацкая Ж.Н.^А, Гилевская К.С.^Б,
Куликовская В.И.^Б, Николайчук В.В.^Б**

^АИнститут экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БИнститут химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: igor-1606@mail.ru

Исследование влияние конъюгатов оксикоричных кислот и хитозана (X₃₀-ФК, X₃₀-КК) на формирование устойчивости растений огурца (*Cucumis sativus* L.) к условиям почвенного засоления (100мМ раствор хлорида натрия 3-хкратно – (5,013 мS) при их выращивании в закрытом грунте до 30-дневного возраста (стадия 3-4-ого настоящего листа). Семена огурца сорта Малышок обрабатывали 1%-ными водными растворами конъюгатов путем их механического перемешивания. Контролем служили

необработанные семена. Определяли выход электролитов, содержание пролина и ТБК-продуктов ПОЛ в листьях растений. У растений в вариантах обработки конъюгатами в стрессовых условиях отмечалось значительное снижение выхода электролитов из высечек листьев, в среднем на 26% относительно показателей стрессового контроля. При обработке конъюгатами Х₃₀-ФК, Х₃₀-КК содержание ТБК-окрашенных продуктов в листьях было в среднем на 25% меньше, чем у растений из стрессового контроля. Выявлено в два раза меньшее накопление пролина в корневой системе, по сравнению со стрессовым контролем. В листьях из опытных вариантов содержание пролина было в два раза меньше при обработке Х₃₀-КК и на 9% меньше при использовании Х₃₀-ФК по сравнению со стрессовым контролем соответственно. Можно сделать вывод что, снижение выхода электролитов из растительной ткани, низкий уровень содержания продуктов ПОЛ и накопления пролина в корневой системе и листьях свидетельствует о защитной функции конъюгатов хитозана с оксикоричными кислотами, способствующими предотвращению формирования стрессовой реакции у растений.

№ 21

Применение биопрепаратов на основе *Bacillus* spp. на растениях яровой пшеницы в полевых условиях

Полянская С.Н.*, Шуканов В.П., Мельникова Е.В., Корытько Л.А., Машкин И.В.
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*Email: snpoljan@mail.ru

Использование биопрепаратов в агробиотехнологии ориентировано на решение проблемы продовольственной безопасности, получение высококачественных и экологически чистых продуктов питания, т.е. не только на объеме производства, но и его биологизации. Поиск и создание биопрепаратов на основе бактерий *Bacillus* spp. является эффективным и экологически обоснованным, в связи с выявленными у них биологическими активностями. Такие препараты не только защищают растения от болезней, повышают их урожайность, но и позволяют получать экологически безопасную продукцию с пробиотическими свойствами для животных и человека. Целью нашей работы было изучение влияния биопрепаратов (фитоспорин, биоплант, макрофитум, экосил), на протекание реакций болезнеустойчивости и формирование продуктивности у растений яровой пшеницы сорта Мадонна в полевых условиях. В результате исследований показано, что экзогенное воздействие препаратами вызывало различные ответные реакции, стимулирующие обмен веществ и направляющие внутриклеточный метаболизм на формирование определенного типа болезнеустойчивости. Обработка растений пшеницы препаратами привела к ускоренному развитию растений, увеличению степени пероксидации липидов в фазе молочной спелости при одновременном снижении количественного содержания фотосинтетических пигментов, что может указывать на отсутствие пролонгированного действия препаратов. Биопрепараты оказывали положительное влияние на продуктивность и структуру урожая растений пшеницы. Повышение урожайности происходило за счет увеличения продуктивной кустистости, озернённости колоса и выполненности семян, что приводило к увеличению массы зерна как в колосе, так и с растения, а также массы 1000 зерен.

№ 22

Эффект серебряных наночастиц, синтезированных с помощью зеленых методов на рост культуры *Betula pendula* L. *in vitro*

Пржевальская Д.А.^{А*}, Бондаренко В.Ю.^А, Шашко А.Ю.^А, Смолич И.И.^А, Соколик А.И.^А, Константинов А.В.^Б, Падутов В.Е.^Б, Демидчик В.В.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь.

^БИнститут леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: daryaprzhevalskaya@gmail.com

Наночастицы металлов, такие как наночастицы серебра, полученные методом «зеленого» наносинтеза, в последние годы находят все более широкое применение в исследованиях и практике благодаря их высокой биосовместимости и низкой токсичности. Важно понять, как зеленые наночастицы оказывают регулирующее воздействие на все группы живых систем, включая растения. Один из ключевых вопросов заключается в том, как наночастицы серебра, полученные зелеными методами, модифицируют рост растений в различных культивационных и биотехнологических системах, таких как культура *in vitro*. В работе исследованы узловые сегменты березы повислой *Betula pendula* Roth, выращенной на среде для древесных растений (WPM) с добавлением наночастиц серебра (0,3-300 мг/л). Через 30 дней культивирования в условиях *in vitro* измеряли рост побегов и корней. Наночастицы серебра были синтезированы с использованием L-аскорбиновой кислоты (восстановитель) и поливинилпирролидона (ПВП; стабилизатор), а также экстракта хвой (в качестве восстановителя и стабилизатора). Химический наносинтез на основе ПВП и L-аскорбата, а также зеленый наносинтез с использованием экстракта хвой ели позволил получить сферические наночастицы с близкими физическими параметрами. Низкие концентрации НЧ Ag (0,3-10 мг/л), синтезированные химическим путем (ПВП и L-аскорбат), стимулировали рост побегов березы. При этом максимальный стимулирующий эффект на рост побегов был обнаружен при дозе 10 мг НЧ л⁻¹ (стимуляция на 250-300% по сравнению с контролем). При более высоких уровнях наночастиц (30-300 мг л⁻¹) стимулирующий эффект снижался. Концентрации более 300 мг/л угнетали рост растений березы. Очень похожие эффекты наблюдались в корнях. В опытах с наночастицами, синтезированными с использованием экстракта хвой ели, показано, что низкие концентрации AgNP (0,3 и 1 мг/л) не вызывают существенного изменения размеров побегов и корней березы. В то же время более высокие уровни наночастиц серебра (3-300 мг л⁻¹) значительно стимулировали рост. Настоящее исследование демонстрирует получение стабильных наночастиц серебра на основе ПВП и L-аскорбиновой кислоты, а также экстракта хвой *Betula pendula*. Полученные наночастицы имеют однородную форму и распределение. Присутствие AgNP (1-300 мг л⁻¹) в питательных средах оказывает стимулирующее действие на рост побегов и корней *Betula pendula*.

№ 23

Количественное содержание α -пинена и $\Delta 3$ -карена в образцах скипидара различных генотипов сосны обыкновенной

Сачек А.П.^{1*}, Сидоренко А.Ю.², Булко Н.Н.¹, Константинов А.В.¹, Мальцева Л.В.¹

¹Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: a.sa4ek@yandex.by

Канифольно-терпентинное и канифольно-экстракционное производства основаны на переработке экстрактивных веществ, основным сырьем для которой служит сосновая живица. Повышение эффективности подсочки в системе рационального использования

лесных ресурсов требует разработки комплексных методик определения качественного состава скипидара, широко используемого для синтеза многих конечных продуктов. Исследования выполнялись на 22 деревьях сосны обыкновенной из естественных насаждений, различающихся по совокупности фенотипических признаков. Экспресс методом была получена живица, использованная для выделения монотерпеновой фракции отгонкой с водяным паром на лабораторной установке (рисунок).



Рисунок – Экспериментальная установка для выделения скипидара из сосновой живицы

Установка состоит из колбы-парогенератора, круглодонной трехгорлой колбы, прямого холодильника и приемника жидкости (отгона). Нагрев парогенератора и колбы с образцами осуществлялся на электрических плитках. Путем газожидкостной хроматографии при помощи газового хроматографа Хромос ГХ-1000 провели анализ качественного и количественного состава полученного очищенного от воды скипидара. Выявлены различия химического состава монотерпеновой фракции образцов скипидара. Основную часть составляли α -пинен и Δ^3 -карен (от 84,1 до 96,0 %). Количественное содержание остальных терпенов (β -карена, лимонена, п-цимола и др.) существенно варьировало и находилось в пределах от 4,0 % до 15,9 %. Исключение составил один генотип, сумма α -пинена и Δ^3 -карена в живице которого составила 59,5 %, а остальная часть (40,5 %) приходится на другие терпены. Таким образом, показана генотипическая изменчивость состава монотерпенов различных деревьев сосны, отобранных на основе оценки таксационных показателей.

№ 24

Сравнительный анализ устойчивости линий *Beta vulgaris* L. белорусской селекции к водному дефициту

Скуратович Т.А.^{А*}, Майсеня С.В.^Б, Стаселович М.И.^А, Павлютина Н.Б.^А, Молчан О.В.^А

^АИнститут экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БРУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», Несвиж, Беларусь

*E-mail: tskuratovich@yandex.ru

Протестированы 10-ти дневные проростки линий сахарной свеклы белорусской селекции в условиях оптимального увлажнения и при водном дефиците. Водный дефицит моделировали при помощи полиэтиленгликоля с молекулярной массой 6000 г/моль. Контролем являлся засухоустойчивый гибрид сахарной свеклы Акация KWS (Германия). Установлены различия параметров у исследованных образцов при выращивании в контрольных условиях и при водном дефиците. Минимальная площадь листа отмечена в контрольном варианте. Обнаружен селекционный образец с наиболее

близкой к контролю площадью листа. Удельная поверхностная плотность листа у засухоустойчивого гибрида Акация была в 1,5 – 2 раза больше, чем у образцов белорусской селекции. Отмечены линии, у которых относительное содержание воды в проростках при водном дефиците не отличалось от контроля. Три образца характеризовались низкой относительной потерей воды изолированными листьями в условиях водного дефицита, что свидетельствует о их повышенной засухоустойчивости. Два из них имели равное контрольному значению содержание пролина. Выявлены 2 линии белорусской селекции, характеризующиеся схожими с контролем, или близкими к нему относительной потерей воды изолированными листьями и содержанием пролина в условиях водного дефицита, которые могут быть рекомендованы для дальнейшей селекционной работы.

№ 25

Изменение содержания флавонов при действии перекиси водорода в hairy roots

Scutellaria sp.

Слезова С.А.^А, Панов Ю.М.^Б, Малунова М.В.^А, Соловьева А.И.^А,

Степанова А.Ю.^{А*}

^АИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева, РАН, группа специализированного метаболизма корней Отдела биологии клетки и биотехнологии, Москва, Россия

^БМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

*E-mail: step_ann@mail.ru

Представители рода *Scutellaria* - многолетние растения, экстракты из корней которых широко используются в восточной медицине, так как обладают широким спектром действия, благодаря наличию четырех флавонов: глюкуронидов – байкалина и вогонозида и их агликонов – байкалеина и вогонина. Известно, что в условиях биотического и абиотического стресса образуются активные формы кислорода (АФК), вызывающие окислительный стресс. А также давно доказано – флавоны шлемника обладают антиоксидантным действием, однако, их роль для растения изучена недостаточно. Целью нашей работы было изучение влияния АФК на содержание флавонов, что позволит выяснить их роль в защите клеток корня от повреждения. В качестве объектов исследования нами были использованы культивируемые *in vitro* корни (*hairy roots*) *Scutellaria przewalskii* из коллекции ИФР РАН. В качестве индуктора окислительного стресса использовали перекись водорода в концентрации – 1 и 10 mM. Исследованные концентрации, практически, не влияли на рост корней: снижение роста на 20,5% по сравнению с контролем наблюдалось к концу цикла культивирования только в случае с 10 mM H₂O₂. Однако в этом же варианте существенно повышалось содержание флавонов на 1 и 3 сутки эксперимента, до 73 и 51 мг/г сухой массы, соответственно, что в 2,7-3 раза выше контроля. Изменение происходило, за счет увеличения содержания глюкуронидов, в первую очередь, байкалина, что предполагает его существенную роль в адаптации корней к окислительному стрессу.

№ 26

Получение трансгенных растений томата (*Solanum lycopersicum*), экспрессирующих ген $\Delta 9$ десатуразы в различных компартментах Соболев Д.С.^{1*}, Павленко О.С.¹, Тюрин А.А.¹, Голденкова-Павлова И.В.¹, Халилуев М.Р.²

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, лаборатория функциональной геномики, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, лаборатория клеточной инженерии растений, Москва, Россия.

*E-mail: denissoboleww@gmail.com

Для получения трансгенных растений томата (*Solanum lycopersicum*), экспрессирующих $\Delta 9$ ацил-липидную десатуразу и оценки её влияния на жирнокислотный (ЖК) состав суммарных липидов при локализации в различных компартментах клетки, был проведен ряд экспериментов по трансформации растений томата, оценке экспрессии целевого гена и анализа ЖК состава суммарных липидов. Нами были сконструированы векторы, несущие ген *desC*, кодирующий $\Delta 9$ десатуразу. Для направления продуктов гена *desC* в различные компартменты растительной клетки, последовательность гена была слита с лидерными последовательностями, обеспечивающими локализацию продуктов гена в хлоропластах, ЭПР и цитоплазме. Полученными векторами трансформировали штамм *Agrobacterium tumefaciens* GV3101 с последующей агробактериальной трансформацией растений томатов *Solanum lycopersicum*. В ходе работы доказано, что лидерные последовательности обеспечивают корректную локализацию белкового продукта рекомбинантного гена в целевых компартментах клетки, продемонстрирована специфичность гетерологичной $\Delta 9$ десатуразы в зависимости от ее локализации в растительной клетке, оценен вклад $\Delta 9$ десатуразы в изменение состава и массовой доли насыщенных и ненасыщенных ЖК суммарных липидов, произведена оценка относительной нормализованной экспрессии гена *desC* в трансгенных растениях.

№ 27

Определение полной нуклеотидной последовательности хлоропластного генома гексаплоидных пшенично-ржаных гибридов (\times *Triticosecale* Wittm.) методом NGS. Соколюк А.В.*, Василевская М.Е., Дубовец Н.И.

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, лаборатория цитогеномики растений, Минск, Беларусь

*E-mail: a.sokolyuk@igc.by

Целью настоящего исследования являлось осуществление сборки полных нуклеотидных последовательностей хлДНК пшенично-ржаных гибридов, дальнейшее сопоставление которых с хлоропластным геномом донора цитоплазмы позволит выявить модификации пластома, произошедшие в процессе коадаптации ядерного и цитоплазматического геномов амфидиплоидов. Материалом для исследований послужили 10 сортов тритикале, из которых 6 сортов (Благо, Динамо, Ковчег, Устье, Заречье, Гродно) были озимого типа развития, остальные 4 (Узор, Лана, Матейко, Садко) – ярового. В результате проведенного высокопроизводительного секвенирования и сборки хлДНК-обогащенной библиотеки сортов тритикале получено 579 095 парноконцевых чтений. Длина прочтений варьировала от 29 до 301 нуклеотида (среднее 290). Сборка полной последовательности генома выполнена с помощью выравнивания контигов на референсный хлоропластный геном *Triticum aestivum* (код доступа GenBank – KJ592713). Общий размер хлДНК всех сортов тритикале после сборки составил 133 873 п.н., что полностью соответствует размеру хлоропластного генома мягкой пшеницы. Сравнительный анализ полученных нуклеотидных

последовательностей хпДНК тритикале выявил высокий уровень изменчивости пластома пшенично-ржаных гибридов. При этом самым полиморфным было семейство генов АТФазы, в котором детектировано 42 замены, из которых 11 в гене *atpA*, кодирующем α -субъединицу H^+ АТФазы, являются идентичными для всех исследованных сортов. Полученные данные создают основу для углубленного изучения особенностей взаимодействия ядра и цитоплазмы у отдаленных гибридов злаков.

№ 28

Активация H^+ -АТФазной помпы как один из механизмов адаптации растений к температурным воздействиям

Станьковская А.В., Яковец О.Г.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: yakovets@inbox.ru

Гипертермия и гипотермия – стрессовые факторы, оказывающие сильное влияние на растительный организм. Динамика адаптации растительного организма к данным абиотическим стрессорам представляет особый интерес. Целью нашей работы было сравнительное исследование ацидофицирующей активности корней проростков озимой пшеницы (сорт Мроя) после гипер- и гипотермического воздействия. Эксперименты проводились на 8-дневных этиолированных проростках, выращенных в растворе 10^{-4} М $CaSO_4$ рулонным методом. Контрольные измерения ацидофицирующей активности корней проводились в течение 180 мин в темноте в растворе, содержащем 10^{-4} М $CaSO_4$ и 10^{-3} М KCl . Регистрировали рН экспериментального раствора с помощью настольного рН-метра HANNA instruments HI 221 и иономера лабораторного И-160. При гипертермии после контрольных измерений проростки помещали в термостат при температуре $+40^{\circ}C$ на 3 часа, при гипотермии – в термостат при температуре $+12^{\circ}C$ на 24 часа. После этого сразу и через 24 и 48ч проводилось исследование ацидофицирующей активности корней. Выявлено, что обработка проростков озимой пшеницы высокой температурой вызывает активацию H^+ -АТФазной помпы плазмалеммы клеток корней. Сразу после действия пониженной температуры наблюдается ингибирование H^+ -помпы. С увеличением времени экспозиции в нормальных условиях после гипотермии происходит постепенное возвращение функциональной активности данной транспортной системы к контролю (через 48ч). При этом предварительно происходит ее активация (через 24ч). Таким образом можно заключить, что обработка проростков озимой пшеницы как высокой, так и низкой положительной температурой вызывает активацию H^+ -АТФазной помпы плазмалеммы клеток корней. Причем, растительный организм быстрее адаптируется к действию низких положительных температур, чем повышенных: после воздействия гипотермии ацидофицирующая активность корней проростков озимой пшеницы возвращается к первоначальной через 48ч, а после гипертермии этого времени еще недостаточно.

№ 29

Генетическая детерминация устойчивости к болезням и качества плодов в селекции томата *Solanum lycopersicum* L. для открытого грунта

Пугачёва И.Г.^А, Французенок А. В.^{А*}, Баева И.Е.^А, Добродькин М.М.^А, Некрашевич Н.А.^Б, Бабак О.Г.^{Б*}, Кильчевский А.В.^Б

^АБелорусская государственная сельскохозяйственная академия, кафедра сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, Горки, Беларусь

^БИнститут генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: nfrancuzenok@gmail.com, o.babak@igc.by

В условиях изменяющегося климата актуально создание сортов и гибридов томата, позволяющих получать зрелые плоды в открытом грунте. Это не требует расходования энергии для создания микроклимата, использования дорогого оборудования и значительных трудовых затрат по сравнению с сооружениями защищенного грунта. Целью наших исследований является создание новых гибридов и сортов томата, сочетающих раннеспелость, высокую урожайность, генетически детерминированную устойчивость к наиболее вредоносным болезням и качество продукции. При подборе пар для скрещиваний и создании нового селекционного материала мы используем отбор при помощи молекулярных маркеров и на уровне микрогаметофита, учитываем проявление морфологических признаков растений и скороспелость. В результате испытания по комплексу хозяйственно ценных признаков выявлены гибриды F₁ и линии, сочетающие детерминантный тип роста, высокую завязываемость плодов, период от всходов до созревания первых плодов 83–97 дней, урожай за первые три сбора в открытом грунте 1,32–2,42 кг/м², общую урожайность – 6,58–9,72 кг/м². Адаптированы методики и проведено ДНК-типирование аллелей генов качества плодов, определяющих повышенное накопление каротиноидов и антоцианов, а также генов устойчивости к бронзовости, кладоспориозу, фитофторозу, мелойдогинозу, фузариозу. Установлена высокая эффективность выявления гомозиготных и гетерозиготных форм. Выделены образцы, содержащие аллели ценных признаков.

№ 30

Оценка концентрации аскорбиновой кислоты в проростках пшеницы при натрий-хлоридном стрессе

Яковец О.Г.^{А*}, Бушманова М.В.^А, Хандурдыева М.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: yakovets@inbox.ru

Аскорбиновая кислота (АК) в растительном организме, согласно последним литературным данным, может выполнять не только функцию низкомолекулярного антиоксиданта, но и обладать прооксидантными свойствами. Также в литературе сообщается о возможной защитной функции АК при хлоридном засолении. В связи с этим нами была определена концентрация АК в 9-10 дневных проростках пшеницы, подвергнутых натрий-хлоридному стрессу. При оценке концентрации АК за основу взят метод Hewitt E.J. и Dickes G.J. (1961) спектрофотометрического определения АК. Установлено, что после 15 и 30 мин обработки проростков пшеницы *сорта Дарья* 200 мМ NaCl не выявлено достоверных изменений содержания АК по сравнению с контролем. После 15 мин воздействия в присутствии 300 мМ NaCl зафиксирован достоверный рост содержания АК в 1,6 раза, после 30 мин – достоверное снижение концентрации АК в 1,8 раза. После 1 и 3 сут обработки проростков 200 и 300 мМ NaCl не выявлено достоверных изменений в содержании АК. У проростков пшеницы *сорта Сударыня* зафиксирован достоверный рост концентрации АК только после 30 мин воздействия 300 мМ NaCl. У проростков пшеницы сорта Мроя после 15 мин

обработки 200 мМ NaCl установлен достоверный рост концентрации АК в 2,3 раза, после 30, 45, 60 мин – достоверных различий в содержании АК не выявлено. В присутствии 300 мМ NaCl с увеличением времени экспозиции от 15 до 30 мин зафиксирован уменьшающийся рост концентрации АК по сравнению с контролем в 2,7 и 1,7 раза, соответственно, через 45 мин – количество АК достоверно не отличалось от контроля, а через 60 мин – достоверно уменьшалось в 1,9 раза. При дальнейшем увеличении времени экспозиции только после 1сут обработки и только 200 мМ NaCl наблюдался рост концентрации АК в 3 раза. Таким образом, быстрое кратковременное повышение концентрации АК в первые 15 (30) минут воздействия засоления свидетельствует о сигнальной роли аскорбата при стрессовых воздействиях.

№ 31

Влияние гербицидов различных классов на содержание фотосинтетических пигментов в проростках пшеницы

Яковец О.Г.^{А*}, Чжао К.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: yakovets@inbox.ru

Механизм действия гербицидов на нецелевые растительные организмы достаточно сложен и до конца еще не изучен. Нельзя отрицать тот факт, что культурные растения в определенной степени подвергаются их влиянию. Эксперименты проводились на 10-11-дневных проростках яровой пшеницы сорта Любава и сорта Сударыня, выращенных рулонным методом при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и естественном освещении. Обработка Прометрексом Фло (д.в. прометрин, *П*) и хизалофоп-*П*-этилом (*ХЗФ*) проводилась путем внесения их в среду выращивания в концентрациях 10^{-6} , 10^{-5} и 10^{-4} М за 1 (сорт Любава) и 3 (сорт Сударыня) суток до количественного определения содержания фотосинтетических пигментов (ФСП), которое проводили с помощью спектрофотометрического анализа ацетоновой вытяжки пигментов без их предварительного разделения. Контролем служила дистиллированная вода. Установлено, что характер изменения содержания ФСП в проростках яровой пшеницы сорта Любава в присутствии *П* и *ХЗФ* качественно не отличается: с увеличением в инкубационной среде концентрации протестированных гербицидов зафиксированные эффекты уменьшаются. Выявленные количественные изменения свидетельствуют о том, что производные арилоксиалканкарбоновых кислот (*ХЗФ*) обладают более сильными эффектами после 1сут-воздействия по отношению к яровой пшенице данного сорта, чем производные триазинов (*П*). С увеличением в инкубационной среде концентрации протестированных гербицидов установленные после 3сут-воздействия для проростков яровой пшеницы сорта Сударыня эффекты возрастают. При этом для производных арилоксиалканкарбоновых кислот (*ХЗФ*) характерно преимущественное стимулирующее действие, а для производных триазинов (*П*) – ингибирующее. Следовательно, во-первых, возможно, существует сортовая устойчивость яровой пшеницы к обработке гербицидами; во-вторых, нельзя исключить, что после определенного времени экспозиции в растворах гербицидов в проростках пшеницы включаются механизмы адаптации к данному химическому стрессору.

№ 32

Современные биотехнологические подходы к изучению ягодных культур (*Vaccinium corymbosum* L.)

Чижик О.В.*, Юхимук А.Н., Решетников В.Н.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: chizhikolga17@gmail.com, o.chizhik@cbg.org.by

Развитие биотехнологии способствует появлению новых подходов – использованию биохимических и молекулярных маркеров (белков и нуклеиновых кислот). Современные способы исследования специфичности биологических макромолекул позволяют на принципиально новой основе решить проблему идентификации генотипов, а также ряд вопросов, касающихся охраны прав собственности на селекционные достижения, сохранения и реализации сортов, контроля безопасности материала и т. п. Впервые для голубики высокой проведена молекулярно-генетическая идентификация и разработаны генетические паспорта с использованием маркерной системы SCoT. Данная система маркирования обеспечивает возможность проверки сортосоответствия посадочного материала, а также позволит использовать полученные данные при защите авторских прав, а также в маркер-сопутствующей селекции растений сем. *Ericaceae* Juss. Протеомика дает возможность охарактеризовать виды растений и идентифицировать предполагаемые молекулярные маркеры не только видо- и сортоспецифичности, но и белки-маркеры функционального состояния растительного организма. Исследования общего протеома голубики высокой методом 2D-электрофореза с использованием автоматической станции Protean i12 IEF Cell (Bio-Rad, США) были выполнены в нашей республике впервые. Составление протеомных карт (биохимических паспортов) позволит разработать способы определения биопродуктивности растений и проводить быстрый отбор культур, перспективных для биотехнологического производства, а также использовать как тест-системы состояния организма на разных этапах роста и развития или как мишень регуляторного воздействия. Полученные результаты развивают биологию ценных ягодных культур, а также научные подходы к их использованию в народном хозяйстве.

№ 33

Транскрипционный регулятор SlyA фитопатогенных бактерий как сенсор растительных фенольных соединений.

Шарангович М.А.^{А*}, Лагоненко А.Л.^А, Игнатенко Е.И.^Б, Николайчик Е.А.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра молекулярной биологии, Минск, Беларусь

^ББелорусский государственный университет, кафедра микробиологии, Минск, Беларусь

*E-mail: msharangovichus@gmail.com

Многие фенольные соединения растений обладают антибактериальной активностью, а некоторые из них являются важными сигнальными соединениями (как, например, салициловая кислота – медиатор системной приобретённой устойчивости). Но фитопатогены могут использовать такие соединения и в качестве сигналов, влияющих на продукцию факторов вирулентности. Ранее с помощью насыщающего транспозонового мутагенеза фитопатогенного штамма *Pectobacterium versatile* 3-2 мы идентифицировали несколько генов, индуцируемых/репрессуемых в присутствии растительных фенольных соединений. Анализ регуляторных последовательностей этих генов с помощью программы SigoID выявил в трех случаях присутствие потенциального оператора для SlyA – транскрипционного фактора семейства MarR. Для некоторых регуляторов этого семейства показана аллостерическая регуляция фенольными соединениями, в частности молекулами салицилата. Лучшее всего изучена роль SlyA в регуляции вирулентных свойств патогенов человека и животных.

Значительно меньше данных имеется о роли и функционировании SlyA в жизнедеятельности фитопатогенных бактерий. В этой работе обнаружено неожиданное фенотипическое проявление (токсичность) экспрессии *slyA P. versatile* и *Erwinia amylovora* E2 в клетках разных лабораторных штаммов *Escherichia coli*, что позволило идентифицировать два растительных фенольных соединения, способных инактивировать SlyA. Путем сверхэкспрессии SlyA в клетках *P. versatile* подтверждена регуляторная роль SlyA в отношении идентифицированных ранее фенол-индуцируемых/репрессируемых генов, а также показано участие SlyA в контроле пектолитической активности патогена, что свидетельствует о важнейшей роли сигнализации, опосредуемой растительными фенольными соединениями, в формировании растительно-бактериальных патосистем.

№ 34

Роль рецепторподобной киназы RLK4 растений *Solanaceae* в рецепции эффекторного белка DspE фитопатогена *Pectobacterium versatile*

Шруб Е.В.^{А*}, Колубако А.В.^А, Николайчик Е.А.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра молекулярной биологии, Минск, Беларусь

*E-mail: shrubkaterina@gmail.com

Рецепторподобные киназы играют важную регуляторную роль в сигнальных цепях, которые задействованы в различных жизненных процессах растений таких как рост, развитие, клеточная дифференцировка и распознавание патогенов. Объект нашего исследования – рецепторподобная серин/треониновая киназа RLK4, обладающая доменами с лейцин-богатыми повторами (LRR-RLK). Основной функцией такого рода киназ является детекция патогенов, поэтому они становятся удобными кандидатами для манипуляций патогенами, которые в свою очередь будут пытаться нарушать сигнальные цепи активации иммунного ответа. Фитопатоген *Pectobacterium versatile* вызывает у картофеля «черную ножку» стеблей и мягкую гниль клубней. Ранее мы показали, что эффектор DspE доставляется *P. versatile* в клетки растений, где связывается с цитоплазматическими доменами рецепторподобных киназ RLK2 и RLK5 растений томата и табака, что приводило к усилению реакции гиперчувствительности в области первичного контакта с патогеном и подавлению жасмонатного сигнального пути, которая обуславливает устойчивость к некротрофам. Поиск возможных мишеней DspE у растений картофеля позволил выявить две родственные киназы stRLK4 и sbRLK4 у *Solanum tuberosum* и *S. bulbocastanum*. При помощи дрожжевой двухгибридной системы показано непосредственное взаимодействие этих киназ с эффекторным белком. Сайленсинг RLK4 в растениях *Nicotiana benthamiana* приводит к общей интенсификации реакции гиперчувствительности. Полученные данные помогут в установлении точной картины процесса взаимодействия *P. versatile* с растениями.

Заочное участие

Биохимический анализ листьев представителей рода *Trigonella*

Агабалаева Е.Д. *, Спиридович Е.В., Решетников В.Н.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: plechischik@rambler.ru

Пажитник (*Trigonella*) – род растений семейства Бобовые (*Fabaceae*), является перспективным для фармацевтической и пищевой промышленности. Наиболее известные виды данного рода – пажитник греческий (*T. foenum-graecum*), пажитник голубой (*T. caerulea*) и пажитник пряморогий (*T. polycerata*). Пажитники греческий и голубой используются как компоненты пряно-ароматических смесей, таких как хмели сунели, карри, где в качестве сырья применяются высушенная зеленая масса и семена, а также в хлебопечении, сыроделии. Помимо высокой пищевой ценности, *T. foenum-graecum* включен в Государственные фармакопеи ряда стран Евросоюза и Китайской Народной Республики в качестве лекарственного сырья, обладающего антидиабетическим, лактогонным, гипохолестеринемическим действием. Целью данной работы было исследование стероидных сапонинов и флавоноидов в листьях *T. foenum-graecum*, *T. caerulea* и *T. polycerata*. Определение суммарного содержания стероидных сапонинов и флавоноидов проводили спектрофотометрическим методом. Было установлено, что по содержанию стероидных сапонинов листья *T. foenum-graecum* в 10 раз превосходят *T. caerulea* (2,58% против 0,27%) и незначительно – *T. polycerata* (2,58% против 1,92%). Листья *T. foenum-graecum* содержат примерно в 2,5 раза больше флавоноидов, чем *T. caerulea* и *T. polycerata*: 7,57, 2,76 и 2,71% соответственно. Таким образом, была установлена возможность использования надземной части *T. foenum-graecum* и *T. caerulea* в качестве лекарственного сырья.

Полиморфизм показателей активности реакций световой и темновой фаз фотосинтеза листьев у сортов озимой пшеницы

Амелин А.В., Чекалин Е.И. *, Заикин В.В.

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, центр коллективного пользования «Генетические ресурсы растений и их использование», Орел, Россия

*E-mail: hmet83@rambler.ru

Исследования показали, что фотосинтетические признаки и свойства растений *Triticum aestivum* L. характеризуются широким полиморфизмом и генотипической обусловленностью. Сортовые различия по активности реакций фотосинтеза листьев наиболее значимо проявляются в период генеративного развития растений, когда спрос на фотоассимиляты существенно возрастает, а приход ФАР в регионе достигает максимального значения. Основная фотосинтетическая нагрузка при этом ложится на флаговые листья. В это время электронно-транспортная цепь (ЭТЦ) у генотипов озимой пшеницы изменяется от 50,2 до 119,3 ед., квантовый выход флуоресценции хлорофилла (КВФХ) – от 0,120 до 0,284 ед., интенсивность фотосинтеза (ИФ) – от 10,97 до 25,63 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, устьичная проводимость (УП) – от 0,45 до 1,05 моль $\text{H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$, эффективность использования воды (ЭИВ) – от 0,78 до 5,27 мкмоль $\text{CO}_2/\text{ммоль H}_2\text{O}$. В течение дня поглощение и усвоение квантов света листьями растений культуры наиболее активно происходит в утреннее и вечернее время, а днем (с 12:00 и до 16:00 часов) отмечается их спад – в среднем на 30%. При этом по интенсивности ЭТЦ генотипы озимой пшеницы различаются в среднем в 2 раза, по КВФХ – в 2,4 раза, по ИФ – в 2,5 раза, по УП – в 2 раза, по ЭИВ – в 5 раз, что дает возможность эффективно проводить по ним целенаправленную селекционную работу.

Физиолого-биохимические особенности каллусной ткани *Althaea officinalis* L. при культивировании в условиях дефицита ауксинов и цитокининов в питательной среде

Архипенко Я.Н., Дитченко Т.И.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: ditchenko@bsu.by

При длительном культивировании *in vitro* клетки каллусных тканей могут приобретать специфическое свойство гормонезависимости, т.е. автономности по отношению к экзогенным ауксином и цитокинином. С практической точки зрения «привыкшая» каллусная культура является перспективным объектом фитобиотехнологии, поскольку рост на безгормональных средах значительно уменьшает затраты на производство ценных вторичных метаболитов и/или сохранение генофонда клеточных линий-продуцентов. С целью оценки степени гормонезависимости длительно пассируемых *in vitro* каллусных тканей алтея лекарственного (*Althaea officinalis* L.) осуществлялось их культивирование в условиях отсутствия в питательной среде регуляторов роста ауксиновой и/или цитокининовой природы. Установлено, что исследуемая каллусная культура проявляет выраженную зависимость от присутствия экзогенного цитокинина. Исключение 0,5 мг/л кинетина приводило к 4-х кратному ингибированию прироста биомассы в течение двух пассажей, возрастанию дегидрогеназной активности клеток и уровней накопления фенолокислот, что свидетельствует о развитии стрессовой реакции. В условиях исключения ауксинов (0,2 мг/л 2,4-Д и 1,0 мг/л ИУК) из состава питательной среды наблюдалось полное сохранение ростовой активности каллусной культуры в первом пассаже. При увеличении продолжительности культивирования признак ауксин-независимости постепенно ослабевал. К десятому пассажу несмотря на существенное снижение прироста биомассы, каллусные ткани сохраняли жизнеспособность и дегидрогеназную активность на среде без ауксинов, но характеризовались более низким биосинтетическим потенциалом в отношении фенолокислот и снижением антирадикальной активности водно-спиртовых экстрактов. Установленные закономерности могут быть использованы для оптимизации гормонального состава сред культивирования каллусных тканей алтея лекарственного, а также разработки приемов их депонирования.

Питательные среды для *Arabidopsis thaliana* (L.) Neunh: влияние состава среды на рост первичных корней асептических проростков

Богук Е.В., Михайлова Т.А., Крытынская Е.Н.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: krylena@bsu.by

Растущее число исследований в беспочвенных системах свидетельствует о том, что выращивание *A. thaliana* на агаровых пластинах получает все более широкое распространение. Однако информации о влиянии состава и концентрации питательного раствора (питательной среды) на рост и развитие корневой системы асептической культуры *A. thaliana* немного. Остро стоит вопрос адаптации и оптимизации питания в неестественных условиях, характерных для агарово-чашечной культуры *A. thaliana*, с целью обеспечения высокого качества асептических проростков. В этой связи мы решили сравнить показатели роста первичных корней асептических проростков *A. thaliana* (WS-0), выращенных на наиболее часто используемых питательных средах, дополненных фитагелем (желирующим агентом): 100% Murashige and Skoog (MS), 100% Hoagland, модификация среды Hoagland (Uraguchi) и Knop. Анализировали на корневую пенетрантность, всхожесть, оценивали среднесуточный прирост первичных

корней, их длину и массу. Согласно полученным результатам, проростки *A. thaliana* на отмеченных средах демонстрируют существенную разницу в росте первичных корней. Наиболее эффективными из протестированных нами оказались две среды: MS и Hoagland. Повышенное содержание ионов Ca^{2+} , K^+ и Mg^{2+} и отсутствие сахарозы, характерное для среды Hoagland, практически не отразилось на длине первичных корней асептических проростков *A. thaliana* (WS-0). Средняя длина корешков на 7 сутки составила $30 \pm 0,44$ мм, $n=126$, и ненамного уступала среднему показателю для MS-среды ($45 \pm 0,92$ мм, $n=106$). На отмеченных питательных средах были получены здоровые асептические проростки с хорошо развитой корневой системой, сформированной прикорневой розеткой. Влияние «углеводного компонента» несколько не сказалось на ростовой реакции *A. thaliana*, и два разных предпринятых нами экспериментальных подхода к изучению ростовой реакции (чашки Петри, не содержащие и содержащие 10 г/л сахарозы) достоверных различий не демонстрировали. Модификация среды Hoagland в течение 4 экспериментальных суток приводила к подавлению роста первичных корней, длина корней *A. thaliana* на среде Uraguchi сократилась в 16 раз относительно MS-среды, и на 7 сутки составила $2,5 \pm 0,09$ мм, $n=80$. По прошествии 5 дней отмечали полную остановку роста культуры. Что же касательно среды Кнопа, то значительное повышение уровней K^+ , Ca^{2+} , PO_4^{3-} и NO_3^- обеспечило асинхронность в прорастании семян и профилях скорости роста отдельных корней, что, согласно R Swarup, может быть опосредовано дефектами транспорта ауксина, модификацией переносчиков LAX и PIN. Средняя длина корней асептических проростков *A. thaliana* к 7 суткам составила $27 \pm 8,3$ мм, $n=10$, что было ниже средних показателей, характеризующих среды Hoagland и MS. Таким образом, состав питательной среды может вызывать реакции артефактов, последние могут маскировать истинную задержку роста корней асептических проростков *A. thaliana* в условиях стресса и сильно зависеть от состава контрольной среды.

Спектроскопия характеристических времён процессов в клеточной биотехнологии

Болховитинов А.С.*, Адамович Е.Д., Панкратов С.К., Орехов Ф.К.

Фриланс-группа по мультипараметрическому анализу данных и моделированию биологических процессов, Москва – Новосибирск – Обнинск – Томск

*E-mail: a.s.bolkhovitinov@gmail.com

Механизм биогеохимической цикличности цитофизиологических процессов, опосредованных мембранными процессами на интерфейсе «клетка-среда» и «растение-среда» в естественных условиях, в действительности, является совокупностью качественно отличных биофизических механизмов, различимых на спектре времён циклов в линейном и логарифмическом представлении преобразования Фурье, на кепстральных, вейвлетных спектрах с иерархией локализованных компонент. Однако, принимая во внимание геохимические масштабы времён, исследователи, делающие акцент на биогеохимии, часто игнорируют более высокочастотные циклы и регулярные компоненты, которые обуславливаются собственной физиологической активностью клетки, то есть – активностью ионных каналов, метаболических циклов, биологических часов или биоритмов (в разных формах и на разных уровнях – от тканевого до организменного). По существу, требуется новый инструмент, реализующий (как для модельных данных, так и для реальных совокупностей процессов на многоканальных регистрограммах) анализ эндоэкологических метаболических цикличностей, что требует разрешения тонкой структуры спектра вышеуказанных циклов. Предлагается использовать комплексные техники спектрального анализа с различным базисом для квантификации параметров циклов. Иерархиям временных переменных на

скалеограмме процессов сопоставляются соответствующие их протеканию пространственные структуры: от клетки или растения с конечными временами жизни, до изменяющихся во времени биогеохимических форм, находящихся на N порядков ниже в иерархии частот. Предлагается рассматривать данную динамику с точки зрения компарментализации соответствующих физиологических и биохимических процессов. Корреляцию, выявляемую алгоритмами под MATLAB, дополняет многомерный (многофакторный) анализ колокализации характеристических времён физиолого-биохимических процессов в тканях.

Введение в культуру *in vitro* Шлемника байкальского

Бронских Е.Д.*, Пивоварова Н.С.

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: ekaterina.bronskih@spcpu.ru

Шлемник байкальский – многолетнее растение семейства Яснотковых, которое содержит широкий спектр биологически активных веществ: флавоноиды, кумарины, пирокатехины и другие. Ареал распространения растения в России ограничен. Учитывая это, его заготовка приводит к истощению природных популяций, поэтому актуальным становится разработка протоколов микрклонального размножения. Для асептического введения в культуру *in vitro* использовали семена Шлемника байкальского, которые проращивали на питательной среде Мурасиге – Скуга с добавлением НУК 6 мг/л, кинетина 2 мг/л, тиамина 1 мг/л. Проращивание проводили в темноте при температуре +25°C и относительной влажности воздуха 60-70%. Ёмкости с проростками размещали на стеллажах световой установки при температуре +25°C, фотопериоде день/ночь – 16/8 ч, освещенности 3000 лк. В качестве стерилизующего агента для исходного материала выбран 3,5% р-р белизны (гипохлорит натрия) с временем экспозиции 10 минут. При таком способе стерилизации выживаемость проростков составляла 89%, уровень контаминации не превышал 5%. Полученные асептические проростки пересаживали на среду МС с добавлением тиамина 1 мг/л, глицина 2 мг/л, пиридоксина 0,5 мг/л. На 60 день культивирования наблюдалось активное побегообразование. Затем проводили черенкование полученных побегов. Черенки помещали на питательную среду, содержащую 1/2 МС с добавлением в качестве укоренителей ИМК 1 мг/л, тиамин 1 мг/л, кинетин 1 мг/л. В данном варианте не наблюдалось корнеобразование, а происходил процесс каллусогенеза с последующим морфогенезом.

Анализ воздействия высоких уровней NaCl на рост и транспортные процессы в клетках корня *Arabidopsis thaliana* L.

Бурачкова А.В., Гриусевич П.В., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchyk@bsu.by

Засоление является одним из важнейших стрессоров, поражающих около трети орошаемых земель и снижающих продуктивность высших растений. Воздействие засоления приводит к нарушению ионного баланса в клетке, водного обмена, фотосинтеза, дыхания и др.. Средства борьбы с засолением ограничены ввиду отсутствия понимания механизмов негативного влияния Na⁺ и Cl⁻ на организм растения на клеточном и молекулярном уровне. Первичной мишенью засоления у растений является плазматическая мембрана. В этой связи, исследование ответов ее функциональных компонентов, таких как белки ионного транспорта, важно для раскрытия механизмов влияния засоления и разработки научно-обоснованных

подходов повышения солеустойчивости. Целью работы являлось установление особенностей влияния NaCl на рост и транспортные процессы в клетках корня *Arabidopsis thaliana* L. С использованием ростовых тестов было показано, что линия арабидопсиса *gork1-1* (нокаут по K⁺-каналу GORK), характеризовалась большей устойчивостью к воздействию 40 и 100 мМ NaCl по сравнению с растениями дикого типа. Электрофизиологический анализ показал, что при воздействии 50 и 100 мМ NaCl наблюдается активация наружу-направленных K⁺-токов через плазматическую мембрану клеток корня арабидопсиса. Данный эффект не был зарегистрирован у линии арабидопсиса, нокаутной по гену *Gork 1-1*. Полученные данные свидетельствуют о том, что растения, лишённые канала GORK, характеризуются большей устойчивостью к засолению по сравнению с растениями дикого типа вследствие меньшей потери калия. Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект Б19М-108).

Сохранение в культуре *in vitro* и микроклональное размножение *Gentiana cruciata* L.

Вайновская И.Ф.*, Чижик О.В., Седун Е.А., Спиридович Е.В.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: ilonavain@mail.ru

Использование методов культуры *in vitro* является оптимальным решением задачи сохранения уникального генофонда редких видов. Цель работы – разработка методов культивирования *in vitro* и микроклонального размножения редкого охраняемого вида *Gentiana cruciata* L. (горечавки крестовидной), которому присвоена III категория национального природоохранного статуса (VU), Красная книга Беларуси (1981, 1993). Вид внесен в состав коллекции *in vitro* редких и исчезающих видов отдела биохимии и биотехнологии растений ЦБС НАН Беларуси. Введение в культуру *in vitro* проводили, используя семена, собранные в природной популяции (Мядельский р-н). Для прорастания использовали питательную среду по Murashige, Skoog (MS и 1/2 MS) без регуляторов роста, содержащую: мезоинозит – 100 мг/л, тиамин-HCl, никотиновую кислоту, пиридоксин-HCl, сахарозу – 2%, агара – 0,8%; pH среды 5,8. Во втором пассаже использовали модифицированные питательные среды MS, дополненные регуляторами роста (6-БАП, кинетин), pH среды 5,8. Культивирование осуществлялось при температуре 22-24 °С, длине светового дня – 16 часов, освещенности – 4000 люкс (лампы Flora). Скорость роста относительно низкая. Черенкование каждые 40 дней. Второй этап – собственно микроклональное размножение, увеличение количества пазушных побегов, интенсивность которого зависит от концентрации и соотношения гормональных веществ в среде культивирования. Использовались среды Murashige, Skoog (MS) с добавлением 6-БАП, кинетина, ИУК. Для определения оптимальной концентрации 6-БАП на стадии микроразмножения применялись питательные среды с добавлением различных концентраций (мг/л): 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2. Оптимальные значения находятся в пределах 0,5-1 мг/л. Внесение в среду кинетина в концентрации 0,1-0,3 мг/л также вызывало адвентивное побегообразование, развивались новые пазушные розетки второго и третьего порядков. Процент черенков, образующих микроклоны, 80%. Количество образующихся адвентивных побегов на одном материнском растении составило в среднем 2,4. Такая скорость микроразмножения сохраняется в течение нескольких первых пассажей, затем наблюдается уменьшение способности растений активировать пазушные меристемы. Образующиеся побеги имели нормальную морфологию, хорошо укоренялись на среде с ауксином и переносили пересадку из стерильных условий в грунт. С целью стимуляции ризогенеза в среду культивирования добавляли ауксины: ИУК и ИМК, хотя корни образовывались и на среде без этих гормонов. Наилучшие результаты получены на среде с добавлением 0,5 мг/л ИУК. Процент укорененных растений составил 86,6. Таким образом, оптимальная среда для

микрклонального размножения *Gentiana cruciata* L. – среда MS с добавлением 6-БАП (1 мг/л), кинетина (0,2 мг/л). Микрклональное размножение редких и исчезающих видов растений в культуре *in vitro* – это возможность их последующей реинтродукции в места естественного произрастания.

Воздействие обеспеченности бором на утечку электролитов из клеток корня *Pisum sativum* L. при алюминиевом стрессе

Вайтулевич А.В., Гриусевич П.В., Русакович А.А., Соколик А.И., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Алюминий подавляет рост и развитие корневой системы высших растений на кислых почвах (при pH<4,5). В основе токсического влияния алюминия на растительную клетку лежит его способность блокировать работу Ca²⁺-проницаемых ионных каналов плазматических мембран, а также «вытеснение» Ca²⁺ из сайтов его связывания в клеточной стенке, белках и других биополимерах, что нарушает Ca²⁺-зависимые метаболические и сигнальные процессы растительной клетки. Известно, что нормальная обеспеченность микроэлементом бором (В) снижает токсические эффекты Al³⁺ на клетки растений. В то же время, клеточные и молекулярные механизмы протекторного влияния В при Al³⁺-стрессе пока не ясны. В настоящей работе на примере растений гороха (*Pisum sativum* L.) проанализировано влияние В на стрессовую реакцию растений на избыток Al³⁺ – отток электролитов из клеток корня. В условиях выращивания проростков гороха на среде без В Al³⁺ индуцировал массивный выходящий поток электролитов из клеток корня. В то же время растения гороха, выращенные на бор-содержащей среде, демонстрировали значительное снижение выходящего потока K⁺ при воздействии 0,2 и 0,6 мМ Al³⁺ (pH 4,5) по сравнению с растениями, выращенными в условиях дефицита бора. Таким образом, выращивание растений в условиях нормальной обеспеченности бором повышало устойчивость к алюминиевому стрессу. Дополнительно было показано, что введение в среду блокаторов катионных каналов Gd³⁺ и ТЭА⁺ приводило к понижению наружу-направленного потока K⁺ из клеток корня *Pisum sativum* L., что свидетельствует о вовлечении калиевых и неселективных катионных каналов в утечку электролитов при алюминиевом стрессе.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект Б19КИТГ-006).

Реакция побегов карельской березы на действие ионов кадмия *in vitro*

Ветчинникова Л.В.^{А*}, Титов А.Ф.^Б

^АИнститут леса – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

^БИнститут биологии – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

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

Изучена реакция генетически однородного материала карельской березы, полученного из верхушечной меристемы вегетативных почек, на действие ионов кадмия (10⁻⁶–10⁻³ М) в условиях *in vitro*, когда у побегов отсутствует корневая система, а единственным источником поступления металла служит питательная среда. Также как в случае с интактными растениями выявлено небольшое стимулирующее влияние металла на геммогенез в низких концентрациях (10⁻⁶–10⁻⁵ М). Одновременно с этим показаны определенные нарушения в работе фотосинтетического аппарата, которые нашли отражение в снижении скорости ассимиляции CO₂ и уменьшении содержания фотосинтетических пигментов. В частности, при использовании концентрации кадмия

10^{-6} М скорость ассимиляции CO_2 снизилась почти на 20%, а при применении концентрации 10^{-5} М – на 50%. Внесение кадмия в питательную среду в низких концентрациях не сказывалось на активности ω_6 (ODR) и ω_3 (LDR) ацил-липидных десатураз, которые обеспечивают обогащение липидов тилакоидной мембраны хлоропластов, представленных в основном ненасыщенными жирными кислотами. Однако в варианте с концентрацией кадмия 10^{-4} М отмечены существенные изменения в гликолипидах, где значения индекса ODR снизились вдвое, а доля линоленовой кислоты уменьшилась в 8 раз. В целом принципиальное сходство в реакции на действие ионов кадмия интактных растений и культуры тканей и органов *in vitro* свидетельствует о возможности ее более широкого использования при решении ряда вопросов, касающихся металлоустойчивости древесных растений.

Изучение содержания никеля в трансгенных растениях *Nicotiana tabacum*, выращенных в условиях абиотического стресса

Гордейко В.В.^Б, Варфоломеева Т.Е.^Б, Русак Н.Ю.^Б, Азарко И.И.^А, Храмова Е.А.^{Б*}

^АБелорусский государственный университет, НИЛ ФТП, Минск, Беларусь

^ББелорусский государственный университет, кафедра генетики, Минск, Беларусь

*E-mail: khramtsova@bsu.by

Тяжелые металлы являются одним из сильнейших абиотических стрессовых факторов, приводящих к угнетению роста и развития растений. При абиотическом стрессе образуется избыточное количество этилена, что приводит к быстрому старению растений. Трансгенные растения, экспрессирующие бактериальную АЦК-дезаминазу, снижающую уровень этилена в растении, обладают повышенной устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессам. Проростки трансгенных растений *N. tabacum* трех линий, несущие АЦК-дезаминазу, выращивали на среде Мурашиге-Скуга с добавлением хлорида никеля в концентрации 10^{-3} М, $5 \cdot 10^{-4}$ М и 10^{-4} М. Изучение содержания никеля в проростках проводили методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В спектрах ЭПР как контрольных образцов, так и опытных наблюдается сложная система сигналов, состоящая из широкой линии с величиной $g = 2,019$, со сверхтонкой структурой пять триплетов с $g=1,987$, а также синглетные линии с $g = 2,145$ и $g = 2,0027$. Присутствие никеля в образцах, выращенных с различным содержанием никеля приводит к снижению интенсивности сверхширокого ЭПР сигнала и линейному уменьшению в полулогарифмическом масштабе соотношения величин интенсивностей сверх широкого сигнала к интенсивности сигналов с $g_{эф} = 1,987$ и $g = 2,145$.

Осмометрическая квалиметрия клеточного материала

Градов О.В.*

Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,

Отдел динамики химических и биологических процессов, Москва, Россия

*E-mail: gradov@chph.ras.ru; gradov@center.chph.ras.ru; gradov.chph.ras@gmail.com

Предлагается новый подход к анализу качества клеточного биоматериала после биофизической обработки (протопласты), предназначенный для выбора наиболее оптимальных форм по нескольким физиологическим признакам, сводимым к различным проявлениям осмоса и проницаемости клеточных мембран, реактивно изменяющихся под действием различных физических и химических воздействий. Новый подход базируется на следующих известных фактах: 1. Осмотическая резистентность определяет устойчивость формы клетки, что позволяет прогнозировать морфогенетическую стабильность таких клеток и соответствующих растений, а также биомеханику. 2. Осмохимия, по определению, лежит в основе хемиосмотической теории Митчелла и мембранной биоэнергетики. 3. Апоптоз и автолиз клеток

сопровождается ухудшением тургесцентных и осмотических свойств, что является релевантным критерием клеточной патологии, требующей элиминации носителей соответствующих клеток из выборки. 4. Способность к восстановлению формы после плазмолиза (обратимость плазмолиза), определяемая по плазмометрическим и осмометрическим критериям, является одним из индикаторов солеустойчивости клеток и тканей растений, а тургесцентность клеток – индикатором засухоустойчивости. 5. Способность к аккумуляции солей металлов и усвоению удобрений контролируется осмометрическими методами и хорошо коррелирует со спектроскопией импеданса, определяющей ионную проницаемость клеточных мембран и стенок. 6. Транспирационный коэффициент растений, выращиваемых в гидропонике (или аэропонике), хорошо коррелирует с дескрипторами аномального осмоса, например, при диффузии воды через клеточные мембраны. 7. Пренебрежение транспортом высокомолекулярных веществ в элементарных осмотических моделях растительных клеток повлекло ряд несходимостей экспериментальных и теоретических данных. 8. Изменение биомеханических свойств мембран под химическими и физическими воздействиями влечёт за собой сдвиг в кинетике и эффективности индуцированного цитолиза, в связи с чем, для оценки эффекта (особо по критерию механической резистентности мембран) необходимо использование техники осмотической ультразвуковой цитолозиметрии, или эктацитометрии. Дополнительная информация о состоянии клеток может быть получена многофакторным морфометрическим анализом (включая индексы, определяемые как отношения параметров разной размерности), что делает более объективным применение в лабораторных условиях микроскопических пфферовских методов определения осмотической активности клеток, реализовывавшихся в прошлом качественно визуально или только с использованием счетных камер и окуляр-микрометров.

Протекторный эффект производных оксадиазолония на рост и маркеры температурного стресса у растений *Triticum aestivum* L. и *Zea mays* L.

Гурьянова А.С.^А, Лукаткин А.С.^{А*}, Галкина А.А.^А, Калганова Н.В.^Б, Черепанов И.А.^Б, Моисеев С.К.^Б

^АНациональный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра общей биологии и экологии, Саранск, Россия

^БИнститут элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

*E-mail: aslukatkin@yandex.ru

Глобальные изменения климата усиливают проблемы возделыванием сельскохозяйственных культур. Неблагоприятные температуры являются основным стрессором, вызывающим нарушения физиологических процессов в растениях и лимитирующим их продуктивность. Для снижения действия стрессовых температур используют обработку регуляторами роста (РР). В Институте элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН разработаны новые синтетические сиднониминные препараты (производные оксадиазолония), являющиеся экзогенными донорами оксида азота и генераторами супероксидного анион-радикала, и обладающие рост-регулирующей активностью. Цель исследования – определение эффективности применения сиднониминных РР для снижения температурного стресса на растения озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 39 и кукурузы (*Zea mays* L.) гибрида Воронежский 158 СВ. На первом этапе проводили скрининг 9 производных сиднонимина на рост-регулирующую активность посредством проращивания семян пшеницы и кукурузы (концентрации от 10^{-6} до 10^{-9} М/л) в течение 7 суток. На втором этапе анализировали влияние прайминга семян препаратами, максимально стимулирующими рост, на молодые растения при действии температурного стресса

(пшеница 2 °С и 38 °С, 18 ч; кукуруза 3 °С или 43 °С, 24 ч). Показано, что обработка семян сиднониминовыми препаратами SI-20-08, SI-20-09, SI-20-11 и SI-19-05 способствовала усилению роста растений пшеницы и кукурузы, снижению повреждающего действия повышенной и пониженной температур, оцениваемого по выходу электролитов, параметрам флуоресценции хлорофилла, активности компонентов антиоксидантной системы растений, а также снижению маркеров окислительного стресса.

Стимуляция биосинтеза фенолпропаноидов суспензионной культурой *Echinacea pallida* (nutt.) Nutt под действием метилжасмоната и салициловой кислоты

Дитченко Т.И.^{А*}, Жамалова Д.Н.^В, Бокий К.Ю.^А

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

^ВИнститут ботаники Академии наук Республики Узбекистан

*E-mail:ditchenko@bsu.by

Применение элиситоров является одной из наиболее эффективных стратегий в биотехнологии лекарственных растений для увеличения продукции экономически важных вторичных метаболитов. Метилжасмонат (МеЖ) и салициловая кислота (СК) широко используются в работах с культурами клеток и тканей, генетически трансформированных корней, являющихся продуцентами БАВ. Целью работы явилось исследование особенностей однокомпонентного и сочетанного воздействия МеЖ и СК на уровне накопления гидроксикоричных кислот (ГКК) и активность L-фенилаланинаммоний-лиазы (ФАЛ) в клетках суспензионной культуры *Echinacea pallida* (nutt.) Nutt. Установлено, что в диапазоне концентраций 10^{-5} – 10^{-4} моль/л МеЖ в равной степени оказывал стимулирующее воздействие на работу ФАЛ, индуцируя практически 3-х кратное ее возрастание. Величина стимулирующего эффекта СК в аналогичных концентрациях не превышала 1,6 раза. Для повышения уровней накопления ГКК в клетках суспензионной культуры *Echinacea pallida* (nutt.) Nutt. наиболее эффективным является использование 10^{-4} моль/л МеЖ. Применение СК в качестве элиситора для повышения продукции ГКК целесообразно в более низких концентрациях – 10^{-6} и 10^{-5} моль/л. Эффективность 10^{-5} и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л СК в качестве элиситора для индукции биосинтеза ГКК повышалась в условиях сочетанного воздействия с эквимолярными концентрациями МеЖ. В свою очередь, добавление СК на фоне МеЖ не приводило к дополнительной стимуляции биосинтетического потенциала исследуемой суспензионной культуры в отношении фенолпропаноидов. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологии двухстадийного культивирования суспензионной культуры клеток *Echinacea pallida* (nutt.) Nutt. в качестве продуцента вторичных метаболитов фенольной природы.

Влияние регуляторов роста на содержание биологически активных веществ при культивировании высших растений *in vitro*

Клокова Т.М.*, Тайрова М.Р.*, Мокшин Е.В., Денисова В.В.

Национальный исследовательский Мордовский Государственный Университет

Н.П. Огарёва, Факультет биотехнологии и биологии, Саранск, Россия

*E-mail: toshka-25@mail.ru , marina_rt@mail.ru

Для успешного размножения растениям требуется сложный баланс минеральных питательных веществ. Поскольку доступность многих из них в почве нарушается различными факторами, то культурные растения напрямую зависят от питательных веществ, вносимых в качестве удобрений и фитогормонов для достижения высоких урожаев. Нами были исследованы морфометрические показатели (длина растения, количество листьев, длина стебля) растения *Gynura Procumbens* при добавлении

регуляторов роста. Были исследованы четыре регулятора роста различных концентраций: индолил-3-уксусная кислота, Фитозонт, Эпин - экстра, Рибав-Экстра. При выращивании растений на среде с Эпином - Экстра в концентрации 0,3 мл/л морфометрические показатели были самыми высокими. При выращивании на средах с Фитозонтом в концентрации 0,05 мл/л, наблюдалось наибольшее увеличение количества листьев по сравнению с другими регуляторами роста. В растении обнаружены полифенолы, флавоноиды, витамины и эфирные масла. Вероятно именно этими веществами обуславливаются лечебные свойства *Gynura Procumbens*. Использование фитогормонов в настоящее время набирает интерес у многих учёных разных стран мира. Фитогормоны оказывают положительное действие растение в целом, стимулируя его рост и синтез биологически активных веществ.

Влияние условий культивирования *Cladophora* на продуктивность и содержание биологически активных веществ

Косинская Д.М.*, Тайрова М.Р.*

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, факультет биотехнологии и биологии, кафедра биоинженерии, Саранск, Республика Мордовия, Россия

*E-mail: marina_rt@mail.ru, kosinskayadar@yandex.ru

Состав водорослей рода *Cladophora* представлен широким спектром биологически активных веществ. Данные соединения представляют научный интерес с точки зрения их использования в различных отраслях промышленности. В работе рассмотрены влияние температуры и различной концентрации солей на биомассу и количественное содержание хлорофиллов а и b, каротиноидов в *Cladophora aegagropila* (*Aegagropila linnaei*). Водоросль выращивалась в среде Чу-10 в течение месяца при 15 и 23 °С. Изменение биомассы и концентрации пигментов отмечалось через каждые 10 дней. При температуре 23 °С показатели биомассы были выше, чем при 15 °С на каждом этапе исследования на 18,2% в среднем. Наибольший показатель биомассы наблюдался после 30 дней культивирования при 23 °С с концентрацией 0,3 мл маточного раствора на 100 мл дистиллированной воды – 0,0197 г/л. Наибольшее содержание пигментов (С, мг/г) отмечалось через 30 дней инкубации с концентрацией маточного раствора 0,05 мл на 100 мл дистиллированной воды при 15 °С: хлорофилл а – 7,97375, хлорофилл b – 5,42813, каротиноиды – 6,44235 по сравнению с показателями при 23 °С: хлорофилл а – 5,400026, хлорофилл b – 4,07454, каротиноиды – 4,51762.

Синтетические пептиды, регулирующие ростовую реакцию асептических проростков *A. thaliana* на солевой стресс

Крюков Е.А., Богук Е.В., Крытынская Е.Н.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: krylena@bsu.by

В настоящее время известно несколько групп экзогенных пептидных элиситоров, таких как МAMPs и НАМРs, которые воспринимаются растительной клеткой и служат триггером для запуска целого ряда неспецифических защитных реакций, приводящих к формированию устойчивости растений к действию стрессоров. Обнаружение новых, как и исследование уже идентифицированных элиситоров, изучение всего разнообразия механизмов их действия, запуска иммунитета приобретает важное практическое значение. Среди элиситоров наименее изученными остаются пептидные элиситоры, среди которых фрагмент Рер-13, идентифицированный в составе гликопротеинового элиситора *P.sojae* (GP42), фрагмент белка холодового шока *M.lysodeikticus* -Csp15, а также AtРер, выделенный из экстрактов листьев *A. thaliana*. Отдельные синтетические

пептиды способны индуцировать устойчивость к засолению, это демонстрируют работы К. Nakaminami и А. Wang. Мы решили исследовать действие трех синтетических элиситоров (AtPep1, Pep 13, Csp 15) на динамику роста асептических проростках *A. thaliana* Heynh экотипа WS-0 (L.), и в частности, корневой системы. Для чего семена *A. thaliana*, в соответствии с методикой Yue Liu, замачивали в растворах пептидов в течение 6 ч с последующим их высевом. Семена высевали вручную (использовали зубочистку) на питательную MS-среду. Изолированные чашки Петри располагали вертикально в камерах роста при 24°C с циклом 14-часовой день: 10-часовая ночь. И на протяжении 8 суток анализировали динамику роста асептических проростков. Согласно результатам исследований, в нормальных условиях (100% MS-среда) асептические проростки *A. thaliana* к 8 суткам имели развитую корневую систему, длина первичных корней превысила 35 мм. В условиях острого солевого стресса (150 ммоль/л) прорастания семян не отмечали. Обработка хлоридом натрия в концентрации 90 ммоль/л подавляла рост первичных корней асептической культуры и к 8-экспериментальным суткам степень подавления составляла 84%, что связано с изменениями в поглощении воды и специфической ионной токсичностью. Соль в отмеченной концентрации оказывала негативное влияние на рост розеток. Применение пептидных элиситоров, напротив, способствовало толерантности 1-8-суточных асептических проростков *A. thaliana* к действию 90 ммоль/л NaCl. Pep-зависимые ростовые ответы, в соответствии с работой L. Poncini, регистрировали начиная с концентрации 1 мкмоль/л. Обработка семян *A. thaliana* двумя пептидами, такими как Pep 13 и Csp 15, стимулировала рост и развитие подвергнутых солевому стрессу проростков: длина первичных корней возросла в 4 и 3 раза, розетка листьев в основании была сформирована. В то же время присутствие AtPep не оказало воспроизводимого влияния на длину первичного корня при отмеченной концентрации, тогда как повышение концентрации пептида в среде до 10 мкмоль вызывало слабую стимуляцию, длина корней увеличилась в 1,5 раза. Таким образом, наше исследование демонстрирует, что существует взаимосвязь между передачей сигналов трех пептидов и обработка семян *A. thaliana* данными пептидами может приводить к запуску защитных систем и повышению устойчивости асептических проростков к солевому стрессу.

Жизнеспособность клеток эпидермальной ткани *Allium cepa* при действии тяжелых металлов и регуляторов роста

Кундев В.С.*, Башмаков Д.И.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, кафедра общей биологии и экологии, Саранск, Россия

*E-mail: examplen26@gmail.com

Исследовали жизнеспособность клеток изолированной эпидермальной ткани лука при совместном действии синтетических регуляторов роста (РР) различного типа действия (ДРОПП, Цитодеф, Эпин-Экстра, Новосил, 6-БАП) и тяжелых металлов (ТМ): Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{+} в концентрациях 10 мкМ и 1мМ. Показано, что в течение 2 ч. экспозиции ионы ТМ приводили к дозозависимой гибели значительного количества от 10 до 30% эпидермальных клеток, вероятно, вследствие индуцированного ТМ окислительного стресса с последующим летальным повреждением клеточных мембран. Токсическое действие ТМ возрастало в ряду: $Pb^{2+} < Zn^{2+} < Cu^{2+}$. Предварительное добавление в экспозиционную среду РР приводило к неоднозначным эффектам. Так, цитодеф мог оказывать как синергическое на фоне 10мкМ Zn^{2+} , так и антагонистическое в присутствии 1мМ Cu^{+} действие с ионами ТМ, тогда как Эпин-Экстра всегда оказывал антагонистическое действие, повышая жизнеспособность клеток на 5-10% относительно необработанного контроля. Наилучшие протекторные эффекты выявлены

при использовании препаратов с цитокининовым типом активности: 10 нМ ДРОПП на фоне 1мМ Cu^+ , 10 мкг/л 6-БАП при действии 10 мкМ Pb^{2+} и 1 мкг/л 6-БАП в присутствии 1мМ Pb^{2+} .

Поиск молекулярных маркеров, сопряженных с высокой частотой инициации эмбрионных клеточных линий хвойных

Кусенкова М.П.*, Кулагин Д.В., Кирьянов П.С.

АИнтститут леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: marinaggu@mail.ru

Массовое размножение хозяйственно-ценных клонов хвойных пород возможно лишь с использованием методов культуры тканей, в частности – соматического эмбриогенеза. Вместе с тем ткани отдельных деревьев существенно различаются по морфогенному потенциалу *in vitro*, а методики его эффективной ранней диагностики в настоящее время отсутствуют. Поиск молекулярных маркеров, сопряженных с высокой частотой инициации эмбрионных клеточных линий ели европейской и лиственницы сибирской осуществлялся с использованием такого подхода как AFLP. В исследовании проводилось сравнение материала, полученного от материнских деревьев, имеющих значительные отличия по изучаемому признаку в семенном потомстве. Выполненный анализ позволил обнаружить 49 локусов с относительно высоким прогностическим потенциалом (до 100% при анализе семейственных структур).

Влияние деструкции тубулинового цитоскелета на пигментный аппарат растений *Solanum tuberosum*

Макеева И.Ю.*, Сапрыкина Е.С.

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, кафедра ботаники, физиологии и биохимии растений, Орёл, Россия

*E-mail: makeevainna@inbox.ru

В настоящее время цитоскелет рассматривается как высокодинамичная полифункциональная структура, при этом информация о зависимости фотосинтетической деятельности, в том числе, состоянии пигментного аппарата, от целостности цитоскелета крайне ограничена. Исследовали содержание и качественный состав фонда фотосинтетических пигментов картофеля в условиях фармакологического разрушения микротрубочек оризалином. Объектом являлись растения картофеля Жуковский ранний, выращенные в почвенной культуре. Структурное состояние микротрубочек модифицировали с помощью ингибитора полимеризации тубулиновых белков – 15 мкМ раствора оризалина. Обработку проводили путём двукратного опрыскивания через 15 суток после появления всходов. Содержание пигментов определяли в 80% ацетоне через неделю после обработки. Нарушение структуры микротрубочек оризалином негативно сказалось на содержании хлорофиллов ($a+b$), снижение составило более 15%. Определение содержания каротиноидов, играющих важную роль в защите фотосистемы, показало возрастание их более чем на 20% в ответ на деструкцию микротрубочек, что может быть связано с их антиоксидантной функцией на действие фармакологического стресса, вызванного оризалином. Как следствие, в данном варианте наблюдалось снижение величины соотношения Хл/Кар. Кроме общего снижения хлорофиллов под влиянием оризалина выявлено также снижение соотношения $\text{Chl } a/\text{Chl } b$ более чем в 1,4 раза. Специфики в относительном содержании каротина и ксантофиллов у растений с деструктурированным тубулиновым цитоскелетом не выявлено. Таким образом, нарушение структуры микротрубочек вызывало снижение общего содержания хлорофиллов, уменьшение соотношения $\text{Chl } a/\text{Chl } b$ и повышенное относительное содержание каротиноидов.

Оценка биометрических показателей *Cucumis sativus* L. при индукции прорастания семян биоэлиситорами

Маллеева Э.Р., Лагодич О.В.*

Белорусский государственный университет, кафедра генетики, Минск, Беларусь

*E-mail: lagodichov@bsu.by

В мире производится свыше 80 млн. тонн огурцов в год. Крупнейшим производителем в мире является Китай с объемом производства свыше 60 млн тонн в год. Беларуси производится 248 690 тонн огурцов с посадочной площадью в 6 тысяч га. Однако довольно большая часть этой продукции будет утеряна, что может быть связано с условиями транспортировки или хранения. Однако наиболее масштабные потери связаны с влиянием болезней и вредителей. В настоящее время борьба с вредителями складывается в основном из агротехнических, биологических и химических приемов. Однако агротехническими приемами часто не удается подавить массового размножения вредителей или вспышек болезней. Поэтому особый интерес вызывает использование биоэлиситоров, в качестве которых могут выступать метаболиты ризосферных бактерий, а также регуляторы роста такие как янтарная кислота, эпин и другие. Проведен сравнительный анализ влияния внеклеточных метаболитов ризобактерий *Pseudomonas aurantiaca* В-162 *Pseudomonas putida* КМБУ 4308 и регуляторов роста (Эпин, Янтарин) на всхожесть семян, морфометрические показатели и на устойчивость к патогену *Botrytis cinerea* Pars. Было показано, что обработка семян огурца элиситорами ризобактерий улучшает всхожесть семян, а также оказывает ростостимулирующий эффект и защищает растения от фитопатогена лучше, чем регуляторы роста. У растений, обработанных Янтаринем и Эпином показатели прибавки длины стебля и корня и веса были меньше, чем у ризобактерий, но больше, чем у контрольной группы.

Улучшение посевных качеств семян и роста растений *Ocimum basilicum* обработкой плазмой барьерного разряда в среде воздуха и аргона

Минич А.С.^{А*}, Минич И.Б.^А, Чурсина Н.Л.^А, Васильев С.Е.^А, Финичёва А.А.^А, Кудряшов С.В.^Б, Очередыко А.Н.^Б, Рябов А.Ю.^Б

^АТомский государственный педагогический университет, кафедра биологии, Томск, Россия

^БИнститут химии нефти СО РАН, лаборатория физико-химических методов исследования, Томск, Россия

*E-mail: minich@tspu.edu.ru

В настоящее время развивается технология предпосевной обработки семян растений плазмой барьерного разряда для стимулирования их роста. Обработка семян плазмой повышает водопоглощение, активизирует использование запасов семени, изменяя ферментативную и гормональную активность. Это приводит к повышению всхожести семян, интенсификации ростовых процессов и повышению продуктивности растений. Цель: изучение влияния обработки семян *Ocimum basilicum* L. 'Гвоздичный' плазмой барьерного разряда в аргоне и воздухе на изменение их предпосевных качеств и рост растений. Семена обрабатывались плазмой от 5 до 20 с, контроль – необработанные семена. Семена проращивались и растения выращивались под лампами ДНАЗ-150 (ООО «Рефлакс», Россия) с интенсивностью светового потока 120 Вт/м² и фотопериодом 16 ч – свет, 8 ч – темнота, при температуре воздуха 24±2°С. Оценка посевных качеств семян проводилась по стандарту 12038-84. Изменения посевных качеств семян базилика определялись временем их обработки и средой. Обработка семян плазмой в аргоне в течение 5 и 20 с повышает всхожесть и энергию прорастания на 32 %, в течение 10 и 15 с – на 97 %, а при обработке в воздушной среде в течение 5 и 15 с – на 32%. На конец вегетации у растений, выращенных из семян, обработанных в

аргоне и воздухе, соответственно увеличивается на 28% и 9% площадь поверхности листьев, на 22 % и 14% – сырая биомасса надземной части.

Продуктивность семян и особенности накопления жирных и эфирных масел генотипов *Nigella L.* европейско-азиатского происхождения

Немтинов В.И., Костанчук Ю.Н.*, Пехова О.А., Тимашева Л.А., Паштецкий В.С.
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (ФГБУН «НИИСХ Крыма»), Симферополь, Крым, Россия
*E-mail: kostanchuk_yu@niishk.ru

Исследование проводилось с целью оценки продуктивности растений нигеллы, качества жирных и эфирных масел 8 генотипов нигеллы, 2 из которых происхождением из Крыма. Увеличение боковых побегов в пользу Крымских сортов отмечено на обоих видах нигеллы по сравнению с образцами из европейско-азиатских стран. У восьми образцов сформировалось наибольшее количество побегов второго порядка, больше по отношению к побегам 1-го порядка: по нигелле посевной в 2,5 раза; индийской в 2,8 и дамасской в 2,4 раза при превышении средних значений $\bar{X} \pm S\bar{x}$ 18,7±1,0; 15,5±0,9 и 9,3±0,3 генотипов разных ботанических видов. Основная нагрузка плодов на растениях приходилась на побеги второго порядка. Генотипы из трёх европейско-азиатских стран – Дагестана, Пакистана и Швеции отличались наибольшей продуктивностью семян – 1,6–1,0 г/растения, что в 2,7–1,7 раза больше контрольного сорта Крымчанка. Продуктивность семян генотипа *Nigella damascena* контрольного сорта Ялита была в 1,5 раза больше образца из Бельгии. Образец из Дагестана по жирному маслу семян на 17,3% превышал контроль. Наибольшее содержание жирного масла отмечено у *Nigella indica* 29,9%, что превышало другие виды – *N. sativa* и *N. damascena* (сорт Ялита) на 16–22%. В жирных маслах нигеллы содержались и эфирные масла – 0,5 % (*N. sativa*) и 1,2 % (*N. damascena*). В эфирном масле *N. sativa* доминирующими компонентами являлись р-цимен – 53,5 % и тимохинон – 19,2 %, а в эфирном масле *N. damascena* отмечен р-цимол – 82,2 % при преимуществе других компонентов. Выявленные образцы с максимальным накоплением жирных и эфирных масел, могут быть использованы для в качестве биологических добавок для оздоровления человека.

Перспективы введения левзеи сафлоровидной - *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Пjin в культуру *in vitro*

Новик А.Д.*, Пovyдыш М.Н.

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, кафедра биохимии, Санкт-Петербург, Россия
*E-mail: alena.yushina@pharminnotech.com

Одним из путей решения проблем сохранения растительных ресурсов, в особенности редких и исчезающих видов является биотехнологический способ воспроизводства растений – культуры растительных клеток, содержащей целевые биологически-активные вещества. Левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Пjin) - многолетнее травянистое растение из семейства Asteraceae, является эндемиком Южной Сибири. В качестве лекарственного сырья традиционно используют корневища с корнями. Левзея сафлоровидная является ценным лекарственным растением, ресурсы которого в природе ограничены, а спрос на лекарственное растительное сырье велик благодаря востребованным в настоящее время фармакологическим свойствам – стимулирующим, адаптогенным, иммуномодулирующим. В связи с тем, что заросли этого растения восстанавливаются крайне медленно, целесообразно введение растения в культуру, а также изучение возможности применения надземной части растения наряду с подземной. Получение культур клеток *Rhaponticum carthamoides* вместо

ценного интактного растения – эндемика позволит радикально решить проблему дефицита растительного сырья и биологически активных веществ в России. Растения левзеи сафлоровидной были собраны на территории питомника лекарственных растений СПХФУ (пос. Лемболово) и введены в культуру *in vitro*. Подобраны оптимальные условия культивирования. В настоящее время ведутся работы по определению качественного состава экстрактов биологически активных веществ каллусной культуры, а также фитохимический скрининг, направленный на оценку не только известных, но и ранее не изученных компонентов.

Влияние фитогормонов на рост колоний и степень споруляции различных по вирулентности изолятов патогенного гриба *Stagonospora nodorum*

Нужная Т.В.^{А*}, Веселова С.В.^Б, Сорокань А.В.^Б, Миннигалиева А.Ф.^А, Максимов И.В.^Б

^АУфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского ФИЦ РАН, лаборатория физиологии растений, Уфа, Россия

^БИнститут биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского ФИЦ РАН, лаборатория биохимии иммунитета растений, Уфа, Россия

*E-mail: tanyawww89@mail.ru

Патогенный гриб *Stagonospora nodorum* Berk. является возбудителем септориоза листьев и колоса пшеницы. Важную роль в регуляции защитного ответа пшеницы играют фитогормоны. Наши результаты показали, что инфицирование восприимчивого сорта Жница спорами *S. nodorum* приводило к накоплению абсцизовой кислоты (АБК) и индолилуксусной кислоты (ИУК) и отсутствию значительного повышения содержания цитокининов (ЦК) в растениях, что приводило к развитию обширных зон поражения. Гистохимический анализ распределения ЦК и АБК в инфицированных листьях восприимчивого сорта показал, что данные фитогормоны локализовались в основном в развивающихся грибных структурах, тогда как клетки самого растения были лишены этих фитогормонов, особенно ЦК. Одним из возможных объяснений аккумуляции АБК и ЦК в пределах локализации грибных структур может быть их активное поглощение грибом с участием переносчиков из апопласта растений. Так, нами было показано, что *S. nodorum in vitro* способен активно поглощать данные фитогормоны, накапливая их в своем мицелии, так как протонатор СССР (от carbonyl cyanide m-chlorophenylhydrazine) снижал это накопление. Кроме того, обнаружена способность *S. nodorum* синтезировать АБК и ИУК, но не ЦК. Также при росте *S. nodorum in vitro* на средах с добавлением АБК и ЦК наблюдали увеличение образования количества спор в два – четыре раза.

Работа поддержана грантом МК-2293.2022.1.4.

Исследование и оптимизация ростовых характеристик и H₂-генерирующей активности штаммов микроводорослей *Chlorellaceae* с использованием физиолого-биохимического анализа, цифрового фенотипирования и клеточной селекции

Мыслейко М.А.^А, Вечерек М.С.^А, Смолич И.И.^А, Ветошкин А.А.^А, Пшибытко Н.Л.^А, Муравицкая А.О.^А, Соколик А.И.^А, Бондаренко В.Ю.^А, Шашко А.Ю.^А, Габриелян Л.^Б, Демидчик В.В.^{А*}

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь.

^БЕреванский государственный университет, Кафедра биохимии, микробиологии и биотехнологии, Ереван, Армения

*E-mail: dzemidchik@bsu.by

Использование феномных подходов в селекции микроводорослей – новейшее биоинженерное научное направление, которое стартовало в последние 5-7 лет в

результате создания первых альгологических феномных платформ и рассматривающееся как одно из наиболее перспективных для селекции высокопродуктивных штаммов для производства биоводорода и биомассы (Clifford et al., 2017). Нами предложено провести механический отбор и дальнейшее размножение отдельных клеток микроводорослей в совокупности с высокопроизводительным фенотипированием на базе нейросети. В ходе проведенных опытов разработана блок-схема культивационной установки и запущена в эксплуатацию феномная система, обеспечивающая стандартизированные условия выращивания культур одноклеточных эукариотических водорослей. Феномная культивационная система для выращивания микроводорослей собрана на основе лабораторного инкубатора CLIMACELL 222 (3M, Чехия), который позволяет контролировать освещение, температуру и влажность. Освещение в инкубаторе осуществляется с помощью люминесцентных ламп OSRAM L 15W/840. Культивирование осуществляется в специальных плоскодонных сосудах увеличенного диаметра. Система позволяет производить предварительный анализ культур и измерение в них уровня биоводорода непосредственно в культивационных сосудах. Оптимизированы условия культивирования микроводорослей из белорусских и армянских коллекций, в частности, получены и верифицированы чистые культуры *Chlorella kessleri* IBCE C-3, *Chlorella vulgaris* IBCE C-19 и *Parachlorella kessleri* IBCE C-56. Данные культуры и системы их выращивания оптимизированы для измерения уровня биоводорода в среде. Максимальная скорость роста культур и выделение биоводорода обнаружено для следующих условий: 50% концентрации солей стандартного состава среды Тамия, световой поток: 250 мкмоль фотонов м⁻² с⁻¹, режим 16 ч свет / 8 темнота, температура 22 °С, барботирование воздушной смесью: 0,5 л/мин). Проведен детальный анализ скорости роста культур, отработаны методики мониторинга ростовых процессов при помощи подсчета клеток и с использованием сканирующего спектрофотометра. Протестирован уровень биоводорода в среде культивирования у трех использованных культур микроводорослей.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование и оптимизация ростовых характеристик и H₂-генерирующей активности белорусских и армянских штаммов микроводорослей Chlorellaceae с использованием физиолого-биохимического анализа, цифрового фенотипирования и клеточной селекции» Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Б21АРМ-018, № государственной регистрации 20213856.

Идентификация и выделение в чистую культуру бактерий, ассоциированных с культурами *in vitro* древесных растений

Осипенко Н.В.*, Константинов А.В., Пантелеев С.В., Острикова М.Я., Петров Г.В.
Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: nadja-osipenko@mail.ru

Оптимизация методик создания гнотобиотической среды для повышения эффективности микроклонального размножения лесных древесных растений возможна на основе определения видовой принадлежности контаминирующей микрофлоры и изучения её свойств. Объектами исследований являлись пролиферирующие культуры тканей с признаками бактериальной контаминации из коллекции *in vitro*. Отмечены некоторые культуральные особенности бактерий, так в культурах *in vitro* осины выявлены матово белые глянцевые и слизистые прозрачные колонии с ровными краями в обоих случаях. В основании микроклонов ясеня и липы отмечались следы радиально расходящихся в толще среды колоний эндофитных бактерий. Для молекулярно-генетической экспресс-диагностики бактерий проводили ПЦР с праймерами U1/U2 (16S рДНК) и секвенирование. Идентификация осуществляли в базе данных NCBI Genbank. Выявлена контаминация микрорастений ясеня пенсильванского и липы мелколистной бактериями *Paenibacillus* sp., культивируемых вместе с базальными

фрагментами на питательной среде WPM (30 г/л сахарозы), а в культурах тканей осины: *Lactobacillus* sp. и *Pseudomonas* sp., поддерживаемые в виде газона на сахарном МПА (1% глюкозы). Таким образом, определены бактерии, устойчиво сохраняющиеся в культивируемых образцах депонируемых клонов ясеня, липы и осины. Идентифицированные изоляты зарегистрированы в базе данных NCBI.

Скрининг антимикробных веществ для подавления контаминации в культуре тканей и органов растений

Осипенко Н.В.*, Кулагин Д.В.

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

*E-mail: Nadja-Osipenko@mail.ru

Успех микрклонального размножения определяется, в том числе, эффективностью мер по предупреждению контаминации асептических культур. Несмотря на соблюдение правил асептики микробное загрязнение остается одной из существенных проблем этой сферы. Возможным решением описанной проблемы может быть применение веществ с биоцидной активностью. Примерами подобного подхода может служить использование состава PPM (Plant Preservative Mixture). Однако названный препарат имеет высокую стоимость и практически недоступен на рынке Беларуси. По этой причине актуальным является проведение исследований по тестированию ряда антимикробных средств, применяемых в медицине и ветеринарии. В нашей работе мы использовали следующие вещества (концентрации в питательной среде): бензалкония хлорид (470 мг/л), миритин (0,75-2,25 мг/л), полигексаметиленбигуанида гидрохлорид (1,5-4,5 г/л), хлоргексидин (3,8-11,3 мкг/мл). В качестве тест-объектов были выбраны семена горчицы белой, рапса и редьки масличной, которые помещались в сосуды с агаризованной средой состава MS (содержание сахарозы – 30 г/л). Все манипуляции проводились без соблюдения асептики. Учет результатов – после 1,5 месяцев культивирования. Наибольшим антимикробным эффектом обладали бензалкония хлорид, миритин и хлоргексидин: наблюдались лишь отдельные колонии микроорганизмов. Наименьшей фитотоксичностью характеризовался миритин: в названном опытном варианте проростки всех трех видов растений имели нормальное и развитие.

Влияние деструктурирующего агента микротрубочек оризалина на функциональные составляющие и пути дыхательного обмена у *Solanum tuberosum* (L.)

Пузина Т.И.*, Макеева И.Ю., Жердева Т.Н.

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, кафедра ботаники, физиологии и биохимии растений, Орел, Россия

*E-mail: tipuzina@gmail.com

Представление о дыхании как сумме функциональных составляющих позволяет лучше понять распределение энергии в растении при действии неблагоприятных условий. Дыхание роста (Rg) обеспечивает энергией процессы новообразования, тогда как дыхание поддержания (Rm) снабжает энергией имеющуюся биомассу. Для характеристики качества дыхания имеют значение начальные пути дыхательного обмена. Имеющиеся в литературе данные указывают на зависимость интенсивности процесса дыхания от структурного состояния элементов цитоскелета. Однако не найдено сведений о действии структурного состояния цитоскелета на качественные характеристики данного процесса. Целью исследования было изучить качественные показатели дыхания растений картофеля в условиях целостного и деструктурированного оризалином тубулинового цитоскелета. Растения картофеля сорта Жуковский ранний выращивали в почвенной культуре. Через 15 суток после появления всходов растения опрыскивали 15 мкМ раствором оризалина, контрольные

растения – водой. Анализировали дыхание листьев через 7 суток после обработки. Интенсивность процесса дыхания определяли по количеству выделяющегося CO_2 . R_m определяли через 48 часов после пребывания растений в темноте. В качестве блокатора гликолиза использовали 0,03М раствор NaF. Фармакологический стресс, вызванный оризалином, в 5 раз увеличил дыхание поддержания, но снизил трату энергии на дыхание роста. В варианте с деструктурированными микротрубочками NaF заблокировал дыхание меньше чем на 50%, что свидетельствует о преобладании апотомического пути. Таким образом, структурное состояние тубулинового цитоскелета оказывает влияние на функциональное состояние и начальные пути дыхательного обмена.

Круглосуточное освещение в конце продукционного периода повышает пищевую ценность и снижает содержание нитратов в микрозелени растений сем. *Brassicaceae*

Рубаева А.А., Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г.*

ФИЦ Карельский научный центр РАН, Институт биологии, Россия

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

Целью работы было проверить гипотезу, что повышения качества продукции микрозелени можно достичь, применяя в конце продукционного периода выращивания режим круглосуточного освещения (КО). Четыре вида семейства *Brassicaceae* – брокколи (*Brassica aleracea* var. *italica*), мизуна (*Brassica rapa* ssp. *nipposinica*), редис (*Raphanus sativus* var. *radicula*), рукола (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa*) - выращивали в камерах искусственного климата при температуре 23°C, фотопериоде 16 ч, освещении светодиодными лампами с соотношением красного и синего света 3:1 (ФАР 270 мкмоль/(м² с)). Часть растений в течение 3 суток перед сбором урожая освещали круглосуточно. Растения всех четырех видов, подвергавшиеся действию КО, имели большую биомассу, скорость развития, более высокий индекс робастности (от англ. robust – крепкий). КО привело к развитию легкого окислительного стресса у растений, в результате чего увеличилось накопление антоцианов и флавоноидов и активность антиоксидантных ферментов. Это повышает питательную ценность микрозелени, которую можно использовать в качестве функционального продукта (“functional food”) для здорового питания. Кроме того, у растений, подвергавшихся действию КО перед сбором урожая, было ниже содержание нитратов. Таким образом, выращивание растений с применением режима КО в конце продукционного периода может быть использовано для эффективного производства микрозелени брокколи, мизуны, редиса и руколы с повышенной пищевой ценностью и более низким содержанием нитратов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-016-00033а.

Использование холодной плазмы атмосферного разряда для стимуляции ростовых процессов у высших растений

Русакович А.А.^А, Самохина В.В.^А, Войтехович М.А.^А, Пшибытко Н.Л.^А, Котов Д.А.^Б, Демидчик В.В.^{А*}

^АБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

^ББелорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, кафедра микро и наноэлектроники, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchuk@bsu.by

Холодная плазма атмосферного разряда представляет собой смесь нейтральных и метастабильных атомов и молекул газа, которая обеспечивает нагрев обрабатываемого объекта до температуры не более 40°C. Обработка плазмой приводит к модификации

поверхности, повышая ее адгезионные и гидрофильные свойства. Кроме того, обработка холодной плазмой индуцирует образование свободных радикалов и химически активного поверхностного слоя. Плазма ионизирует триплетный кислород воздуха, формируя гидроксильные радикалы в газообразной форме. Весьма актуальным представляется исследование влияния холодной плазмы на функциональное состояние, ростовые и сигнальные процессы высших растений с целью разработки методов повышения их продуктивности и устойчивости. Для проведения обработки растительного в данной работе был использован экспериментальный комплекс, разработанный Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники, генерирующий холодную (21-27°C) плазму диффузного разряда. С использованием метода электронного парамагнитного резонанса со спиновой ловушкой 5,5-диметилпирролин-N-оксид (ДМПО) была показана генерация активных форм кислорода, включая гидроксильные радикалы, в растворах, имитирующих биологические среды, при их обработке данной холодной плазмой. Амплитуда ЭПР-сигнала, индуцируемого холодной плазмой, линейно возрастала с увеличением времени ее воздействия. В качестве тест-объектов воздействия холодной плазмы на растительные системы использовались семена и проростки ряда высших растений (*Arabidopsis thaliana* L. (Heynh.), *Triticum aestivum* L.), выращенные *in vitro* и *in vivo*. Обработка семян и проростков проводилась на расстоянии 25-75 мм (на котором происходило стримеобразование), время воздействия составляло 1-5 с. Показано, что обработка семян *Arabidopsis thaliana* L. и *Triticum aestivum* L. холодной плазмой стимулировала ростовые процессы, приводила к увеличению скорости роста корней. В то же время, воздействие холодной плазмы на проростки арабидопсиса и пшеницы подавляло рост корней. С увеличением времени воздействия холодной плазмы подавление роста корней усиливалось, а увеличение расстояния до обрабатываемого объекта снижало ее ингибирующий эффект.

Работа выполнена в рамках проектов ГПНИ «Закономерности воздействия холодной плазмы на процессы клеточной сигнализации у высших растений» (№ госрегистрации 20211734) и ГП «Разработать и внедрить в производство технологии регистрации свободнорадикальных и высокоокисленных соединений для нужд биотехнологии и пищевой химии» (№ госрегистрации 20213563).

Инициация каллусных культур авокадо (*Persea americana* Mill.) и оптимизация состава питательной среды для их культивирования

Савич А.Е., Логвина А.О.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: hanna.lohvina@gmail.com

Персея американская (*Persea americana* Mill.), или авокадо – широко известное тропическое растение. Плод авокадо является диетическим продуктом, характеризующимся высокой питательной ценностью. Надземная масса и семена накапливают фармакологически важные метаболиты (сапонины, фенольные соединения, цианогенные гликозиды, алкалоиды, стероиды), вследствие присутствия которых данные части растения используются в конвенциональной медицине стран естественного произрастания авокадо. Интерес представляет введение авокадо в культуру *in vitro*, как с точки зрения пополнения отечественных коллекций клеточных культур, так и разработки и оптимизации схем микроклонального размножения данного растения. Целью работы было ввести авокадо в стерильную культуру *in vitro*, иницировать каллусные культуры. Для инициации каллусных культур был получен источник стерильных эксплантов – асептически выращенное растение авокадо. Листовые, стеблевые и корневые экспланты помещали на питательную среду Мурасиге

и Скуга (МС), дополненную фитогормонами 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой (2,4-Д) и кинетином в концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л. Первичный каллус в равной степени эффективно формировался на эксплантах всех трех типов. Активность каллусогенеза не зависела от концентрации фитогормонов в среде. Так, были получены три линии каллусных культур авокадо – листового, стеблевого и корневого происхождения. Оптимизация состава питательной среды для повышения показателей роста каллусных культур включала тестирование трех вариантов минеральной основы (МС, Уайта, VPM) при одновременном варьировании содержания сахарозы и концентрации фитогормонов 2,4-Д, индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) и 6-бензиламинопурина (6-БАП). В результате проведенных экспериментов установлено, что наиболее высокая ростовая активность полученных линий каллусных культур авокадо наблюдается на среде Уайта в присутствии 1,0 мг/л ИУК, 1,0 мг/л 2,4-Д и 3,0 мг/л 6-БАП и 4% сахарозы. Дальнейшая работа будет направлена на разработку методических подходов по стимулированию органогенеза и получения микроклонов на основе полученных каллусных культур.

Использование вертикальной культуры *in vitro* корневых проростков для анализа воздействия стрессовых агентов и фитогормонов на рост и развитие корневой системы высших растений

Самохина В.В., Мацкевич В.С., Шашко А.Ю., Бондаренко В.Ю., Демидчик В.В.*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: dzemidchuk@bsu.by

Повышение эффективности и автоматизации ростовых тестов для исследования изменений роста растений в ответ на регуляторные и токсичные вещества является одной из актуальных задач современной биологии растений. В настоящей работе протестированы ростовые ответы растений в полуавтоматических системах фенотипирования, а также разработана система измерения длины корней проростков при помощи цифрового анализа изображений. В качестве модельного объекта использовались проростки *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh., выращенные из семян вертикально в культуре *in vitro*, проводились классические тесты на прорастание, а также была разработана техника замены среды. Ежедневная регистрация прироста корней производилась в феномном боксе. Полученные изображения обрабатывались программой Rhizoscan, основанной на технологии компьютерного зрения, которая способна находить отдельные корни растения, считать их длину, ширину, хранить в базе данных последние измерения, сравнивать их между собой, делать статистическую обработку, строить диаграммы по обработанным данным. С применением данной методики был протестирован широкий диапазон токсических и регуляторных агентов, а также охарактеризованы реакции различных природных экотипов и трансгенных линий арабидопсиса. Результаты, полученные в ростовых тестах с заменой среды, имели существенные отличия от данных, полученных с использованием тестов на прорастание. В тестах с заменой среды растения были менее чувствительны к NaCl, Ni²⁺, Al³⁺, аскорбату, H₂O₂, окислительному и другим абиотическим стрессам. Например, концентрация 200 мМ NaCl была летальной в тестах на прорастание, в то время как в тестах с заменой среды она вызывала снижение скорости роста корней лишь на 50%. Таким образом, разработанная система продемонстрировала эффективность для анализа роста корней и других параметров и может быть использована для скрининга воздействия стрессовых факторов и сигнальных агентов. Работа была выполнена в рамках темы НИР «Исследование функционального взаимодействия сигнально-регуляторных и антиоксидантных систем при стрессе с целью повышения общей стрессоустойчивости высших растений и создания новых биотехнологий» (№ госрегистрации 20211222).

**Модификация регуляторами роста адаптивных откликов рапса на стресс ТМ
Соколова А.С.*, Башмаков Д.И.**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, кафедра общей биологии и экологии, Саранск, Россия

*E-mail: callmenastyu0@gmail.com

Исследовали действие предпосевной обработки семян регуляторами роста (РР) синтетической и полусинтетической природы («SI-18-07» – 0,1 мкМ производных сиднонимина и «Эпин-Экстра» – 0,1 мкМ 24-эпибрасинолида) на физиологические и биохимические процессы в проростках рапса на фоне тяжелых металлов (ТМ) в концентрациях от 10 до 1000 мкМ. Ионы ТМ дозозависимо индуцировали в клетках растений окислительный стресс, повышая уровень генерации активированных форм кислорода и интенсивности перекисного окисления липидов, а также изменяя активности антиоксидантных ферментов. Токсическое действие ТМ возрастало в ряду $Ni^{2+} < Pb^{2+} < Zn^{2+} < Cu^{2+}$. Предобработка семян РР повышала всхожесть семян, ускоряла рост надземных и подземных органов проростков, снижала скорость генерации $\cdot O_2^-$, интенсивность ПОЛ. Это свидетельствует о снижении токсичных эффектов ТМ на растения, несмотря на ингибирование активности антиоксидантных ферментов. Наилучшие протекторные эффекты препарата SI-18-07 выявлены при действии ионов Ni^{2+} (1000 мкМ), а у Эпина-Экстра – на фоне ионов Cu^{2+} (0,1 мкМ). Полученные данные подтверждают возможность применения препаратов Эпин-экстра и SI-18-07 в качестве эффективных стимуляторов роста рапса для снижения токсического действия ТМ на растения (при условии, что РР не будут усиливать поглощение ТМ). Последнее будет предметом дальнейших исследований.

Активность пероксидаз как маркер стресса *Rubus chamaemorus* L.

Страх Я.Л.*, Игнатовец О.С.

Белорусский государственный технологический университет, кафедра биотехнологии, Минск, Беларусь

*E-mail: y.strakh@gmail.com

Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) – редкое реликтовое растение, находящееся в Республике Беларусь под угрозой исчезновения. На протяжении всей жизни растения подвергаются действию различных стрессовых факторов, биотический и абиотический стресс оказывает значительное влияние на популяции морошки приземистой, в том числе на их устойчивость. В связи с этим, одной из важнейших задач решение которых поспособствует сохранению вида – определение устойчивости *Rubus chamaemorus* L. Особый интерес в данном случае вызывают пероксидазы – ферменты класса оксидоредуктаз, катализирующие с помощью H_2O_2 окисление веществ органической и неорганической природы. Одной из функций пероксидаз в клетках растений является обеспечение физиологического редокс-статуса и поддержание молекул в восстановленном состоянии, что является основным условием для нормального существования растения и его развития, и как следствие развитие популяции в целом. Нами было установлено, что в процессе вегетативного периода популяция морошки приземистой, произрастающей на территории заказника «Лонно» подвергается воздействию стресс-факторов. Значение активности пероксидаз в фазе цветения – $(1,277 \pm 0,089) \cdot 10^{-5}$ мкмоль/мг белка, в фазе плодоношения – $(2,956 \pm 0,121) \cdot 10^{-3}$ мкмоль/мг белка. Данные показатели демонстрируют большую устойчивость, в сравнении с заказником «Жада», и формирование ответа на стресс. Значение активности пероксидаз в фазе плодоношения морошки заказника «Жада» достигала $(8,312 \pm 0,495) \cdot 10^{-4}$ мкмоль/мг белка, что обуславливает более низкую устойчивость и как следствие меньший потенциал для плодоношения.

Культура изолированных семян как этап селекционного процесса чечевицы *Lens culinaris* Medik.

Суворова Г.Н.*

Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, Орел, Россия

*E-mail: galina@vniizbk.ru

Чечевица *Lens culinaris* Medik. широко используется во всем мире как ценная бобовая культура с высоким содержанием растительного белка, витаминов, минералов. Но производители чечевицы сталкиваются с проблемой низкой ее урожайности, обусловленными биологическими особенностями вида. Использование дикорастущих видов *Lens* в селекции может расширить генетическое разнообразие чечевицы и повысить ее биологический потенциал. Проблема постзиготической несовместимости, возникающая при межвидовой гибридизации решается путем доращивания изолированных зародышей или семян на питательных средах *in vitro*. В наших исследованиях метод культуры изолированных семян использовался при скрещивании чечевицы *L. culinaris* с дикорастущим видом *L. tomentosus* Ladiz. в качестве первого этапа селекционного процесса при создании сорта Фламенко. В истории выведения данного сорта 2 гибридных поколения культивировались *in vitro*. Растения F₁ были получены в результате регенерации из незрелой гибридной семечки. Два семени и проросток F₂ получены в результате феномена цветения одного из регенерантных побегов в пробирках. Растения F₂ доращивались в сосудах с почвой. На следующем этапе в F₃ – F₇ было проведено 4 цикла отбора, сформирована селекционная линия, переданная в ГСИ в 2019 году как сорт Фламенко. Сорт чечевицы Фламенко включен в Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использованию в Российской Федерации в 2022 году. Это первый в мире сорт чечевицы, созданный с участием зародышевой плазмы дикорастущего вида *L. tomentosus*.

Исследования генома клубеньковых бактерий сои с помощью rflp и gard анализа 16s рДНК участка генома

Умаров Б.Р.^{А*}, Соатов Т.^Б

^АТашкентский научно-исследовательский институт вакцин и сывороток, Ташкент, Узбекистан

^БТашкентский государственный аграрный университет, Ташкент, Узбекистан

*E-mail: b.r.umarov@mail.ru

Таксономия азотфиксирующих бактерий, которые образуют симбиотические ассоциации с бобовыми растениями, в последние годы стала сильно изменяться. Функциям генов клубеньков (*nod*) во взаимодействии между ризобиями и бобовыми. Гены *nod* являются ключевыми бактериальными детерминантами обмена сигналами между двумя симбиотическими партнерами. Продукт гена *nodC* представляет собой белок-участвующий первой стадии образования клубеньков, в дальнейшем происходит другие функции (*nod*) генов, который выводятся из организма и служат сигналами, посылаемыми от бактерии к растению. Растение отвечает развитием корневого клубенька. В этом исследовании выделенные из клубеньков сои, выращенной в полевых условиях, были генетически охарактеризованы с использованием праймеров REP и BOX A1R, генов нодуляции и N₍₂₎-фиксации (PCR-RFLP и секвенирование генов *nodC* и *nifH*). Восемнадцать штаммов ризобий, выделенных из клубеньков сои, были охарактеризованы по базам данных NCBI и сравнены типовыми штаммами, представляющими *Bradyrhizobium japonicum*, *Bradyrhizobium elkanii* и *Sinorhizobium fredii*. Кластерный анализ 16S рДНК участков проведен с применением трех эндонуклеаз рестрикции, показали, что все выделенные изоляты клубеньковых бактерий сои значительно отличались от штаммов *Bradyrhizobium elkanii* и

Sinorhizobium fredii, генетического разнообразия был определен среди изолятов *Bradyrhizobium japonicum*. RFLP 16S рДНК участка генома четко показала существование двух дивергентных групп среди выделенных клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium*. После идентификации на уровне видов все изоляты были дополнительно охарактеризованы с помощью RAPD и rep-PCR анализов и RAPD, и rep-PCR генерирует высокоспецифичные и воспроизводимые структуры, которые обеспечивают точную дифференциацию. Среди штаммов *Bradyrhizobium japonicum* этими двумя методами обнаружен высокий уровень разнообразия, выявлены разные рестрикционные сайты в 16S рДНК участке генома. Полученные результаты RAPD, REP и ERIC анализа показали, что все выделенные штаммы можно разделить на три основные группы.

Ростостимулирующий эффект ацетилхолина на гетеротрофную каллусную культуру *Catharanthus roseus* (L.) G. Don

Филиппова С.Н.*, Смирнова П.И.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: svetlan_rom@mail.ru

Ацетилхолин (АХ), один из наиболее типичных нейротрансмиттеров животных организмов, также был обнаружен в бактериях, простейших, водорослях, низших и высших растениях, что свидетельствует о чрезвычайно раннем его появлении в эволюционном процессе и широкой экспрессии в не нейрональных клетках. Несмотря на это, знания о биологической роли АХ, например, в высших растениях очень ограничены. Таким образом, целью настоящей работы являлось изучение влияния ацетилхолина на ростовые параметры гетеротрофной каллусной культуры *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. В результате проведенных экспериментов, было выявлено, что данный биомедиатор в концентрациях 10^{-7} и 10^{-6} М оказывал стимулирующее влияние на рост каллусных культур. Так, культивирование каллусов на среде, в состав которой входил АХ в концентрации 10^{-6} М, приводило к максимальной стимуляции роста (на 41 % по сравнению с контрольным вариантом), а в концентрации 10^{-7} М наблюдалось повышение прироста биомассы на 26 %. В то время как внесение АХ в среду инкубации концентрациях 10^{-8} , 10^{-5} и 10^{-4} М не оказывало статистически достоверного влияния на прирост биомассы. Таким образом, в результате проведенных экспериментов было установлено, что ацетилхолин в концентрациях 10^{-7} и 10^{-6} М оказывает ростостимулирующий эффект на гетеротрофную каллусную культуру *Catharanthus roseus* (L.) G. Don.

Фитохимический анализ растений и каллусной культуры *Vinca minor* L.

Филиппова С.Н.*

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: svetlan_rom@mail.ru

Барвинок малый (лат. *Vinca minor* L.), принадлежащий к сем. *Aposynaceae*, – широко используемое лекарственное растение в фармацевтической промышленности. Это растение содержит монотерпеновый индольный алкалоид винкамин, который используется как стимулятор мозгового кровообращения. Помимо винкамина, *V. minor* содержит другие фармакологически важные терпеновые индольные алкалоиды (ТИА), которые до настоящего времени подробно не изучались. В настоящей работе проведен качественный анализ ТИА в экстрактах листьев и корней *V. minor*, а также в фотомиксотрофных каллусных культурах с помощью ВЭЖХ-МС метода. Было определено и проанализировано 36 молекулярных ионов, которые потенциально

соответствуют 99 ТИА. В различных тканях исследуемого растения и каллусной культуре *V. minor* показано присутствие ключевого фермента биосинтеза ТИА – триптофандекарбоксилазы и ее продукта (триптамина). Наиболее высокая активность триптофандекарбоксилазы отмечена в ювенильных листьях и корнях. Выявлено, что нативные растения и каллусы *V. minor* содержат основные интермедиаты биосинтеза ТИА, такие как стриктозидин и 4,21-дидегидрогейсоизин. Накопление стриктозидина в каллусной культуре было значительно выше, чем в корнях и листьях. Кроме того, анализ хроматографических профилей ТИА *V. minor* выявил присутствие серпентин- и аймалицин-подобных алкалоидов с высоким потенциалом их использования в фармацевтической промышленности.

Модификация активности антиоксидантных ферментов и скорости окислительных процессов в растениях томатов под воздействием экзогенных пептидных элиситоров

Филипцова Г.Г.*, Гулина Е.С.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: filiptsova@bsu.by

Экзогенные пептидные элиситоры представляют собой небольшие аминокислотные последовательности, которые образуются в патогенных и непатогенных микроорганизмах из более крупных белков-предшественников, воспринимаются растительными клетками и приводят к запуску каскада защитных реакций, в результате чего происходит индукция фитоиммунитета. Важным компонентом иммунитета растений является активность антиоксидантных систем, благодаря которым в клетках поддерживается баланс в процессах продукции и инактивации активных форм кислорода. Нами было исследовано влияние пептидных элиситоров AVR9 и CSP15 в концентрации 10^{-8} М на активность пероксидазы и супероксиддисмутазы в растениях томатов. Показано, что через 24 часа после обработки листьев томатов пептидами происходит незначительное (на 10-20 %) увеличение активности пероксидазы. Более значимый эффект обнаружен после повторной обработки растений данными пептидами через 7 суток. В последнем случае активность пероксидазы возросла почти в 2 раза по сравнению с контролем. Влияние пептидов AVR9 и CSP15 на активность супероксиддисмутазы имело иной характер. Через 24 часа после обработки растений пептидом AVR9 активность этого фермента практически не изменилась, тогда как под действием пептида CSP15 – снизилась на 15 % по сравнению с контролем. Повторная обработка растений пептидами через 7 суток также привела к незначительному снижению активности супероксиддисмутазы. Таким образом, пептиды AVR9 и CSP15 оказывают двойное действие на активность антиоксидантных ферментов – индуцируют увеличение активности пероксидазы и снижение активности супероксиддисмутазы. Установлено, что предстрессовая обработка растений томатов данными пептидными элиситорами приводит к уменьшению уровня продуктов перекисного окисления липидов в условиях гипертермии, что свидетельствует о снижении скорости окислительных процессов.

Влияние пептидных элиситоров на биосинтез вторичных метаболитов растений

Филипцова Г.Г.*, Кардаш Е.Б., Косяк Ю.А.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: filiptsova@bsu.by

Одной из ответных реакций растений на действие элиситоров является увеличение синтеза вторичных метаболитов, выполняющих защитные функции. В связи с этим

экзогенная обработка растений соединениями, обладающими элиситорными свойствами, может рассматриваться как один из способов индукции вторичного метаболизма и накопления фармакологически важных биологически активных веществ. Нами было исследовано влияние пептидных элиситоров AtPep1, Pep13 и Csp15 на накопление фенольных соединений растениями каллизии душистой (*Callisia fragrans* L.), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) и тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris* L.). Установлено, что экзогенная обработка растений данными элиситорами вызывала изменению уровня накопления фенольных соединений (ФС) в листьях исследованных растений. Степень и направленность действия элиситоров зависела от вида растения. В растениях каллизии пептид AtPep1 вызывал индукцию синтеза гидроксикоричных кислот (ГКК), в результате чего наблюдалось увеличение суммарного содержания ФС. Обработка растений шалфея и тимьяна данным пептидом приводила к незначительному снижению содержания ФС в листьях. Действие пептида Pep13 на растения каллизии не приводило к достоверно значимым изменениям в содержании ФС, хотя отмечен рост уровня ГКК. При обработке растений шалфея пептидом Pep13 уровень флавоноидов увеличивался, а ГКК – снижался по сравнению с необработанными растениями. Аналогичная картина по изменению содержания различных групп ФС под действием Pep13 наблюдалась и в растениях тимьяна. Обработка растений пептидом Csp15 не приводила к значительному изменению суммарного содержания растворимых ФС во всех изученных растениях, но вызывала увеличение уровня флавоноидов и снижение уровня ГКК. Таким образом, можно заключить, что под действием пептидных элиситоров происходит изменение направленности метаболических путей и перераспределение количества отдельных групп фенольных соединений.

Сравнение методов культивирования растений *Arabidopsis thaliana*

Фридман В.А.*, Фадеев В.С., Тюрин А.А., Демьянчук И.С.,

Голденкова-Павлова И.В.

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

*E-mail: VikaFridman@gmail.com

Arabidopsis thaliana является, бесспорно, одним из важнейших модельных организмов в различных областях науки: физиологии растений, биологии развития, генетической инженерии и многих других. Несомненными преимуществами арабидопсиса являются короткий жизненный цикл, быстрый рост, простота культивирования. Геном этого растения секвенирован, в настоящее время в различных базах имеется множество данных о транскриптом, протеоме, метаболических путях, мутациях. Культивирование *Arabidopsis thaliana* в лабораторных условиях – важный аспект любого исследования с использованием этого растений. Его выращивают в стерильных и нестерильных условиях; на твердых, жидких средах и аэропонике; в климатических камерах, теплицах и на стеллажах в световых комнатах. Выбор способа выращивания зависит от цели исследования, количества и типа необходимого биоматериала. Целью данной работы является обзор методов культивирования растений арабидопсиса для различных исследований, а также формулирование критериев выбора способа выращивания в зависимости от требуемого биоматериала. Мы опробовали некоторые описанные в литературных источниках методы культивирования на различных типах сред, что позволяет сделать некоторые важные выводы об оптимизации получения растительного материала в лабораторных условиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033000137-1). The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 121033000137-1). Исследование выполнено за счет гранта

Российского научного фонда (проект № 22-14-00057). The research was supported by RSF (project No. 22-14-00057).

Влияние условий экстрагирования на степень извлечения фенолпропаноидов и флавоноидов из биомассы каллусной и суспензионной культур *Echinacea purpurea* (L.) Moench

Черткова Е.И.*, Дитченко Т.И.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: e_chertkova01@mail.ru

Для разработки экономически рентабельных технологий получения БАВ из культур клеток и тканей растений необходим подбор оптимальных условий ферментации и дальнейшей процедуры извлечения целевых метаболитов. В связи с этим целью настоящей работы явилось исследование условий экстрагирования (продолжительность, температура, соотношение между количеством сырья и экстрагента) на степень извлечения фенолпропаноидов и флавоноидов из биомассы каллусной и суспензионной культур *Echinacea purpurea* (L.) Moench. Установлено, что наиболее оптимальным режимом для выделения гидроксикоричных кислот и их производных из каллусной культуры является проведение экстракции в течение 45 мин, тогда как для суспензионной культуры достаточно 30-ти минутного экстрагирования. При анализе содержания флавоноидов не выявлены достоверные различия при варьировании продолжительности экстрагирования от 15 до 45 мин. Среди протестированных температурных режимов (50°C, 80°C, 100°C) наиболее оптимальной температурой экстрагирования фенолпропаноидов из биомассы каллусной и суспензионной культур является температура 80°C, в случае флавоноидов – 100°C. С целью оптимизации извлечения фенолпропаноидов из биомассы каллусной культуры может быть рекомендовано использование соотношения между сырьем и экстрагентом, равное 1:150, тогда как для суспензионной культуры все использованные варианты (1:50, 1:100, 1:150) в одинаковой степени способствовали извлечению гидроксикоричных кислот. Для обеих культур максимальное извлечение флавоноидов происходило при соотношении между сырьем и экстрагентом 1:50. Показано, что содержание целевых вторичных метаболитов было достоверно выше в водно-спиртовых экстрактах из каллусной культуры *Echinacea purpurea* (L.) Moench по сравнению с суспензионной при всех протестированных режимах экстрагирования.

Создание полевых инфекционных фонов по оценке устойчивости коллекционного и селекционного материала яровой пшеницы к фузариозу колоса и зерна

Шашко Ю.К.^{А*}, Шашко М.Н.^Б, Кадырова М.В.^Б

^АРУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

^БРУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», Жодино, Беларусь

*E-mail: Shashko_Y@tut.by

Важным компонентом селекционного процесса полевых культур является объективная оценка коллекционного и селекционного материала на устойчивость к болезням. С этой целью широко применяется метод создания искусственных инфекционных фонов, моделирующий систему «хозяин-патоген». Главным достоинством данного метода является возможность получения дифференцированного поражения исследуемых сортов и сортообразцов даже в годы со слабым развитием болезней в полевых естественных условиях, что ускоряет процесс отбора устойчивых генотипов. Устойчивость к фузариозу зерна и колоса относится к горизонтальной, поскольку проявляется количественно, расонеспецифическая, контролируется полигенно большим количеством малых генов, подвержена сильному влиянию погодных условий и, при

этом, является долговременной. Следовательно, для создания высокоустойчивых сортов необходимы длительные многократные негативные отборы на жестких инфекционных фонах с последующим насыщением в процессе гибридизации новыми генами устойчивости. Полевые инфекционные фоны по оценке фузариоустойчивости коллекционного и селекционного материала яровой пшеницы создавались путем опрыскивания цветущих растений споровой суспензией гриба *Fusarium culmorum* в концентрации 10^6 конидий/мл. В результате проведенной работы установлен кластер признаков фузариозоустойчивости сортов коллекции яровой пшеницы, включающий три прямых (распространенность фузариоза зерна, распространенность и развитие фузариоза колоса) и два фоновых (высота растений и продолжительность периода «всходы – цветение») признака; выделены и переданы в Национальный банк генетических ресурсов растений Республики Беларусь 24 источника относительно повышенной устойчивости к возбудителям фузариоза колоса и зерна яровой пшеницы.

Влияние наночастиц CuO и Fe₃O₄ на работу устьичного аппарата листьев бобовых растений, на примере *Pisum sativum* L. и *Trifolium pretense*

Шен Яцзин, Зайцев И.В., Пшибытко Н.Л., Смолич И.И.*, Демидчик В.В.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*E-mail: smolich@bsu.by

Наночастицы (НЧ), благодаря своим особым свойствам, находят все большее применение в различных областях человеческой деятельности. Дальнейшее практическое использование НЧ представляется весьма перспективным и разноплановым, однако, как и для любого нового материала, для НЧ должны быть оценены риски взаимодействия с живыми системами, негативное влияние на биосферу и способы его предотвращения. Одним из важнейших путей поступления НЧ в биосферу является атмосферный путь. Измерение уровней содержания нанополлютантов в атмосферном воздухе показывает присутствие в нем целого спектра НЧ. Регистрируются как углеродные, так и металлические НЧ. Например, такие как НЧ меди, оксидов меди, железа, титана, цинка, никеля. Среди них наибольшей токсичностью обладают металлосодержащие НЧ, в особенности, обусловленные присутствием в их составе тяжелых металлов – одной из наиболее опасных групп экотоксикантов [P. Biswas, С.-Y. Wu, 2005; С. Vuzea, I.I. Pacheco, K. Robbie, 2007]. Каким образом металлосодержащие НЧ, присутствующие в атмосфере, воздействуют на физиологические процессы у высших растений остается в значительной степени неисследованным вопросом. Нами проведены исследования работы устьичного аппарата модельных растений *Pisum sativum* L., *Pisum arvense* L. и *Trifolium pretense* после воздействий НЧ оксида меди (CuO) и НЧ оксида железа (Fe₃O₄) в форме аэрозоля. Проростки обоих видов выращивались в стандартизированных условиях в гидропонных системах на 20% растворе Кноппа. У выращенных 10–14 суточных растений в ходе экспериментов после обработки листьев растворами НЧ (контроль (H₂O дистил.), 0.1, 1, 3, 10, 30, 100, 300, 1000 мг/л) деактивировали 15 минутным помещением в темноту устьичный аппарат, а затем активировали его интенсивным освещением (2500 мкмоль/м²*с фотонов). Работу устьичного аппарата растений изучали сразу после обработки аэрозолем суспензии наночастиц оксида меди и через 1, 2, 3, 4 и 24 часа после воздействия наночастиц. На протяжении получаса после освещения измеряли скорость открытия и ширину щели замыкающих клеток устьиц, находящихся в поле зрения устьиц. Показано, что в ответ на воздействие наночастиц оксида меди (CuO) и оксида железа (Fe₃O₄) увеличивается скорость открытия устьиц. Эффект воздействия распыленных наночастиц сохраняется через сутки после обработки.

Работа выполнена в рамках проекта «Установление закономерностей токсического воздействия металлосодержащих нанополлютантов атмосферы на физиологические процессы у высших растений» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма «Биоразнообразие, биоресурсы, экология», № госрегистрации 20211705.

Влияние наночастиц CuO и Fe₃O₄ на рост проростков *Pisum sativum* L., *Pisum arvense* L., *Trifolium pretense* L. и *Medicago sativa* L.

Шен Яцзин, Кузьмицкий Д.А., Смолич И.И.*, Демидчик В.В.

Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь.

*E-mail: smolich@bsu.by

Металлосодержащие наночастицы, на основе металлов или их оксидов, среди наноматериалов распространены наиболее широко. Значительное их количество попадает в окружающую среду. Через почвенный раствор они могут попадать в растения. Механизмы их взаимодействия до сих пор остаются малоизученными. Исследования охватывают широкий круг вопросов, проникновения, механизмов действия на клеточном уровне, проявлений на физиологическом уровне. Много вопросов уделяется экологической безопасности для живых систем. Сельскохозяйственные культуры, в связи с нарастающим поступлением наночастиц в почву, также могут пострадать от действия наночастиц. Чувствительность растений по отношению к наночастицам может проявиться во влиянии на рост и развитие растений. Нами проведены исследования ростовых процессов *Pisum sativum* L., *Pisum arvense* L., *Trifolium pretense* L. и *Medicago sativa* L. после воздействий НЧ оксида меди (CuO) и НЧ оксида железа (Fe₃O₄) Проростки обоих видов выращивались в стандартизированных условиях в гидропонных системах на 20% растворе Кноппа. На протяжении выращивания растений 10-14 суток путем накапывания наносили 20 мкл растворов наночастиц различных концентраций (контроль (H₂O дистил.), 0,1, 1, 3, 10, 30, 100, 300, 1000 мг/л) на кончик корня. Оценивали рост корней и стебля ежедневно. Показано, что наночастицы оксида меди ингибируют рост проростков бобовых растений в большей степени, чем наночастицы оксида железа.

Особенности суспензионной культуры клеток *Scutellaria baicalensis* Georgi.

Шмарова А.А.*, Пивоварова Н.С.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет», кафедра промышленной технологии лекарственных препаратов, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: shmarova.aleksandra@pharminnotech.com

Суспензионные культуры лекарственных растений имеют потенциал для направленной регуляции ценных БАВ, что формирует спектр задач для оптимизации параметров роста и развития клеток в условиях *in vitro*. Для культивирования клеток шлемника байкальского в суспензионной форме использовали жидкие питательные среды по прописи Мурасиге-Скуга с витаминно-минеральными добавками (субстрат состава №1 с аминокислотным комплексом и цитокининами, состав №2 – 6-БАП и гидролизат казеина). Среди особенностей суспензионной культуры шлемника можно выделить физиологические, цитологические и ростовые. Форма, размер клеток и количество агрегатов в суспензии изменяются по мере циклов субкультивирования. Отличительной чертой первичных суспензий является наличие клеток прозенхимного типа (68 ± 3,0 %), высокая степень агрегированности (число агрегатов 75-79%, размер – 8-15 мм), удовлетворительная жизнеспособность (54 ± 2,0%). В ходе следующих пассажей отмечено появление паренхимных клеток (59 ± 2,0 %), снижение степени агрегированности биомассы (45-50%), более выраженная жизнеспособность (82 ± 3,0%). Размер клеток в многократно пересаживаемых культурах не превышает 40 мм.

Заочное участие

Кривая роста имеет S-образную форму (ростовой цикл 20-22 дня). После 4-го субкультивирования отмечается ускорение прироста биомассы (сокращение времени роста до 14 дней). Сравнение влияния компонентного состава питательных сред позволяет сделать вывод, что субстрат состава №2 обеспечивает более оптимальные условия для развития клеточной биомассы. Однако, данное предположение требует более детальной проверки. Поэтому работы по подбору составов продолжаются.

Именной указатель

А–У

Demidchik V.: 46,
Huang X.: 46,
Kozhevnikova A.: 46,
Mackievic V.: 46,
Seregin I.: 46,
Yu M.: 46

А–Я

Каханоўскі А.І.: 38
Новікава А.С.: 38
Спірыдовіч А.У.: 38

А

Абрамова А.С.: 38
Агабалаева Е.Д.: 33, 83
Адамович Е.Д.: 85
Азарко И.И.: 89
Акыев Н.А.: 37
Амелин А.В.: 83
Анисимова Н.В.: 47
Антонова О.Ю.: 58
Антонович А.О.: 61
Артемьева А.М.: 47
Атджыева О.: 61
Афонников Д.А.: 21
Ахиярова Г.Р.: 51

Б

Бабак О.Г.: 28, 40, 47, 79
Бабков А.В.: 35
Баева И.Е.: 48, 79
Балюк Н.В.: 42
Баранов О.Ю.: 22, 33
Башмаков Д.И.: 93, 103
Бибикина Т.Н.: 53
Билова Т.Е.: 20, 35, 53
Богданов И.В.: 51
Богинская Л.А.: 23, 62
Богук Е.В.: 84, 92
Боднарь И.С.: 56
Бокий К.Ю.: 91
Болховитинов А.С.: 85
Бондаренко В.Ю.: 21, 74, 97, 102
Боровский Г.Б.: 56

Бронских Е.Д.: 86
Булко Н.Н.: 74
Бурачкова А.В.: 86
Бухарина И.Л.: 23
Бушманова М.В.: 62, 79

В

Вайновская И.Ф.: 87
Вайгулевич А.В.: 88
Варфоломеева Т.Е.: 89
Василевская М.Е.: 77
Васильев Г.В.: 21
Васильев С.Е.: 95
Веселова С.В.: 97
Веселов Д.С.: 51
Ветошкин А.А.: 32, 97
Вечерек М.С.: 97
Воденеев В.А.: 26
Воронин В.П.: 71

Г

Габриелян Л.: 97
Гавриленко Т.А.: 21
Гарибян Ц.С.: 38
Генаев М.А.: 21
Гилевская К.С.: 63, 66, 72
Глаголева Е.С.: 25
Глушенок Е.И.: 61
Голденкова-Павлова И.В.: 42, 64, 77, 107
Горбач Д.П.: 32, 35
Гордейко В.В.: 89
Горшков А.П.: 36, 49

Д

Деева А.М.: 33,
Демиденко Д.В.: 49, 64,
Демидчик В.В.: 16, 18, 19, 21, 26, 28, 29,
32, 37, 39, 54, 69, 74, 86, 88, 97, 100, 102,
109, 110
Демченко К.Н.: 30, 44
Демьянчук И.С.: 64, 107
Денисова В.В.: 91
Денисюк Д.В.: 61
Дитченко Т.И.: 84, 91, 108
Добродькин М.М.: 79
Доманская И.Н.: 41
Дрозд Е.В.: 47

Дубовец Н.И.: 77
Дурдыева Д.: 65
Дюбо Ю.В.: 50

Е

Евсюков С.В.: 47
Егорова Н.А.: 57
Еловская Н.А.: 66
Емельянов В.В.: 31, 51

Ж

Жабинский В.Н.: 26
Жамалова Д.Н.: 91
Жердева Т.Н.: 99

З

Заикин В.В.: 83
Зайцев И.В.: 109
Захарова Е.В.: 27

И

Ибрагимов С.М.: 21
Иванов И.И.: 51
Иванов Р.С.: 51
Игнатенко Е.И.: 50, 81
Ильина Е.Л.: 30

К

Кабашникова Л.Ф.: 41, 53
Каган Д.И.: 46
Казнина Н.М.: 45
Калацкая Ж.Н.: 42, 63, 66, 72
Калганова Н.В.: 90
Капустин М.А.: 24, 67
Карасева Е.Н.: 35, 68
Кардаш Е.Б.: 106
Каретников Д.И.: 21
Ким А.: 53
Киселёв Г.А.: 51
Кисель Е.В.: 35
Китаева А.Б.: 36, 49
Клокова Т.М.: 91
Коваленко М.С.: 57
Кожевникова А.Д.: 43, 44
Козел Н.В.: 43
Козлова О.Н.: 68
Колзун Д.А.: 69
Колубако А.В.: 50, 82
Кондрацкая И.П.: 70
Константинов А.В.: 23, 24, 72, 74, 98
Константинова С.В.: 25

Коротаева Н.Е.: 56
Корытько Л.А.: 63, 73
Косинская Д.М.: 92
Косов И.В.: 56
Косяк Ю.А.: 106
Котенкова Е.А.: 66
Котов Д.А.: 100
Кочетов А.В.: 21
Кочкин Д.В.: 25, 66
Красковский А.Н.: 66
Крылова Е.А.: 35
Крытынская Е.Н.: 84, 92
Крюков Е.А.: 92
Куделина Т.Н.: 53, 72
Кудоярова Г.Р.: 51
Кудряшов С.В.: 95
Кузьмицкий Д.А.: 110
Кукулянская Т.А.: 39, 61
Кулагин Д.В.: 23, 24, 62, 70, 94, 99
Куликовская В.И.: 72
Кундев В.С.: 93
Курина А.Б.: 47
Курченко В.П.: 24, 67
Курьянчик Т.Г.: 43
Кусакин П.Г.: 32, 49
Кусенкова М.П.: 70, 94
Кушунина М.А.: 29

Л

Лагодич О.В.: 95
Лагоненко А.Л.: 81
Лазерко Н.В.: 26, 32
Ламан Н.А.: 42, 63, 66
Леонова Т.С.: 53
Логвина А.О.: 101
Лодыгин А.Д.: 24, 67
Лукашева Н.В.: 32
Лунькова М.К.: 25
Луцкий Е.О.: 57
Лысенко Е.А.: 18

М

Мавлютов Ю.М.: 52
Мазур Т.В.: 71
Майсеня С.В.: 75
Макеева И.Ю.: 94, 99
Максимов И.В.: 97
Маллеева Э.Р.: 95
Малунова М.В.: 47, 76
Мальцева Л.В.: 74
Мацкевич В.С.: 29, 32, 102

Машкин И.В.: 73
Мейчик Н.Р.: 29
Мельникова Д.Н.: 51
Мельникова Е.В.: 73
Минич А.С.: 95
Минич И.Б.: 95
Миннигалиева А.Ф.: 97
Михайлова Т.А.: 84
Моисеев С.К.: 90
Мокшин Е.В.: 91
Молчан О.В.: 41, 53, 75
Муравицкая А.О.: 97
Мурзина С.А.: 71
Мыслейко М.А.: 97

Н

Недведь Е.Л.: 42, 63, 72
Некрашевич Н.А.: 79
Немтинов В.И.: 60, 96
Нестеров М.А.: 21
Николаева Ю.И.: 29
Николайчик Е.А.: 50, 81, 82
Никонович Т.В.: 48
Никушин О.В.: 29
Нилова И.А.: 45
Новик А.Д.: 96
Новикова А.С.: 33
Новосельский И.Ю.: 28
Носов А.В.: 25
Носов А.М.: 25, 66
Нужная Т.В.: 51, 97

О

Обуховская Л.В.: 72
Овчинников И.А.: 72
Орехов Ф.К.: 85
Орлова А.А.: 20
Осипенко Н.В.: 23, 24, 46, 98, 99
Острикова М.Я.: 98

П

Павленко О.С.: 77
Павлютина Н.Б.: 75
Падутов В.Е.: 22, 74
Панов Ю.М.: 76
Пантелеев С.В.: 98
Пашкова А.С.: 23
Паштецкий В.С.: 96
Петров Г.В.: 23, 46, 98
Пехова О.А.: 60, 96
Пилипович Т.С.: 53

Платонова Т.В.: 57
Повыдыш М.Н.: 96
Полевикова Е.Н.: 24
Полянская С.Н.: 73
Пржевальская Д.А.: 74
Приступа К.В.: 39
Пугачёва И.Г.: 79
Пузанский Р.К.: 31, 51
Пузина Т.И.: 99
Пшибытко Н.Л.: 18, 54, 97, 100, 109

Р

Рекославская Н.И.: 59
Репкина Н.С.: 45, 71
Решетников В.Н.: 17, 33, 70, 81, 83
Рубаева А.А.: 100
Русак Н.Ю.: 89
Русакович А.А.: 54, 88, 100
Рыбинская Е.И.: 42, 63
Рыженко А.С.: 35

С

Савич А.Е.: 101
Сак М.М.: 35
Самохина В.В.: 29, 32, 100, 102
Сапрыкина Е.С.: 94
Сачек А.П.: 74
Светлаков В.И.: 37, 39, 69
Седун Е.А.: 87
Селиверстова Е.В.: 36
Серегин И.В.: 43, 44
Сидоренко А.Ю.: 74
Скакун Т.Л.: 41
Скуратович Т.А.: 75
Смирнова П.И.: 105
Смоликова Г.Н.: 18, 35
Соатов Т.: 104
Соболев Д.С.: 77
Соколик А.И.: 29, 74, 88, 97
Соколова А.С.: 103
Соловьева А.Е.: 47
Соловьева А.И.: 47, 76
Сорокань А.В.: 97
Спивак С.Г.: 40
Спиридович Е.В.: 17, 33, 83, 87
Станьковская А.В.: 78
Стаселович М.И.: 75
Степанова А.Ю.: 47, 76
Стражалка К.: 18
Стрыгина К.В.: 35
Суворова Г.Н.: 104

Сундырева М.А.: 57
Сухорукова А.В.: 42, 64
Схат Х.: 43, 44

Т

Тайрова М.Р.: 91, 92
Тимашева Л.А.: 60, 96
Титова М.В.: 25, 66
Толкачева Ю.В.: 28
Тошчаков С.В.: 21
Тюрин А.А.: 64, 77, 107
Тюрин А.В.: 42
Тюрина Т.М.: 25

У

Умаров Б.Р.: 104
Урмонас М.: 41

Ф

Фадеев В.С.: 107
Филиппова С.Н.: 105
Филиппова Г.Г.: 106
Финичёва А.А.: 95
Финкина Е.И.: 51
Фоменков А.А.: 25
Французенок А.В.: 79
Фролов А.А.: 20, 32, 35, 53
Фролова Н.В.: 20, 32

Х

Халилуев М.Р.: 40, 49, 64, 77
Хандурдыева М.: 79
Холодова Е.Н.: 67
Храмцова Е.А.: 89
Хрипач В.А.: 26

Ц

Цыганова А.В.: 36, 49
Цыганов В.Е.: 32, 36, 49

Ч

Чайковская Л.А.: 60
Чебан Е.В.: 56
Чекалин Е.И.: 83
Черевацкая М.А.: 20, 35
Черепанов И.А.: 90
Черныш М.А.: 26, 32
Чернышов И.С.: 54
Черткова Е.И.: 108
Чжао К.: 80
Чижик О.В.: 68, 70, 71, 81, 87

Чубарова А.С.: 24, 67
Чурсина Н.Л.: 95

Ш

Шабашова Т.Г.: 61
Шаварда А.Л.: 51
Шамустакимова А.О.: 34, 52
Шарангович М.А.: 81
Шашко А.Ю.: 21, 74, 97, 102
Шашко М.Н.: 108
Шашко Ю.К.: 108
Шематорова Е.К.: 40
Шерудило Е.Г.: 100
Шестерень П.В.: 48
Шиббаева Т.Г.: 100
Шишова М.Ф.: 51
Шмарова А.А.: 110
Шпаковский Г.В.: 40
Шруб Е.В.: 82
Шуканов В.П.: 73
Шумилина Ю.С.: 53

Ю

Юхимук А.Н.: 70, 81

Я

Язмырадов Д.Ч.: 37
Яковец О.Г.: 61, 62, 65, 78, 79, 80
Яруллина Л.Г.: 42
Яцевич К.К.: 28, 47

Научное издание

КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

**Тезисы докладов
III Международной научно-практической конференции**

**Республика Беларусь
Минск, 24–27 мая 2022 г.**

В авторской редакции

Ответственные за выпуск *В. В. Демидчик, А. Ю. Шашко, И. И. Смолич*

Подписано в печать 17.05.2022. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 6,96. Тираж 120 экз. Заказ 48.

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск.

Полиграфическое исполнение:
государственное учреждение образования
«Республиканский институт высшей школы».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/174 от 12.02.2014.
Ул. Московская, 15, 220007, г. Минск.