
КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT CELL BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY

К 90-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ КЛЕТОЧНОЙ БИОЛОГИИ И БИОИНЖЕНЕРИИ РАСТЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА БГУ

TO THE 90th ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF PLANT CELL BIOLOGY AND BIOENGINEERING OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

История кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений ведет свое начало с 1928 г., когда на биологическом факультете БГУ была организована кафедра физиологии растений и микробиологии. Возглавил ее выдающийся физиолог и биохимик растений, академик АН БССР Тихон Николаевич Годнев. На кафедре, позже переименованной в кафедру физиологии и биохимии растений, осуществлялась не только подготовка кадров высшей квалификации, но и активная научно-исследовательская деятельность. В 1957 г. при кафедре была создана лаборатория фотосинтеза. Основным направлением исследований являлось изучение процессов хлорофиллообразования и установление структуры фотосинтетического аппарата растений в изменяющихся условиях среды. В этой области кафедра в течение многих лет занимала одну из лидирующих позиций не только в СССР, но и в мире.

С 1960 по 1971 г. кафедрой заведовал кандидат биологических наук, доцент С. В. Калишевич, а с 1971 по 1991 г. – кандидат биологических наук, доцент Л. В. Кахнович. Были продолжены исследования, начатые Т. Н. Годневым. Изучались морфогенетические особенности формирования пластидного аппарата растений, влияние экзогенных и эндогенных факторов на формирование фотосинтетического аппарата на различных уровнях организации.

С 1991 по 2011 г. кафедрой заведовал доктор биологических наук, профессор Владимир Михайлович Юрин, являющийся мировым классиком в исследованиях клеточных механизмов ионного транспорта у растений. Начали успешно развиваться новые как фундаментальные, так и прикладные направления, такие как электрофизиология, ксенобиология, экотоксикология и биотехнология растений. В 1997 г. при кафедре создана научно-исследовательская лаборатория физиологии растительной клетки, которая в 2012 г. была переименована в НИЛ физиологии и биотехнологии растений. Профессором В. М. Юриным создана научно-педагогическая школа в области электрофизиологии и ксенобиологии растений.

В настоящее время кафедру возглавляет ученик В. М. Юрина – доктор биологических наук Вадим Викторович Демидчик, один из ведущих в мире специалистов в области оксидативного стресса, ионного

транспорта, механизмов рецепции и сигнализации у растений. С приходом Вадима Викторовича на кафедру стали активно развиваться новые научно-исследовательские направления, такие как молекулярная и клеточная физиология стресса, клеточная сигнализация, нанотоксикология, микроклональное размножение и биоинженерия декоративных растений. По инициативе В. В. Демидчика в 2013 г. кафедра получила современное название – клеточной биологии и биоинженерии растений.

На кафедре ведется научно-исследовательская работа, соответствующая приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь. Сфера научных интересов сотрудников включает разнообразные современные направления исследований. Изучаются механизмы функционирования и регуляции физиологических процессов растений на разных уровнях организации: молекулярном, клеточном, субклеточном, организменном, а также связей растительных организмов с окружающей средой.

Основные научные направления работы кафедры:

- установление механизмов транспорта веществ и рецепции на плазматической мембране растительной клетки, закономерностей регуляции данных процессов эндо- и экзогенными физико-химическими факторами, их участия в физиологических и патофизиологических процессах в организме растения;
- развитие новых биотехнологий на основе культур клеток, тканей и органов растений. Установление физиолого-биохимических механизмов жизнедеятельности культур клеток *in vitro*, контролирующих процессы биосинтеза биологически активных веществ;
- развитие биоинженерных подходов в биотехнологии растений: использование техники иммобилизации, наночастиц, фотобиореакторов, генетической модификации в целях стимуляции и контроля метаболических и ростовых процессов;
- анализ влияния на организм растения неблагоприятных факторов среды и ксенобиотиков (патогенов, засоления, засухи, тяжелых металлов, ионизирующей радиации);
- установление генетических и физиологических механизмов окислительного стресса, запрограммированной клеточной гибели и автофагии у высших растений. Моделирование воздействия стресс-факторов на урожайность;
- биотестирование загрязнения окружающей среды на основе ответов клеток растений;
- исследование действия новых классов иммуностимуляторов и адаптогенов растений (фитопростагноидов и элиситоров пептидной природы) на устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессовым факторам;
- клонирование декоративных растений в условиях *in vitro* в целях их массового размножения в промышленных масштабах;
- феномика высших растений. Разработка платформы для феномного анализа древесных растений;
- разработка и усовершенствование учебно-методических комплексов для преподавания дисциплин, связанных с экспериментальной и прикладной биологией растений, ксенобиологией, системной биологией.

Одним из классических научных направлений, развиваемых на кафедре достаточно давно, но не утративших актуальность в настоящее время, является исследование ионтранспортных систем плазматической мембраны растительной клетки. На кафедре поддерживается и развивается научная школа профессора В. М. Юрина, изучаются механизмы поступления минеральных веществ в растительную клетку на молекулярно-генетическом уровне.

В ходе многолетних исследований В. М. Юрина, А. И. Соколика и В. В. Демидчика установлены механизмы функционирования и закономерности регуляции K^+ -, Ca^{2+} -, Cl^- -каналов и неселективных ионных каналов плазматической мембраны клеток растений. В. В. Демидчиком предложена первая функциональная классификация неселективных катионных каналов (НКК), согласно которой они подразделяются на 7 основных классов: 1) стационарные деполяризационно-активируемые; 2) стационарные гиперполяризационно-активируемые; 3) стационарные потенциалнезависимые; 4) активируемые циклическими нуклеотидами; 5) активируемые аминокислотами; 6) активируемые активными формами кислорода (АФК); 7) активируемые патогенными элиситорами. Показано, что НКК обеспечивают стационарный пассивный транспорт одновалентных и двухвалентных катионов, а также катионные потоки в ответ на генерацию АФК, действие аминокислот и пуринов. Полученные результаты указывают на прямое участие НКК в регуляции минерального обмена, ответе растительной клетки на стрессовые воздействия, росте и развитии растения (рост клетки растяжением), т. е. в процессах, контролирующих урожайность сельскохозяйственных культур и биоразнообразие дикой флоры. Особое значение результаты имеют для развития генно-инженерных подходов в регуляции урожайности и стрессоустойчивости растений.

По проблеме устойчивости растений к биотическим стрессорам изучена модификация ионтранспортных систем плазматической мембраны растительных клеток при атаке грибных патогенов и их связь с синтезом защитных соединений и развитием реакции гиперчувствительности. На корнях проростков пшеницы показано, что при действии гриба *Fusarium* усиливается выход ионов калия. Методом «пэтч-кламп» на протопластах из корней пшеницы установлено, что катионные каналы относительно устойчивого к фузариозу сорта активируются в присутствии культуральной жидкости *Fusarium culmorum*, в то время как катионные каналы у чувствительного сорта не изменяют своих характеристик. Очевидно, способность реагировать на присутствие в среде фитопатогена *Fusarium culmorum* потенциально может лежать в основе устойчивости пшеницы к фузариозам.

Установлено значительное стрессовое воздействие выделений патогенных грибов на ацидофицирующую активность корневой системы проростков пшеницы. В частности, после обработки культуральным фильтратом *Fusarium* наблюдается стимуляция ацидофицирующей активности корней. Препарат «Тубелак» снимает стимуляцию ацидофикации, вызванную грибом, «Туберит» оказывает аналогичное действие, но в меньшей степени, а брассиностероид эпин практически не действует на исследуемый процесс. Полученные закономерности вносят существенный вклад в понимание механизмов действия фитопатогенов на растительные клетки и могут служить основой для разработки новых классов биологически активных препаратов в целях повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к биотическим стрессорам.

Обеспечение длительного и безопасного существования живых организмов в условиях высокого техногенного загрязнения возможно лишь при глубоком изучении механизмов биологического действия химических соединений. С учетом того что первичной мишенью при применении экзогенных соединений является плазматическая мембрана, изучается влияние отдельных классов веществ на ее транспортно-барьерные свойства и функционирование отдельных систем переноса ионов. Выбор соединений определяется хозяйственной направленностью и необходимостью тестирования экологической безопасности. В частности, использование большого количества пестицидов приводит к их попаданию в биосферу, где живые организмы начинают испытывать на себе «пестицидный пресс». Сформировался своеобразный «пестицидный парадокс», смысл которого состоит в том, что человечество, применяя пестициды, само попадает под их воздействие.

Поскольку первичной мишенью для пестицидов является плазматическая мембрана, то представляется целесообразным выявить их влияние на ее транспортные свойства. Установлены особенности действия сим-триазиновых гербицидов (атразин, симазин, прометрин), триазоловых фунгицидов (пропиконазол, тебуконазол, ципроконазол) и цианосодержащих пиретроидных инсектицидов (дельтаметрин, циперметрин, эсфенвалерат) на транспортные характеристики цитоплазматической мембраны клеток растений. Быстрое развитие биоэлектрической реакции растительной клетки на действие испытанных пестицидов свидетельствует об их первичном непосредственном влиянии на плазматическую мембрану. Эта закономерность подтверждается данными о характере потенциалзависимости сдвигов скорости циклоза под действием пестицидов. Триазоловые фунгициды, сим-триазиновые гербициды и цианосодержащие пиретроидные инсектициды характеризуются различной степенью мембранотропной активности, располагаясь в следующие ряды: пропиконазол > тебуконазол > ципроконазол, атразин > симазин > прометрин и эсфенвалерат > дельтаметрин > циперметрин. Анализ приведенных рядов указывает на то, что из гербицидов большей токсичностью для растительной клетки обладают хлорсодержащие сим-триазины (атразин, симазин) по сравнению с тиометилсодержащими (прометрин), среди фунгицидов – дихлорсодержащее соединение (пропиконазол), а для цианосодержащих пиретроидных инсектицидов – эсфенвалерат.

Показано, что взаимодействие молекул испытанных фунгицидов с плазматической мембраной, преимущественно с ее липидной фазой, обусловлено липофильными свойствами заместителей в положении N-1 триазолового кольца. Для испытанных пиретроидных инсектицидов установлена положительная связь между сдвигами электрического потенциала плазматической мембраны и молекулярной рефракцией и поляризуемостью молекул. Выявленные индуцируемые пестицидами молекулярно-мембранные перестройки транспортных систем плазматической мембраны растительных клеток позволили разработать концепцию в области тестирования биологической активности ксенобиотиков и средств экологического мониторинга.

Последние 20 лет на кафедре большое внимание уделяется изучению вторичного метаболизма в клетках культур растений *in vitro*. Получены стабильно растущие каллусные ткани и клеточные суспензии ряда лекарственных растений: эхинацеи пурпурной, шалфея лекарственного, сирени обыкновенной, каллизии душистой, пажитника греческого, катарантуса розового, барвинка малого и др. Представленные виды характеризуются разнообразием фармакологических эффектов и содержат раз-

личающиеся по химической структуре и физико-химическим свойствам группы вторичных метаболитов. Для каждой культуры установлены оптимальные условия культивирования, позволяющие повышать продукцию вторичных метаболитов.

Клетки каллусной культуры *Vinca minor* синтезируют широкий спектр индольных алкалоидов, среди которых по содержанию преобладают дегидровинцин и дегидровинкамаин. В каллусной культуре барвинка малого установлено наличие стриктозидина. Показано, что в каллусных культурах *Vinca minor* и *Catharanthus roseus* стриктозидина накапливается существенно больше, чем в нативных растениях.

Свет стимулирует активность триптофандекарбоксилазы и повышает содержание триптамина в каллусных тканях *Catharanthus roseus* и *Vinca minor*. Установлено, что под действием света увеличивается содержание дегидровинкамайина и дегидровинцина в клетках каллусной ткани *Vinca minor* и серпентина в каллусных тканях *Catharanthus roseus* вне зависимости от концентрации нафтилуксусной кислоты в среде культивирования. Накопление аймалицина в каллусных клетках *Catharanthus roseus* под влиянием света зависит от концентрации нафтилуксусной кислоты в среде инкубации.

Суспензионные культуры клеток *Echinacea purpurea* и *Echinacea pallida* характеризуются хорошо выраженной способностью к синтезу вторичных метаболитов фенольной природы. Доминирующей группой фенольного комплекса обеих суспензионных культур являются гидроксикоричные кислоты и их производные, тогда как флавоноиды относятся к минорным его компонентам. В целях повышения уровней накопления суммы фенольных соединений, а также отдельных их классов в клетках суспензионных культур представителей рода *Echinacea* может быть рекомендовано использование определенных концентраций салициловой кислоты и метилжасмоната в качестве элиситоров. Показано, что для обеих исследованных суспензионных культур метилжасмонат выступает в роли более эффективного элиситора по сравнению с салициловой кислотой. Для повышения их продукционного потенциала может быть рекомендовано использование метилжасмоната в концентрации 10–5 моль/л при переходе культур в фазу замедления роста, т. е. после завершения основных процессов наработки биомассы. Установлено, что возрастание содержания гидроксикоричных кислот в клеточных культурах *Echinacea purpurea* и *Echinacea pallida* в результате обработки исследованными элиситорами коррелирует с повышением активности L-фенилаланинаммиаклазы.

Впервые получены каллусные культуры листового и стеблевого происхождения пажитника греческого ярового сорта Ovarі 4 и озимого сорта PSZ.G.SZ, установлены их морфологические и физиологические характеристики. Проведен качественный и количественный анализ процесса роста и содержания фенольных соединений каллусов пажитника при действии различных факторов среды (свет, экзогенные углеводы, низкотемпературный и солевой стресс). Изучен антиоксидантный потенциал клеточных культур пажитника греческого. Показана положительная корреляция антирадикальной активности каллусов и общего содержания фенольных соединений. На основе каллусной линии листового происхождения получена суспензионная культура, демонстрирующая высокую продуктивность по биомассе и содержанию фенольных соединений с выраженными антиоксидантными свойствами. Данные результаты существенно дополняют и расширяют имеющиеся представления о процессах регуляции биосинтеза фармакологически активных соединений *in vitro*.

С помощью развиваемых методов (иммобилизация, наночастицы) удалось увеличить эффективность процессов вторичного метаболизма в культурах. Использование иммобилизованных клеток позволило за счет более медленной стационарной фазы роста увеличить наработку биологически активных веществ. Снижение скорости роста клеточной культуры способствует более высокому выходу вторичных метаболитов. Кроме того, иммобилизация клеток в полисахаридных носителях снижает вероятность механического повреждения клеток в ходе культивирования.

Показано, что иммобилизация в кальций-альгинатном геле повышает активность ключевого фермента синтеза индольных алкалоидов триптофандекарбоксилазы в клетках культур *Catharanthus roseus* и *Vinca minor*. Впервые установлено, что иммобилизация в Ca^{2+} -альгинатном геле клеток суспензионной культуры *Vinca minor* стимулирует синтез и экскрецию винкамина в среду культивирования. Заключение клеток в кальций-альгинат-хитозановый носитель приводит к активации процессов синтеза и экскреции в среду инкубации фенольных соединений, обладающих антирадикальной активностью. При этом инкапсулирование в альгинате натрия низкой вязкости характеризуется наибольшим стимулирующим влиянием на синтез, накопление и экскрецию триптамина клетками *Catharanthus roseus* и *Vinca minor*.

Установлено, что низкие уровни наночастиц меди (1 мг/л) способны стимулировать прирост биомассы клеток фотомиксотрофной каллусной культуры *Catharanthus roseus* (L.) G. Don, в то время как макрочастицы меди (балк-частицы) не вызывают подобного эффекта. Начиная с уровня 5 мг/л наночастицы меди

стимулируют накопление антоцианов и рост антиоксидантной активности данных культур. Увеличение концентрации как нано-, так и макрочастиц меди в среде культивирования до 25 и 125 мг/л подавляет рост каллуса *C. roseus*. Результаты работы имеют важное фундаментальное значение, так как указывают на особый токсико-регуляторный характер взаимодействия наночастиц с каллусной тканью и наличие «наноэффекта», отличного от влияния макрочастиц меди.

Одной из важнейших проблем современной биологии является повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды. Современный научно обоснованный подход к стратегии защиты растений исходит из того, что экологически наиболее приемлемы и безопасны методы с использованием природных либо моделирующих их регуляторов физиологических процессов, активирующих собственные защитные системы растительного организма. Вещества, проявляющие элиситорные свойства, применяются в низких концентрациях, они не загрязняют окружающую среду, не обладают биоцидным действием, не токсичны, безопасны для человека и животных. Относительно небольшая стоимость и очень низкие нормы расхода делают их использование экологически и экономически выгодным.

На кафедре проводится исследование биологической активности новых классов элиситоров, таких как простаноиды – производные ненасыщенных жирных кислот и пептидные элиситоры, синтезированные в Институте биоорганической химии НАН Беларуси. Установлено, что синтетические простаноиды проявляют биологическую активность в концентрациях 10^{-6} – 10^{-7} моль/л, это сравнимо с содержанием данных соединений в растениях. Выявлены простаноиды, оказывающие стимулирующее воздействие на скорость прорастания и всхожесть семян, а также морфометрические характеристики проростков сельскохозяйственных культур. Установленные эффекты обусловлены гиббереллиноподобной активностью данных соединений.

Показано, что некоторые синтетические простаноиды обладают защитным эффектом у растений, подвергающихся действию неблагоприятных факторов среды. Указанные соединения вызывают индукцию антистрессовых механизмов, в результате снижается скорость окислительных процессов при действии стрессовых факторов. Простаноиды способствуют повышению активности антиоксидантных ферментов, что свидетельствует о росте неспецифической устойчивости растений к действию стрессоров.

Синтетические олигопептиды GmPep890, GmPep914, AtPep и SubPep проявляют элиситорное действие в концентрациях 10^{-9} – 10^{-12} моль/л. Экзогенная обработка растений данными соединениями приводит к увеличению содержания растворимых фенольных соединений и показателя антиоксидантной активности в листьях бобовых культур, что связано с индукцией сигнальных систем. Выявлено, что пептидные элиситоры вызывают запуск механизмов антиоксидантной защиты, в результате чего происходит снижение уровня АФК и, как следствие, скорости окислительных процессов в растениях в условиях действия стрессовых факторов. Разработаны композиции на основе пептидных элиситоров GmPep890 и GmPep914 в сочетании с глутаминовой или янтарной кислотами, приводящие к увеличению устойчивости сельскохозяйственных культур к действию оксидативного стресса и гипертермии.

Под руководством В. В. Демидчика исследуется проблема воздействия экзогенного Ca^{2+} на модификацию плазматической мембраны клеток корня при стрессе в целях разработки новых средств повышения стрессоустойчивости высших растений. Установлены изменения в процессах окисления липидов плазматической мембраны, вызываемого гидроксильными радикалами, под действием Ca^{2+} , а также при имитации засоления. Показано, что Ca^{2+} не влияет на окисление фосфатидилхолина, в то время как высокие уровни NaCl затормаживают этот процесс. Анализ изменения липидного состава плазматических мембран при помощи MALDI TOF и LC-MS продемонстрировал, что Ca^{2+} модифицирует ответ липидов на гидроксильные радикалы. В частности, наблюдается уменьшение количества окисленных и лизоформ липидов, а также ослабление окисления фосфатидилсерина.

В связи с неуклонным увеличением техногенного и антропогенного воздействия на живую природу особую актуальность имеют работы по экофизиологии. Простое феноменологическое описание взаимоотношений между различными живыми системами и окружающей средой не позволяет в полной мере ни оценить существующей угрозы, ни прогнозировать последствий этого воздействия. С каждым годом все более очевидна необходимость вскрытия и описания закономерностей этих взаимоотношений на уровне физиолого-биохимических и молекулярных механизмов, происходящих в живых системах, в частности в растительных организмах. На кафедре ведутся научно-исследовательские работы, направленные на решение ряда экофизиологических проблем. Среди них – изучение токсичности сточных и природных вод с помощью отдельных клеток водорослей *Nitella flexilis*. Сотрудниками кафедры создано устройство «Биотест», позволяющее проводить непрерывный экспрессный мониторинг качества окружающей среды на основе электроальгологического метода.

Еще одним важным направлением является исследование механизмов поступления и накопления в сельскохозяйственных культурах радионуклидов и тяжелых металлов. Эта задача решается путем выявления закономерностей накопления в растениях тяжелых металлов и радионуклидов при внесении биоугля в почву. Изучено влияние добавки биоугля к суглинистой почве на параметры накопления кадмия (Cd) и свинца (Pb) в растениях пшеницы. Установлено, что внесение биоугля увеличивает биомассу надземной части растений и корней, а также на 20–30 % снижает накопление Cd в корнях и надземной части, но не влияет на аналогичные показатели для Pb. По-видимому, эффект биоугля вызван не просто адсорбцией ионов тяжелых металлов.

Параметры накопления ^{109}Cd в корнях пшеницы существенно превышают таковые для ^{90}Sr , несмотря на химическое сходство ионов. Ингибиторный анализ с применением блокаторов катионных каналов Gd^{3+} и верапамила показал существенно большее возрастание и ускорение накопления ^{109}Cd по сравнению с ^{90}Sr при аппликации Gd^{3+} . Можно предположить, что ^{109}Cd и ^{90}Sr входят в корень различными механизмами, причем для ^{109}Cd доля катионных каналов существенно меньше, чем для ^{90}Sr .

В результате проведенных исследований установлено, что биоуголь при внесении в почву проявляет мелиоративное действие, увеличивая биомассу растений, снижая накопление тяжелых металлов, в частности Cd. Особенно сильно этот эффект выражен для почв с невысокой обменной емкостью (супесь) и практически отсутствует для почв с высоким содержанием органического вещества (торфяные). Для Pb и Sr при оптимальной влажности почвы мелиоративное действие биоугля невелико и возрастает при снижении влагосодержания. Практический вывод состоит в том, что внесение биоугля в почву в объеме до 5 % вызывает либо мелиоративное действие, либо по меньшей мере растениям не вредит.

Прикладные работы ведутся по вопросам разработки и оптимизации методов клонирования декоративных растений *in vitro* в целях их массового размножения в промышленных масштабах. Совместно с УП БГУ «Щемяслица» создан Научно-практический центр по микроклональному размножению декоративных растений. В рамках работы данного центра получены коллекции клонов ряда декоративных комнатных растений (более 100 видов и гибридов орхидей), кустарников (барбарис Тунберга, боярышник колючий, кизильник блестящий, форзиция средняя), древесных декоративно-лиственных и хвойных растений (клен остролистный, можжевельник скальный, туя западная, ель обыкновенная, ель колючая).

С использованием новых классов регуляторов роста разрабатываются методы ускоренного вегетативного размножения растений в условиях озеленительного хозяйства. Установлено, что жизнеспособность и укореняемость эксплантов ели колючей возрастают при обработке ауксинами в сочетании с диспергированными в водной среде наночастицами серебра, оксида титана и оксида железа. Значительное стимулирующее воздействие также оказывает обработка антиоксидантами и брассиностероидами. Среди протестированных веществ – 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота, индолил-3-уксусная кислота, 3-индолилмасляная кислота, 1-нафталинуксусная кислота, эпибрассинолид и наночастицы серебра обладали наиболее значительной корнестимулирующей активностью. На основе полученных данных созданы протоколы, лабораторные регламенты и методические указания.

Одно из важнейших направлений кафедры – разработка новых методик преподавания физиологии и биохимии растений, системной биологии, клеточной биологии и биотехнологии. В рамках данного направления сотрудники кафедры ведут активную работу по обновлению читаемых курсов, соответствующих современным мировым тенденциям развития биологической науки, а также внедрению новых дисциплин, созданию учебно-методических комплексов, написанию учебно-методических пособий.

За последние 5 лет были разработаны и внедрены в учебный процесс следующие дисциплины: «Клеточная биология» (доктор биологических наук В. В. Демидчик), «Введение в системную биологию» (кандидат биологических наук, доцент А. И. Соколик), «Культуры эукариотических клеток» (кандидат биологических наук, доцент Т. И. Дитченко), «Активные формы кислорода в жизни растений» (доктор биологических наук В. В. Демидчик), «Устойчивые агротехнологии и фитодизайн» (кандидат биологических наук, доцент О. Г. Яковец).

Издан ряд учебных и учебно-методических пособий:

1. Филицкова Г. Г., Молчан О. В. Фотосинтез : учеб. пособие. Минск : БГУ, 2017. 196 с. (с грифом УМО).
2. Филицкова Г. Г. Фотосинтез : метод. рекомендации к лаб. занятиям, задания для самостоят. работы и контроля знаний студентов биол. фак. Минск : БГУ, 2017. 40 с.
3. Юрин В. М. Ксенобиология : учебник. Минск : БГУ, 2015. 247 с. (с грифом МО Республики Беларусь).
4. Юрин В. М., Яковец О. Г., Дитченко Т. И. Ксеноэкология [Электронный ресурс] : пособие. Минск : БГУ, 2015. 218 с. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (с грифом УМО).

5. Юрин В. М., Кудряшов А. П., Филицова Г. Г. и др. Ксенобиология : метод. рекомендации к лаб. занятиям для студентов биол. фак. Минск : БГУ, 2015. 29 с.

6. Юрин В. М., Демидчик В. В., Филицова Г. Г. и др. Минеральное питание, физиология стресса и адаптации растений : метод. рекомендации к лаб. занятиям по курсу «Физиология растений» для студентов биол. фак. Минск : БГУ, 2014. 103 с. (с грифом УМО).

7. Юрин В. М. Биомедиаторы в растениях : учеб. пособие. Минск : БГУ, 2013. 199 с. (с грифом МО Республики Беларусь).

Кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений имеет прочные научные связи с Центральным ботаническим садом НАН Беларуси, Институтом биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси. Для более тесного сотрудничества и повышения эффективности научно-исследовательской и преподавательской деятельности в 2013 г. основан филиал кафедры в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси.

Кафедра активно сотрудничает с ведущими зарубежными научными центрами, участвует в выполнении крупных международных проектов.

В проекте Евросоюза FP7 IRSES «Plant DNA tolerance» партнерами кафедры являются научные учреждения Великобритании, Германии, Словакии, Чехии, Украины и России. К настоящему времени в рамках этого проекта установлены закономерности воздействия важнейших стресс-факторов на растения арабидопсиса и пшеницы на фоне различных доз гамма-облучения.

Кроме этого, выполняются работы по гранту Российского научного фонда для ведущих иностранных ученых «Стресс и автофагия у растений: регуляторная роль цитоплазматического калия и активных форм кислорода». Проведены измерения кривых выхода ионов радиоактивного изотопа ^{86}Rb из корней растений арабидопсиса, отличающихся экспрессией и функциональной активностью калиевых каналов.

Результаты научно-исследовательской работы сотрудников кафедры отражены в ряде зарубежных статей с высоким импакт-фактором:

1. Makavitskaya M., Svistunenko D., Navaselsky I., et al. Novel roles of ascorbate in plants: induction of cytosolic Ca^{2+} signals and efflux from cells via anion channels // J. Exp. Bot. 2018. DOI: 10.1093/jxb/ery056.

2. Demidchik V., Maathuis F., Voitsekhovskaja O. Unravelling the plant signalling machinery: an update on the cellular and genetic basis of plant signal transduction // Funct. Plant Biol. 2018. Vol. 45. P. 1–8.

3. Demidchik V., Shabala S. Mechanisms of cytosolic calcium elevation in plants: the role of ion channels, calcium extrusion systems and NADPH oxidase-mediated «ROS- Ca^{2+} Hub» // Funct. Plant Biol. 2018. Vol. 45. P. 9–27.

4. Sosan A., Svistunenko D., Straltsova D., et al. Engineered silver nanoparticles are sensed at the plasma membrane and dramatically modify physiology of *Arabidopsis thaliana* plants // Plant J. 2016. Vol. 85. P. 245–257.

5. Malachowska-Ugarte M., Sperduto C., Ermolovich Y. V., et al. Brassinosteroid-BODIPY conjugates: Design, synthesis, and properties // Steroids. 2015. Vol. 102. P. 53–59.

6. Straltsova D., Chykun P., Subramaniam S., et al. Cation channels are involved in brassinosteroid signalling in higher plants // Steroids. 2015. Vol. 97. P. 98–106.

7. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology // Environ. Exp. Bot. 2015. Vol. 109. P. 212–228.

8. Demidchik V., Straltsova D., Medvedev S. S., et al. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K^{+} -permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment // J. Exp. Bot. 2014. Vol. 65. P. 1259–1270.

9. Demidchik V. Mechanisms and physiological roles of K^{+} efflux from root cells // J. Plant Physiol. 2014. Vol. 171. P. 696–707.

В последние годы изданы следующие монографии:

1. Demidchik V. Reactive oxygen species and their role in plant oxidative stress / ed. S. Shabala // Plant Stress Physiology. Wallingford : CAB International, 2016 (in press).

2. Юрин В. М. Иммобилизованные клетки лекарственных растений. Саарбрюккен : LAP Lambert Acad. Publ., 2014. 130 с.

3. Демидчик В. В. Неселективные катионные каналы плазматической мембраны клеток корня высших растений. Минск : БГУ, 2014. 225 с.

Таким образом, на кафедре клеточной биологии и биоинженерии растений создана необходимая материальная база и есть достаточный интеллектуальный потенциал для развития целого ряда современных научных направлений, имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение.

Планируется, что дальнейшие научные исследования на кафедре будут связаны в первую очередь с установлением молекулярно-клеточных основ стрессоустойчивости и продуктивности растений,

созданием новых эффективных биотехнологий и систем анализа на основе культур клеток растений, а также с разработкой и оптимизацией современных методов микроклонального размножения декоративных растений.

Одной из первоочередных задач является раскрытие первичных механизмов рецепции и усиления стрессовых и гормонально-регуляторных сигналов на плазматической мембране растительной клетки в связи с их функцией в запуске иммунных реакций, стресс-адаптации и кодировании программ развития растительного организма. Будут определены генетические и клеточные детерминанты регуляции интенсивности потоков макро- и микроэлементов минерального питания растений в целях контроля и программирования урожайности важных для сельского хозяйства Беларуси культурных растений.

*Г. Г. Филиппова¹, В. М. Юрин²,
А. И. Соколик³, В. В. Демидчик⁴*

¹*Галина Григорьевна Филиппова* – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета Белорусского государственного университета.

Halina G. Filiptsova, PhD (biology), docent; associate professor at the department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology, Belarusian State University.
filiptsova@bsu.by

²*Владимир Михайлович Юрин* – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета Белорусского государственного университета.

Vladimir M. Yurin, doctor of science (biology), full professor; professor at the department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology, Belarusian State University.
yurin@bsu.by

³*Анатолий Иосифович Соколик* – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета Белорусского государственного университета.

Anatoliy I. Sokolik, PhD (biology), docent; associate professor at the department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology, Belarusian State University.
sokolik@bsu.by

⁴*Вадим Викторович Демидчик* – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета Белорусского государственного университета.

Vadim V. Demidchik, doctor of science (biology), docent; head of the department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology, Belarusian State University.
demidchik@bsu.by