

Заключение. Полученные данные доказывают, что в ходе эволюции ферменты пентозофосфатного пути в ряду моллюск → крыса → человек сохранялись у всех трех организмов.

Трансальдолаза является ключевым ферментом биосинтеза рибозо-5-фосфата из продуктов гликолиза. Это единственный фермент крысы и моллюска, у которого показатели гомологии и сходства имеют наивысшее значение. Дефицит данного фермента приводит к заболеваниям печени. Это дает возможность предположить о протекании схожих процессов в печени позвоночных и гепатопанкреасе легочных пресноводных моллюсков.

Кроме этого, наличие одних и тех же ферментов доказывает общее происхождение биохимии пентозофосфатного пути у модельных организмов. Довольно высокий уровень сходства первичных последовательностей у человека и моллюска, предполагает использование беспозвоночных животных, в частности *L. stagnalis* и *P. corneus*, в лабораторной диагностике для исследования метаболизма и исследования влияния химических факторов на него.

Литература

1. Amorim J. et al. *Lymnaea stagnalis* as a freshwater model invertebrate for ecotoxicological studies // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Т. 669. – С. 11.
2. Choi M. J. et al. Molecular characterization of four genes encoding abalone insulin-related peptides and their roles in regulation of hemolymph glucose in the Pacific abalone *Haliotis discus hannai* // *Aquaculture*. – 2023. – Т. 577. – С. 739992.
3. Пинчук, П.Ю. Кинетические свойства лактатдегидрогеназы печени крыс и гепатопанкреаса легочных пресноводных моллюсков / П.Ю. Пинчук // *Новости медико-биологических наук: труды международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные науки – медицине»*, Минск, 2024 г. – Т. 24. – № 3. – С. 101–102.

АНАЛИЗ МЕТАБОЛИТНЫХ ПРОФИЛЕЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛУГОВЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ

*Г.А. Пожванов^{1, 2}, К.В. Щукина¹, Н.С. Ликсакова¹, А.П. Кораблёв¹,
О.В. Созинов^{1, 3},*

¹ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ ГрГУ имени Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь, pozhdanov@binran.ru

Глобальное изменение климата приводит к изменению локальных условий местообитаний, и, как следствие, смещению ареалов различных видов растений. Вместе с тем, распространение инвазивных видов растений может получать неожиданный импульс благодаря сдвигу локальных экологических условий в сторону оптимума. Возможности адаптации растений к условиям местообитания проявляются ранее всего на уровне регуляции работы (и состояния) фотосинтетического аппарата и следующих за этим биохимических изменений, выражающихся в качественном и количественном содержании низкомолекулярных первичных метаболитов.

Материал и методы. Объектом исследования служили цветковые растения на пяти пробных площадях 100 м², расположенных равномерно с интервалом в 10 м вдоль трансекты длиной 110 м, – модели зарастающего луга на пологом склоне (3,6°) южной экспозиции (луговая катена озёрной долины) на территории НОС

«Отрадное» Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в Приозерском районе Ленинградской области (Россия). По данным геоботанических описаний [1] нами выбраны шесть доминирующих видов цветковых растений (не менее 8 экземпляров на пробную площадь) со встречаемостью во всех пяти пробных площадях: *Alopecurus pratensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Geranium pratense* L., *Geum rivale* L. и инвазивный вид *Lupinus polyphyllus* Lindl. На верхних полностью развитых листьях регистрировали показатели состояния фотосинтетического аппарата методом импульсной модулирующей флуориметрии (РАМ) портативным прибором Junior РАМ (Walz, Германия) на пяти максимально удалённых друг от друга экземплярах модельных растений на каждой пробной площади. Для этого после темновой адаптации в течение 30 мин. производили регистрацию световых кривых и фиксировали показатели: квантовый выход фотосистемы II (F_v/F_m), поток электронов через фотосистемы (ETR), фотохимическое тушение (qP) и нефотохимическое тушение (NPQ, рассеяние поглощённой световой энергии в виде тепла пигментами виолаксантинового цикла). Половину листа слева от центральной жилки либо центральную часть сложного листа замораживали в жидком азоте, затем гомогенизировали на шаровой вибрационной мельнице, экстрагировали низкомолекулярные метаболиты смесью метанол-хлороформ-вода (5:2:2, об./об.), экстракты высушивали в вакуумном центрифужном испарителе Labconco CentriVap, сухую плёнку экстракта растворяли в пиридине, подвергали двухэтапной химической дериватизации с метоксиамингидрохлоридом и метилсилилтрифторацетамидом для получения летучих производных, которые анализировали методом газовой хроматографии–масс-спектрометрии на приборе Agilent 6850 GC / 5975B VL MSD с автоматическим пробоотборником Agilent G4513A. Файлы хроматограмм подвергали пакетному анализу в MS-DIAL 4.92 с автоматической идентификацией производных метаболитов по базам данных NIST, Golm Metabolome Database и собственной in-house базе данных масс-спектров. Матрицу концентраций производных метаболитов анализировали методом PLS-DA (метод частичных наименьших квадратов – дискриминантный анализ) в Metaboanalyst.

Результаты и их обсуждение. Анализ метаболитных профилей листьев выявил более 120 метаболитов, принадлежащих к органическим кислотам, аминокислотам, моно-, ди- и трисахаридам, сахароспиртам, фенольным соединениям и жирным кислотам. Сравнительный анализ методом PLS-DA совокупности метаболитов, идентифицированных в листьях отдельных видов растений, позволил выявить определённый паттерн накопления метаболитов в зависимости от условий местообитания (положение пробной площади на трансекте) у всех исследованных растений, кроме *Geranium pratense* и *Lupinus polyphyllus*. Так, в листьях *Filipendula ulmaria* содержание всех без исключения метаболитов увеличивалось по мере приближения к области максимального обилия на трансекте (нижняя часть трансекты с максимальным увлажнением). Наибольший вклад в различия по химическому составу внесли такие метаболиты, как янтарная, γ -аминомасляная, треоновая, глицериновая, лимонная, галловая и яблочная кислоты, а также аланин и фруктозо-6-фосфат. Данные метаболические особенности были поддержаны максимальными фотохимическим тушением и потоком электронов через фотосистемы (ETR), что свидетельствует об оптимальных условиях для работы фотосинтетического аппарата. Паттерн накопления метаболитов у злаков более стохастичен, при этом органические кислоты также накапливались в большей степени в нижней части трансекты (наиболее увлажнённой), а основные различия относительно исследованных фитоценозов, на наш взгляд, обусловлены содержанием моносахаридов. Моносахариды накапливались в листьях *Alopecurus pratensis* верхней части трансекты, однако накопление аланина приурочено к наиболее влажному местообитанию, аналогично *Filipendula ulmaria*. Листья *Dactylis glomerata* имели максимальный уровень сахарозы, фруктозо-6-фосфата, сахароспиртов и некоторых моносахаридов в средней части

профиля, что соответствовало наибольшему обилию этого вида в фитоценозе. При этом метаболитные профили *Lupinus polyphyllus* не имели выраженной корреляции с занимаемым местообитанием. Анализ метаболитных профилей методом главных компонент показал, что доля дисперсии, обусловленной индивидуальными различиями среди растений люпина, выше, чем доля дисперсии, связанной с положением на экологическом профиле. Аналогично и показатели состояния фотосинтетического аппарата в листьях люпина не показывали различий вдоль трансекты (катены), за исключением квантового выхода фотосистемы II, сниженного на 16% в наиболее влажной части трансекты. При этом у остальных исследованных видов квантовый выход фотосистемы II, фотохимическое тушение и ETR достигали наибольших значений при наибольшем обилии исследованных видов растений. Более того, накопление сахаров и фруктозо-6-фосфата в листьях свидетельствует о том, что в фотосинтез в середине дня идёт с опережающей скоростью, отток ассимилятов затруднён и лимитирован флоэмным транспортом сахаров. У люпина наблюдается отсутствие выраженного ответа и метаболитного профиля, и показателей состояния фотосинтетического аппарата, то есть *Lupinus polyphyllus* одинаково успешен в любых условиях в пределах катены. Однако полученных нами данных недостаточно для объяснения биохимической и физиологической основы такой адаптации.

Заключение. Проведённая работа по изучению метаболитных профилей и показателей фотосинтетического аппарата растений-доминантов луговой катены НОС Отрадное (Ленобласть РФ) показала, что отдельные группы низкомолекулярных метаболитов листа, а также квантовый выход фотосистемы II, фотохимическое тушение и ETR могут служить маркерами физиологического состояния листьев растений в зависимости от локальных экологических условий. Инвазивный вид *Lupinus polyphyllus* не подчиняется данной закономерности, однако точный механизм адаптации выявить пока не представляется возможным. Полученные данные могут быть востребованы при оценке состояния популяций растений в природных луговых сообществах и агроценозах с помощью мультиспектрального и РАМ-имиджинга.

Литература

1. Флуктуации эколого-ценотических характеристик растительности луговой катены (Карельский перешеек) / О.В. Созинов, К.В. Щукина, А.П. Кораблев [и др.] // Ботанический журнал. – 2022. – Т. 107, № 11. – С. 1067–1082. – DOI 10.31857/S0006813622110060. – EDN BWXJWV.

ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ, ТУИ ЗАПАДНОЙ И ДУШИЦЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

В.А. Токарев

ГрГУ имени Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь, beerpak@mail.ru

Микроскопические грибы наносят материальный ущерб от повреждения бумаги и неподдающийся оценке ущерб, связанный с невозможной утратой важных для науки, искусства, истории культуры рукописных и печатных текстов [2]. В этой связи актуальным является поиск фунгицидных средств защиты бумаги от плесени. Эфирные масла, являясь фармакологически активным действующим веществом, обладают наибольшей антисептической активностью, подавляют рост плесневых грибов, замедляют формирование кандидозных биоплёнок, вместе с тем низкотоксичны, не формируют резистентность микроорганизмов, обладают минимальным перечнем побочных эффектов [3].