

**Анализ лимитирующих факторов фиксации CO<sub>2</sub> в листьях ячменя, выращенных на свету различного спектрального состава.**

**Научный руководитель – Аверчева Ольга Владимировна**

**Анисина Александра Андреевна**

*Студент (бакалавр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Кафедра физиологии растений, Москва, Россия

*E-mail: Deoxyribose01@yandex.ru*

Предметом изучения в нашей работе являлось влияние света различного спектрального состава на биохимические факторы, ограничивающие ассимиляцию CO<sub>2</sub> растениями, такие как активность Рубиско, скорость регенерации рибулозо-бисфосфата и отток продуктов фотосинтеза. Исследования проводились на 9-дневных проростках ячменя (*Hordeum vulgare* L., сорт «Луч»), выращенных при освещении узкополосными светодиодными светильниками красного и синего цветов (655 нм и 479 нм соответственно). В качестве контрольной группы использовались проростки, выросшие под белыми люминисцентными лампами. Количество фотосинтетически активной радиации на уровне верхушек листьев составило 70 мкмоль/(м<sup>2</sup> с). Фотопериод, температура и другие условия выращивания для всех трех групп были идентичны.

В ходе эксперимента мы использовали инфракрасный газоанализатор в составе системы CIRAS-3 (PP Systems, США) для детектирования изменений концентраций CO<sub>2</sub> и водяного пара в кювете с листом при подаче туда разного количества углекислого газа. После чего для каждой точки были рассчитаны такие параметры газообмена, как уровень ассимиляции CO<sub>2</sub> и его концентрация в подустьичном пространстве. Зависимость первой величины от второй была аппроксимирована уравнениями модели S. von Caemmerer and G.D. Farquhar [1]. Исходя из этого для каждой кривой были рассчитаны следующие параметры: V<sub>Cmax</sub> - максимальная активность рибулозобисфосфат-карбоксилазы/оксигеназы, J<sub>max</sub> - максимально возможный уровень электронного транспорта, Rd - темновое дыхание, TPU - отток триозофосфатов из хлоропласта и Ci t - концентрация CO<sub>2</sub> в подустьичном пространстве, при которой ограничение активностью рубиско сменяется ограничением регенерации рибулозо-бисфосфата.

Было показано, что растения, выросшие на синем свету, характеризуются более высоким уровнем ассимиляции, выросшие на красном - более низким, чем контрольные. Также мы установили, что растения, выращенные на красном свету, характеризуются пониженной активностью рубиско (V<sub>Cmax</sub>), близким к 0 уровнем темнового дыхания (Rd). Также можем заметить, что у таких растений переход от лимитирования ассимиляции работой рубиско к ее ограничению скоростью регенерации рибулозо-бисфосфата происходит при более высокой концентрации CO<sub>2</sub> в подустьичном пространстве (Ci t). Растения, выросшие на синем свету, не имеют значимых отличий от контрольных по этим параметрам. Скорость регенерации рибулозо-бисфосфата (J<sub>max</sub>) различается у всех трех групп растений. У растений, выращенных на синем свету, она наибольшая, у выращенных на красном - наименьшая. Ограничение ассимиляции оттоком продуктов фотосинтеза - триозофосфатов (TPU) наблюдалось не у всех растений. Чаще всего оно наблюдалось у растений, выращенных на белом свету, реже - на красном, еще реже - на синем.

**Источники и литература**

- 1) Caemmerer S. von, Farquhar G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves // *Planta*. 1981. V. 153, № 4. P. 376–387.

## МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПРОРОСКОВ РИСА (*Oryza sativa*) В УСЛОВИЯХ КИСЛОРОДНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Научный руководитель – Емельянов Владислав Владимирович

*Богданова Е.М.<sup>1</sup>, Ванисов С.А.<sup>2</sup>*

1 - Санкт-Петербургский государственный университет, Биологический факультет, Санкт-Петербург, Россия, *E-mail: bogdanova.ekaterina15@gmail.com*; 2 - Санкт-Петербургский государственный университет, Биологический факультет, Санкт-Петербург, Россия, *E-mail: s.vanisov@mail.ru*

В настоящем исследовании с помощью ГХ-МС было проведено метаболическое профилирование побегов и корней проростков риса в условиях кислородной недостаточности. Метаболом побегов риса включал около 200 метаболитов, из которых 72 было идентифицировано. К их числу относится 21 аминокислота, 10 карбоновых кислот, 8 жирных кислот и их производных, а также азотистые основания, сахароспирты и фенолы. В метаболитных профилях побегов наиболее широко были представлены сахара (21), включая пентозы, гексозы и олигосахариды. Метаболом корней оказался более многочисленным и насчитывал около 400 соединений, из которых 183 было идентифицировано. Среди них были представлены аминокислоты (27), 18 азотсодержащих метаболитов (азотистые основания, АМФ, ди- и полиамины), 19 карбоновых кислот, 36 жирных кислот и производных, а также терпеноиды и фенолы. Доминирующими веществами в метаболоме корней были углеводы, причем их было более 60, среди них было 28 олигосахаридов, 11 гексоз, 13 пентоз, а также полиолы и кислоты окисления сахаров, включая аскорбат.

Для выявления сходств и различий метаболомов проростков риса при разных режимах аэрации был применен метод главных компонент (РСА). В ходе нормального развития в темноте (нормоксия) происходило последовательное изменение метаболитных профилей. То же касается и действия краткосрочной аноксии в первые 6 ч. Увеличение времени воздействия приводило к более сильному обособлению метаболомов. Только после 12-24 ч аноксии метаболомы опытного и контрольного варианта существенно различались. Так же, как и в побеге, изменения метаболитных профилей при нормоксии и аноксии в корнях происходили в разных направлениях. В темновом контроле происходило постепенное изменение метаболомов, а изменения при аноксии были более дискретными. После краткосрочных воздействий (1-3 ч) метаболомы группировались вместе, затем выделялись кластеры 6 ч и 12-72 ч воздействия. Полученные для побегов и корней данные свидетельствуют о переходе на анаэробный обмен между 6 и 24 ч действия аноксии.

Для выявления специфичных для аноксии метаболитов был проведен дискриминантный анализ ортогональными проекциями на латентные структуры (OPLS-DA), который выявил, что аноксия приводила к снижению уровня сахаров, в первую очередь сахарозы, гексоз и их фосфатов. Также уменьшалось содержание трикарбоновых кислот цикла Кребса (цитрата и аконитата) и насыщенных жирных кислот. Накапливались при краткосрочной аноксии аминокислоты, такие стрессовые метаболиты, как Про, Ала и ГАМК. Про участвует в осмотической адаптации при засухе, засолении и других воздействиях. Ала образуется при переаминировании пировиноградной кислоты, а ГАМК образуется в ходе утилизации Глн при реокислении НАД(Ф)Н. Повышался уровень диаминов и метаболитов гликолиза и брожений - глицерата и лактата. Таким образом, выявлено своеобразие метаболитных профилей побегов и корней проростков риса и их последовательное изменение при действии аноксии.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-24-00484.

**Биотехнологический потенциал зеленой микроводоросли *Coelastrella* sp. IPPAS H-626****Научный руководитель – Аллахвердиев Сулейман Ифхан-оглы*****Заднепровская Елена Вадимовна****Аспирант*

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

*E-mail: zadneprovskaya@ifr.moscow*

Зеленые микроводоросли используются в биотехнологическом производстве из-за быстрого роста, способности продуцировать большое количество триглицеридов, а также высокого содержания жирных кислот разной насыщенности [1].

Штамм *Coelastrella* sp. IPPAS H-626 из коллекции микроводорослей и цианобактерий IPPAS ИФР РАН был выделен из лишайника *Cladonia* sp. в 1991 году, где эпифитировал на симбиотическом организме.

Было исследовано влияние голодания по азоту и магнию на рост и накопление клетками штамма H-626 липидов и крахмала. При интенсивном культивировании в течение трех дней (среда Тамия $\frac{1}{2}$ , Тамия $\frac{1}{2}$ -N, Тамия $\frac{1}{2}$ -Mg, 27°C, 110 мкмоль фотонов м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>, аэрация стерильной газовой смесью с CO<sub>2</sub> 1,5-2%) в контроле было получено 2,93±0,03 г/л сухой биомассы, а также 1,43±0,029 г/л и 3,22±0,18 г/л при отсутствии N и Mg, соответственно.

Общее содержание липидов в контроле составило 80,52 мг/г, при N голодании - 288,22 мг/г, Mg - 143,41 мг/г сухой массы. Штамм H-626 содержит основные жирные кислоты (ЖК), характерные для зелёных водорослей: пальмитиновая (16:0), стеариновая (18:0), олеиновая (18:1Δ9), линолевая (18:2Δ9,12), α-линоленовая (18:3Δ9,12,15). В контрольной культуре они составляют 86,6% от суммы всех ЖК.

Доминирующая ЖК в контроле - α-линоленовая кислота (26,4±0,5%), ее содержание снижается при N (12,1±0,3%) и Mg (16,6±0,9%) голодании. В условиях голода увеличивается содержание олеиновой кислоты (20,1±0,2% - контроль, 40,4±0,1% -N, 33,4±0,8% -Mg). Олеиновая кислота - основной компонент триаглицеридов (ТАГ), которые содержатся в клетках микроводорослей в виде липидных тел. Накопление ТАГ - незаменимый способ сохранения гомеостаза клетки в изменяющихся условиях среды [2,3].

Также штамм IPPAS H-626 склонен запасать крахмал. Содержание углеводов на полной среде достигло 154,43 мг/г сухой массы; 252,43 мг/г (-N) и 350,53 мг/г (-Mg).

Учитывая характеристики роста, профиль жирных кислот и способность к активному накоплению крахмала, штамм *Coelastrella* sp. IPPAS H-626 может рассматриваться в качестве сырья для производства биотоплива, а также как потенциальный продуцент незаменимых жирных кислот.

**Источники и литература**

- 1) Goncalves E.C., Wilkie A.C., Kirst M., Rathinasabapathi B. Metabolic regulation of triacylglycerol accumulation in the green algae: identification of potential targets for engineering to improve oil yield // Plant. Biotechnol. J. 2016. V. 14. P. 1649.
- 2) Li-Beisson Y., Thelen J.J., Fedosejevs E., Harwood J.L. The lipid biochemistry of eukaryotic algae // Progress in Lipid Research. 2019. V. 74, P. 31-68.

- 3) Siaux M., Cuine S., Cagnon C., Fessler B., Nguyen M., Carrier P., Beyly A., Beisson F., Triantaphylides C., Li-Beisson Y. et al. Oil accumulation in the model green alga *Chlamydomonas reinhardtii*: characterization, variability between common laboratory strains and relationship with starch reserves // BMC Biotechnol. 2011. V. 11. P. 7.

**Молекулярное клонирование нитратного транспортера SaNRT1.1/NPF6.3 эугалофита *S. altissima* (L.) Pall. и исследование его экспрессии****Научный руководитель – Балнокин Юрий Владимирович****Коношенкова Алена Олеговна***Студент (бакалавр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Кафедра физиологии растений, Москва, Россия

*E-mail: alenakonoshenkova@gmail.com*

Семейство нитратных транспортеров NRT/NPF растений включает локализованные в плазмалемме белки, транспортирующие в симпорте с протоном нитрат, нитрит, пептиды, аминокислоты, глюкозинолаты, ауксины, АБК и гиббереллины. С помощью RACE определена и затем клонирована полноразмерная нуклеотидная последовательность кДНК нитратного транспортера *Suaeda altissima* SaNRT1.1. Филогенетический анализ и выравнивание клонированной последовательности показывает, что SaNRT1.1 принадлежит семейству транспортеров NRT1/PRT. В аминокислотной последовательности белка SaNRT1.1 присутствуют мотивы, свойственные транспортерам этого семейства, в частности мотив E<sub>xx</sub>ER (EACER), участвующий в связывании протона и сопряжении анион-протонного транспорта, а также консервативный а.о. треонина на N-конце белка в положении 106 (Thr106). SaNRT1.1 наиболее сходен с охарактеризованными ранее двааффинными нитратными транспортерами AtNPF6.3, MtNRT1.3 и OsNRT1.1A, а также с низкоаффинным нитратным транспортером ZmNPF6.4.

В работе исследовали экспрессию SaNRT1.1 в органах *S. altissima* и транспортную функцию белка, кодируемого этим геном. Для этого осуществили гетерологическую экспрессию SaNRT1.1 в нокаут-мутанте дрожжей *Hansenula polymorpha*  $\Delta$ ynt1 по единственному гену семейства NPF/NRT - двааффинному транспортеру YNT1, участвующему в поглощении нитрата из окружающей среды. Нокаут гена YNT1 приводит к подавлению роста мутанта  $\Delta$ ynt1 на минимальных средах, содержащих нитрат (0.2-5 мМ) в качестве единственного источника азота.

Для проведения функциональной комплементации получен дрожжевой делеционный мутант  $\Delta$ ynt1 на основе штамма DL1. Положительным контролем комплементации мутации  $\Delta$ ynt1 служил NPF6.3 (NRT1.1/CHL1), клонированный из *Arabidopsis thaliana*. Экспрессия AtNPF6.3 приводила к восстановлению роста мутанта  $\Delta$ ynt1 на минимальных средах, содержащих NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (SD, 0.2-5 мМ), до уровня дикого типа. Частичное восстановление роста мутанта на селективных средах наблюдалось в результате экспрессии SaNRT1.1, что указывает на возможное участие белка SaNRT1.1 в транспорте ионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Для дальнейшего изучения физиологической роли SaNRT1.1 исследовали относительную представленность транскриптов гена SaNRT1.1 в органах *S. altissima*. SaNRT1.1 экспрессируется как в корнях, так и в листьях *S. altissima*, наибольший относительный уровень экспрессии наблюдали в корнях. Экспрессия SaNRT1.1 достоверно не изменялась (1) в условиях стационарного засоления в ряду концентраций NaCl (0, 250 и 750 мМ NaCl) при разной доступности нитрата (0.5/15 мМ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) в среде культивирования; (2) при добавлении 5 мМ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> в питательную среду с низкой концентрацией нитрата (0.5 мМ).

Высокий уровень экспрессии SaNRT1.1 в органах эугалофита при разной доступности нитрата в среде культивирования, а также частичная комплементация мутации  $\Delta$ ynt1 свидетельствуют в пользу того, что SaNRT1.1 является ортологом AtNPF6.3 и выполняет сходную физиологическую функцию у *S. altissima*, в частности участвует в поглощении

нитрата.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда №22-74-00051.

**Влияние сочетанного действия переменного магнитного поля и  
низкочастотной вибрации на рост и развитие кукурузы сахарной (*Zea mays*  
L.)**

**Научный руководитель – Корниенко Владимир Олегович**

**Котюк Полина Федоровна**

*Студент (магистр)*

Донецкий национальный университет, Биологический факультет, Кафедра биофизики,  
Донецк, Россия

*E-mail: pkotyuk01@mail.ru*

В настоящее время влияние физических факторов антропогенного происхождения на растительные организмы приобретает актуальное значение в рамках вопросов экологической безопасности. Сочетанное же влияние антропогенных факторов зачастую негативно отражается на ростовых процессах растительных организмов.

Результаты ранее проведенных экспериментов [2; 3] показали, что действие переменного магнитного поля на семена кукурузы сахарной «Пролетарская» (элита) с экспозицией 15, 30, 45 и 60 минут отражается на ранних стадиях онтогенеза растений, как положительно, так и отрицательно.

В ходе эксперимента семена кукурузы подвергались обработке в переменном магнитном поле (ПеМП), при постоянном значении магнитной индукции 1 мТл и в диапазоне частот от 10 Гц до 50 Гц с шагом 10 Гц, в течение 1 часа. Так же были сформированы дополнительные выборки, для изучения сочетанного действия, которые подвергались низкочастотной вибрации (В) с частотой колебаний 8 Гц. Каждая выборка состояла из 50 семян в 3-кратной повторности. Семена обрабатывались в сухом состоянии, после чего образцы помещались в ростовые камеры. Полив производился исключительно дистиллированной водой. Температура внутри ростовой камеры +20 °С. Энергию прорастания семян определяли на 3-е сутки, всхожесть - 8-е сутки, согласно срокам, указанным в ГОСТ 12038-84 [1]. На 8-е сутки измеряли среднюю длину стебля и главного корня в каждой из выборок. Все полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики с использованием пакета компьютерных программ «Statistica».

В результате исследований нами установлены экологически безопасные параметры переменного магнитного поля ( $B = 1$  мТл;  $f_{\text{ПеМП}}$  от 10 до 50 Гц) на семена кукурузы сахарной. Некоторые полученные схемы обработки семян магнитным полем ( $B = 1$  мТл;  $f_{\text{ПеМП}} = 30$  Гц и 50 Гц) можно рекомендовать для предпосевной обработки *Zea mays* L. как наиболее оптимальные.

Однако, исходя из результатов проделанной работы, можно сделать вывод о сложной реакции растений в системе «эффект/доза» на сочетанное действие низкочастотной вибрации и переменного магнитного поля. Из опробованных параметров оптимальными для предпосевной обработки являются следующие:  $f_{\text{ПеМП}} = 40$  Гц +  $f_{\text{вibr.}} = 8$  Гц и  $f_{\text{ПеМП}} = 50$  Гц +  $f_{\text{вibr.}} = 8$  Гц с временем экспозиции в каждой среде 1 час.

**Источники и литература**

- 1) ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа: сб. ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 47 с.
- 2) Корниенко В.О., Котюк П.Ф., Яицкий А.С. Влияние переменного магнитного поля (1–14 мТл) на рост и развитие кукурузы сахарной // Современная наука: актуальные



проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 11. С. 17-23. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.11.12.

- 3) Корниенко В.О., Котюк П.Ф., Яицкий А.С. Влияние переменного магнитного поля с различным временем экспозиции на рост и развитие кукурузы сахарной (*Zea mays L.*) // Естественные и технические науки. 2021. № 11 (162). С. 57-61. DOI: 10.25633/etn.2021.11.02

**Ростингибирующее действие и распределение никеля у растений *Noccaea caerulea* и *Microthlaspi perfoliatum*****Научный руководитель – Серегин Илья Владимирович*****Лыкова Татьяна Юрьевна****Студент (магистр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Кафедра физиологии человека и животных, Москва, Россия

*E-mail: renard.roux@mail.ru*

В настоящее время известно более 700 видов растений гипераккумуляторов, способных к избирательному накоплению металлов в надземных органах. Растения гипераккумуляторы являются металлофитами - устойчивыми к металлам видами, способными выживать и размножаться на металлоносных почвах. Гипераккумулятор цинка, кадмия и никеля *Noccaea caerulea* является модельным видом для изучения феномена гипераккумуляции. Несмотря на то, что *Microthlaspi perfoliatum* не относится к гипераккумуляторам Ni, растения этого вида способны накапливать значительные количества этого металла. Поэтому принципиально важно провести сравнительный анализ устойчивости растений этих видов к Ni. С этой целью в настоящей работе оценивалось токсическое действие и распределение Ni у растений этих двух видов. Проращивание семян и эксперименты проводили в климатической камере (20°C/15°C день/ночь, 14-часовой световой день, влажность - 75%). Растения выращивали на 0,5 N раствора Хогланда в течение 8 недель в присутствии сульфата Ni в разных концентрациях [20-800 мкМ (*N. caerulea*, популяция Wilwerwiltz) и 5-160 мкМ (*M. perfoliatum*)]. Проявление токсического действия Ni оценивали по ингибированию роста корня, изменению содержания воды, сухой и сырой биомассы корней и побегов, а также по изменению содержания фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений обоих видов определяли с помощью спектрофотометрии по стандартной методике. Распределение Ni по тканям корня и побега оценивали гистохимическим методом с использованием металлохромного индикатора диметилглиоксима.

Достоверное ингибирование роста корня у *N. caerulea* наблюдалось при 400 мкМ Ni, тогда как у *M. perfoliatum* - уже при 160 мкМ Ni. Снижение сырой и сухой биомассы корней и побегов, а также содержания воды в обоих органах у *N. caerulea* также прослеживалось начиная с 400 мкМ Ni в среде, тогда как у *M. perfoliatum* заметное уменьшение сырой и сухой биомассы корня наблюдалось начиная с 80 мкМ Ni, а биомассы побегов - даже при более низкой концентрации Ni в растворе. Снижение содержания фотосинтетических пигментов у *N. caerulea* наблюдалось при концентрации Ni от 200 мкМ и выше, что сопровождалось признаками межжилкового хлороза. У *M. perfoliatum* уменьшение содержания пигментов отмечалось уже при 10-20 мкМ Ni и сопровождалось усилением хлороза и появлением некротических участков при увеличении концентрации металла в среде. Как у *N. caerulea*, так и у *M. perfoliatum* Ni выявлялся главным образом в проводящих тканях, а также в клетках верхней и нижней эпидермы листьев. В мезофилле содержание Ni было существенно ниже. В корнях обоих видов Ni был обнаружен в клетках ризодермы, коры, тканях центрального цилиндра, а также в апикальных участках, с чем может быть связано ингибирование роста корня.

Таким образом, растения популяции Wilwerwiltz гипераккумулятора *N. caerulea* оказались более устойчивыми к Ni по сравнению с *M. perfoliatum*. Накопление Ni в покровной

ткани листа можно рассматривать в качестве одного из механизмов детоксикации Ni, ограничивающего поступление Ni в клетки мезофилла и его влияние на фотосинтетический аппарат растений.

Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда (проект № 21-14-00028).

## Карбоангидразная система гранальных тилакоидов *Arabidopsis thaliana*

Научный руководитель – Хорошаева Татьяна Петровна

*Маркин Роман Валерьевич*

*Выпускник (магистр)*

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

*E-mail: romanmarkin998@gmail.com*

Карбоангидраза (КА) - фермент, катализирующий обратимое взаимопревращение  $\text{CO}_2$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Для многих растительных КА предполагается важная роль в процессах фотосинтеза. В гранальных тилакоидах выявлено не менее 2х источников КА активности, различающихся по молекулярной массе [2]. Одна из них активна в денатурирующих условиях проведения электрофореза. Существуют данные, указывающие на то, что это  $\alpha$ -КА2 и/или  $\alpha$ -КА4 [4].  $\alpha$ -КА5 выявлена в стромальных тилакоидах [3], но нельзя исключать, что она может присутствовать и в гранальных. Целью данной работы было охарактеризовать источники КА активности гранальных тилакоидов, выделенных из растений *Arabidopsis thaliana* дикого типа и с нокаутированным геном  $\alpha$ -КА2,  $\alpha$ -КА4 или  $\alpha$ -КА5. При помощи ступенчатого центрифугирования и использования детергентов были разделены источники КА активности гранальных тилакоидов:

- Мембраны гранальных тилакоидов содержали источник КА активности, выявляемый в высокомолекулярной области при нативном электрофорезе. Ранее было установлено, что он представляет собой отдельный белок, а не белковый комплекс [1]. Низкотемпературная флуоресценция и соотношение хлорофилла а/б указывает, что препарат не содержит примеси стромальных тилакоидов.

- После осаждения мембран, супернатант содержал низкомолекулярную КА, активную в денатурирующих условиях проведения электрофореза.

Оба источника КА активности присутствовали в препаратах, полученных из всех исследованных генотипов. Следовательно, гранальные тилакоиды могут содержать иные КА помимо  $\alpha$ -КА2,  $\alpha$ -КА4 и  $\alpha$ -КА5.

На данном этапе ведется работа по идентификации обеих КА при помощи масс-спектрометрии.

### Источники и литература

- 1) Маркин Р.В., Федорчук Т.П. Характеристика карбоангидразы гранальных тилакоидов *Arabidopsis thaliana* // Сборник докладов 25-ой Пущинской школы-конференции молодых ученых с международным участием "БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА"
- 2) Ignatova L.K., Rudenko N.N., Mudrik V.A., Fedorchuk T.P., Ivanov B.N. Carbonic anhydrase activity in *Arabidopsis thaliana* thylakoid membrane and fragments enriched with PSI or PSII // Photosynth Res. 2011. V. 110. P. 89-98.
- 3) Fedorchuk T.P., Kireeva I.A., Opanasenko V.K., Terentyev V.V., Rudenko N.N., Borisova-Mubarakshina M.M., Ivanov B.N. Alpha Carbonic Anhydrase 5 Mediates Stimulation of ATP Synthesis by Bicarbonate in Isolated *Arabidopsis* Thylakoids // Front Plant Sci. 2021. V. 26. 12:662082.
- 4) Zhurikova E.M., Ignatova L.K., Rudenko N.N., Mudrik V.A., Vetoshkina D.V., Ivanov B.N. Participation of Two Carbonic Anhydrases of the Alpha Family in Photosynthetic Reactions in *Arabidopsis thaliana* // Biochemistry (Mosc). 2016. V. 81. P. 1182-1187.

## Опыт выращивания пачули (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.) aeropонным способом

Научный руководитель – Мартиросян Юрий Цатурович

*Мягкова Евгения Романовна*

*Студент (бакалавр)*

Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева,  
Агрономии и биотехнологии, Генетики и биотехнологии, Москва, Россия

*E-mail: myagkovaevg@yandex.ru*

Пачули (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.) — многолетнее травянистое растение, произрастающее в Южной и Юго-Восточной Азии [1,2]. Оно является источником эфирного масла для парфюмерной промышленности, а также многих ценных метаболитов, обладающих антисептическими, противовоспалительными и другими полезными свойствами [1]. Повысить рентабельность данной культуры, а также обеспечить ей возможность культивирования на территории России поможет выращивание пачули в контролируемых условиях aeropонного фитотрона.

Экспланты в виде пазушных почек пачули вводили в культуру *in vitro*, предварительно стерилизовав с помощью 70% этанола в экспозиции 1 мин и 1% перекиси водорода в экспозиции 3 мин и промыв стерильной дистиллированной водой. Затем их высаживали на питательную среду по прописи МС с добавлением 0,5 мг/л НУК и 1 мг/г 6-БАП для индукции каллусогенеза. После полученный каллус разделяли и пересаживали на среду для регенерации МС с добавлением 0,1 мг/л НУК и 1 мг/л кинетина. Через 2 месяца после введения в культуру *in vitro* выровненные клоны адаптировали к условиям *ex vitro* с помощью гидропонной установки при 90% влажности, интенсивности освещённости 100 ммоль/м<sup>2</sup>с под полноспектральными светодиодными светильниками с фотопериодом 12 ч/сут. Использовали питательный раствор, разработанный нами, с рН 5,8-6,0 и Ес 0,8-1,0 мСм/см. Через 7 суток растения пересаживали в aeropонный фитотрон на данный питательный раствор с 5,5-5,8 и Ес 1,5-2 мСм/см. Интенсивность освещённости составляла 400 ммоль/м<sup>2</sup>с, использовалось светодиодное освещение с преобладанием синего участка спектра (400-450 нм) при влажности 75% и фотопериоде 16 ч/сут.

Подобранные условия позволяют получать здоровые растения пачули с перспективой дальнейшего промышленного использования.

### Источники и литература

- 1) Swamy M. K., Sinniah U. R. Patchouli (*Pogostemon cablin* Benth.): botany, agrotechnology and biotechnological aspects // Industrial Crops and products. 2016. Vol. 87. P. 161-176.
- 2) Widoretno W. In vitro induction and characterization of tetraploid Patchouli (*Pogostemon cablin* Benth.) plant // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2016. Vol. 125. P. 261-267.

**Круглосуточное освещение снижает содержание нитратов в микрозелени семейства Brassicaceae****Рубаева Александра Александровна**

Аспирант

Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Россия

E-mail: arubaeva@krc.karelia.ru

Микрозелень (съедобные растения в фазе первой пары настоящих листьев) используют в качестве «функционального продукта» для здорового питания. Одним из главных критериев такого продукта является его безопасность. Избыточное минеральное питание, слабая освещенность, видовые особенности растений и другие причины способствуют повышенному содержанию нитрат-ионов в растениях. Нитраты - необходимые компоненты для жизнедеятельности растений и источник азотного питания, но в организме человека, восстанавливаясь до нитритов, они вызывают различные патологические процессы. Поэтому контроль за содержанием нитратов в продуктах питания, в частности, в микрозелени, является важным этапом получения качественной безопасной продукции.

Объектами исследования служили 4 вида растений семейства *Brassicaceae* - брокколи (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), мизуна (*Brassica rapa* ssp. *nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt), редис (*Raphanus sativus* var. *radicula* Pers.) и рукола (*Eruca sativa* Mill.). Растения выращивали на ковриках из кокосового субстрата в контролируемых условиях среды. Средняя температура воздуха и относительная влажность воздуха составляли  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  и  $60 \pm 5\%$ , соответственно.

Освещение обеспечивали светодиодными лампами (LED GL V300, Китай), соотношение светодиодов (%) красного : зеленого : синего составляло 50.3 : 21.1 : 17.6. В первой серии опытов с разным интегралом дневного освещения (ИДО) растения выращивали при фотопериодах 16 ч или 24 ч и ФАР 270 мкмоль/(м<sup>2</sup> с). ИДО составлял 15.6 и 23.3 моль/(м<sup>2</sup> сут), соответственно. Во второй серии опытов с одинаковым ИДО растения выращивали при фотопериодах 16 ч или 24 ч при ФАР 270 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) и 180 мкмоль/(м<sup>2</sup> с), соответственно. ИДО в обоих вариантах составлял 15.6 моль/(м<sup>2</sup> сут). В третьей серии опытов растения выращивали при фотопериоде 16 ч и ФАР 270 мкмоль/(м<sup>2</sup> с), а последние 3-е суток часть растений подвергали воздействию 24 ч фотопериода. Содержание нитратного азота определяли потенциометрическим методом на приборе Анион-4100 (Анион, Россия).

Микрозелень всех четырех видов, выращенная в условиях круглосуточного освещения, содержала меньше нитратов по сравнению с растениями, выращенными при 16-часовом фотопериоде во всех трех опытах (с разным ИДО, с одинаковым ИДО, с круглосуточным освещением в конце продукционного периода) на 15-36%. Возможно, существует несколько механизмов, обеспечивающих снижение содержания нитратов в условиях круглосуточного освещения [1].

Исследования выполнены в рамках гос. задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-004) на научном оборудовании ЦКП ФИЦ «Карельский научный центр РАН».

**Источники и литература**

- 1) Bian Z., Cheng R.F., Yang Q.C., Wang J. Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and antioxidant capacity in lettuce // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2016. V. 141 (2). P.186-195.