

10. The application of selenium and copper nanoparticles modifies the biochemical responses of tomato plants under stress by *Alternaria solani* / T. Quiterio-Gutierrez [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2019. – Vol. 20, N 8. – P. 1950.
11. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M. M. Bradford // Analytical biochemistry. – 1976. – Vol. 72, N 1-2. – P. 248–254.
12. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Выш. шк., 1973. – 320 с.
13. Влияние солей и наночастиц селена и кремния на рост мицелия *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. и *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. и прорастание семян злаковых культур / А. С. Курнушко [др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2023. – Т. 68, № 4. – С. 332–344.
14. Межгосударственный стандарт. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.
15. Cell division and turgor-driven stem elongation in juvenile plants: a synthesis / U. Kutschera, K. J. Niklas // Plant Science. – 2013. – Vol. 207. – P. 45–56.
16. Selenium nanoparticles improve quality, bioactive compounds and enzymatic activity in jalapeno pepper fruits / M. A. Sarinana-Navarrete [et al.] // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, N 3. – P. 652.

Анализ участия пероксида водорода в системном изменении содержания фитогормонов при распространении переменного потенциала

**Ладейнова М. М.^{A*}, Кузнецова Д. В.^A, Мудрилов М. А.^A,
Печёрина А. А.^A, Воденев В. А.^A**

^A Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Институт биологии и биомедицины, кафедра биофизики, Нижний Новгород, Россия.

*E-mail: ladeynova.m@yandex.ru

В ответ на действие неблагоприятных факторов окружающей среды в растениях происходит генерация и передача стрессовых сигналов, которые обеспечивают скоординированные изменения физиологических процессов. Локальные стимулы вызывают распространение дистанционных сигналов и системные изменения содержания фитогормонов. Актуальным вопросом являются механизмы индукции системных изменений содержания фитогормонов. Предполагается участие активных форм кислорода (АФК) и электрических сигналов, в частности переменного потенциала (ВП), в индукции биосинтеза гормонов в нераздражённых частях растения при локальной стимуляции. Электрические и АФК-сигналы, вероятно, связаны между собой, и их взаимодействие лежит в основе специфичных механизмов инициации системного биосинтеза фитогормонов. Таким образом, целью данной работы является анализ участия пероксида водорода

(H₂O₂) в качестве АФК-сигнала в системном изменении содержания фитогормонов при распространении переменного потенциала.

Исследования выполнялись на растениях пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* L.) дикого типа (WT) и мутантной линии *rbohD* с нокаутом НАДФН-оксидазы RbohD. ВП индуцировали локальным нагревом кончика листа. Регистрацию ВП проводили с помощью многоканальной макроэлектродной установки. Одновременно с регистрацией ВП выполняли исследование динамики концентрации H₂O₂ с помощью флуоресцентного зонда Ampliflu Red. Анализ содержания фитогормонов – жасмонатов (12-оксо-фитодиеновая кислота (ОФДК), жасмоновой кислоты (ЖК) и жасмонил-изолейцин (ЖК-иле), абсцизовой кислоты (АБК) и салициловой кислоты (СК) проводили методом высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии. Для ингибиторного анализа листья пшеницы подвергали вакуумной инфльтрации растворами N,N'-диметилтиомочевины (DMTU, скарвенджера H₂O₂) и дифенилениодония хлорида (DPI, ингибитора НАДФН-оксидазы). Искусственную индукцию гормональных сдвигов с помощью H₂O₂ также проводили методом вакуумной инфльтрации раствора H₂O₂.

Локальный нагрев вызывает распространение ВП и системное увеличение содержания жасмонатов, АБК и СК. В пшенице концентрации ЖК и ЖК-иле достигают максимума через 10 – 20 мин после раздражения, СК – через 40 мин, АБК – через 60 мин. Содержание ОФДК возрастает через 5 – 10 мин, а через 20 мин значительно снижается. Генерация ВП сопровождается временным увеличением концентрации H₂O₂. DMTU вызывал подавление распространения ВП, что указывает на роль H₂O₂ в качестве индуктора ВП. Действие DPI также приводило к уменьшению амплитуды ВП, причём больший эффект он оказывал с увеличением расстояния от места стимуляции, что свидетельствует о вкладе НАДФН-оксидаз в поддержание распространения ВП за счёт активной продукции АФК. Результаты также подтверждаются данными по подавлению ВП в растениях арабидопсиса мутантной линии *rbohD*. Повышение концентрации H₂O₂, которое имеет место при распространении ВП, может принимать участие в стимул-индуцированном изменении содержания гормонов. Для анализа участия H₂O₂ в качестве индуктора биосинтеза гормонов проводили исследование влияния искусственного повышения его концентрации на содержание гормонов. Показано сходство динамики содержания гормонов при искусственной индукции H₂O₂ и при локальной стимуляции: концентрации АБК и СК возрастают через 45 мин после добавления H₂O₂, ЖК и ЖК-иле – через 15 мин, концентрация ОФДК через 15 мин снижается. Таким образом, взаимодействие электрических и АФК-сигналов является

одним из потенциальных механизмов индукции системного биосинтеза стрессовых фитогормонов при действии локальных стимулов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-14-00388).

Анализ профилей экспрессии генов микобионта и фотобионта лишайника *Lobaria pulmonaria* в ответ на УФ-индуцированную меланизацию

Лексин И. Ю.^{А*}, Шелякин М. А.^Б, Минибаева Ф. В.^А

^А Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия;

^Б Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

*E-mail: lecsinilya@mail.ru

Лишайники являются сложными симбиотическими системами, состоящими из грибного компонента – микобионта и водорослевого – фотобионта (одного или нескольких). Одним из видов стресса, с которым сталкиваются лишайники, является УФ-индуцированный стресс. Ультрафиолетовое излучение является одним из абиотических факторов, способных вызывать серьёзные негативные последствия у живых организмов: окислительный стресс, фотоповреждение биомолекул, а также подавление роста и развития. Механизмы стрессовой устойчивости, позволяющие противостоят воздействию УФ-облучения, включают как биосинтез фотозащитных пигментов, так и устранение отрицательных эффектов, вызванных УФ. Основной причиной токсичности УФ-излучения является образование активных форм кислорода (АФК), которые повреждают белки, липиды, углеводы и ДНК (Gill and Tuteja, 2010). Ввиду этого, воздействие УФ-В может привести к регуляции множества генов, участвующих в утилизации АФК (Sharma *et al.*, 2012; Robson *et al.*, 2019). В настоящее время влияние УФ-излучения на экспрессию генов в высших растениях детально изучено, однако в лишайниках влияние УФ-В излучения на профили экспрессии генов неизвестно. В связи этим, нами было проведено исследование УФ-В индуцированных изменений экспрессии генов на примере лишайника *Lobaria pulmonaria* для микобионта и эукариотического фотобионта – *Symbiochloris reticulata*.

Влияние абиотического стресса на транскриптомы лишайников изучено относительно мало, хотя есть несколько сообщений о влиянии температурного стресса и обезвоживания на экспрессию генов (Junttila *et al.*, 2013; Candotto *et al.*, 2016; Chavarria-Pizarro *et al.*, 2022; Almer *et al.*, 2023). В настоящей работе мы показываем, что воздействие УФ-В на лишайник