

данных размером в 10 000 фотографий, при этом 80 % изображений использовалось для тренировки, 20 % для валидации. Функция активации – ReLU, количество эпох – 100, размер батча – 32. Для тренировки применялась методика градиентного спуска, с оптимизатором Adam, в качестве метрик использовалась точность (*accuracy*). В качестве функции потерь выбиралась бинарная кроссэнтропия либо средний квадрат ошибок. Согласно полученным данным, наибольшей продуктивностью с точки зрения синтеза биоводорода характеризуется штамм *Parachlorella kessleri* PA-002. При этом лучшие показатели продемонстрировали культуры, находившиеся в условиях дефицита серы. Для них максимальная концентрация выделяемого водорода составила $42,1 \pm 6,4$ ммоль H_2 г сухой массы⁻¹ сут⁻¹. Метрика точности при идентификации исследуемых штаммов микроводорослей составила 96,38 %. Нейросетевой анализ позволил обнаружить различия между клетками культур микроводорослей *Parachlorella kessleri* PA-002, выращенных в разных условиях, с точностью 94,72 %. Для штаммов *Chlorella vulgaris* IBCE C-19 и *Chlorella kessleri* IBCE C-3 данные показатели составили 89,22 % и 90,46 % соответственно.

Работа выполнена в рамках проекта Б21АРМ-018, № госрегистрации 20213856 БРФФИ (Беларусь-Армения).

Оценка эффективности антиоксидантов природного происхождения при солевом стрессе в растениях пшеницы мягкой

**Нестерович М. А.^А, Подобед П. И.^А, Русакович А. А.^Б,
Черныш М. А.^{Б*}**

^А УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь.

^Б Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь. *E-mail: chernyshmaryia@gmail.com

Растительные организмы постоянно подвергаются многочисленным стрессовым воздействиям, таким как почвенное засоление, засуха, недостаточная или избыточная влажность, высокие и низкие температуры, загрязнение почвы пестицидами и т.д. Одним из ключевых стресс-факторов является засоление почвы. Солевой стресс, как и многие другие стресс-факторы, приводит к генерации и накоплению свободных радикалов, определяющих окислительный стресс – процесс угнетения жизнедеятельности клеток под действием активных форм кислорода (АФК) [1; 2; 3]. В высоких концентрациях АФК подавляют естественную защиту клетки и приводят к окислительному повреждению ДНК, перекисному окислению липидов, модификациям белков, различным патологическим процессам,

негативно влияющим на жизнедеятельность организма и способны привести к его гибели [4; 5]. Все эти процессы неминуемо ведут к значительной потере урожая при культивировании важных сельскохозяйственных культур, в связи с чем поиск соединений, обладающих антиоксидантной и антирадикальной активностью, повышающих устойчивость растений к стрессу, в том числе к засолению, остается актуальной проблемой.

Целью данной работы являлось выявление и сравнение эффективности природных веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, а также оценка их воздействия на морфометрические параметры пшеницы мягкой в условиях солевого стресса.

Оценка уровня АФК, в частности гидроксильного радикала проводилась методом ЭПР-спектроскопии с использованием спиновой ловушки DMPO [3-7]. Сигнал спинового аддукта DMPO-OH[•] в системе, генерирующей гидроксильный радикал, использовался в качестве контроля. В качестве антиоксидантов были протестированы 1 мМ аскорбиновая кислота, экстракты шиповника, розмарина, зелёного чая и винограда, соки черники и клубники. Была проведена оценка их способности снижать интенсивность ЭПР-сигнала в сравнении с контролем. Показано, что все протестированные вещества демонстрируют антиоксидантную активность, существенно снижая ЭПР-сигнал DMPO-НО[•], что, вероятно, связано с их способностью нейтрализовать гидроксильный радикал. Поскольку наибольшая эффективность была определена для аскорбата, экстрактов розмарина, шиповника и винограда, дальнейшие тесты проводились с использованием данных соединений.

С целью оценки протекторного эффекта природных и синтетических антиоксидантов на рост и развитие высших растений в условия солевого стресса проводились ростовые тесты на проростках *Triticum aestivum*. Пшеница выращивалась на среде Кнопа с добавлением различных концентраций хлорида натрия (50-150 мМ) и 2 % водных экстрактов винограда, шиповника и розмарина рулонным методом. Также было изучено влияние 0,5 мМ аскорбата. Результаты ростового теста на культуре *T. aestivum* представлены на рисунке.

При добавлении к среде культивирования 50 мМ хлорида натрия наблюдался гормезисный эффект. Средние значения длины корней пшеницы увеличились на 15 % по сравнению с контролем. Добавление более высоких концентраций NaCl приводило к значительному ингибированию роста пшеницы. Так, средние значения длины корней пшеницы на 10 сут выращивания в присутствии 100 мМ и 150 мМ хлорида натрия снизились на 33 % и 51 %, соответственно, по сравнению с контролем.

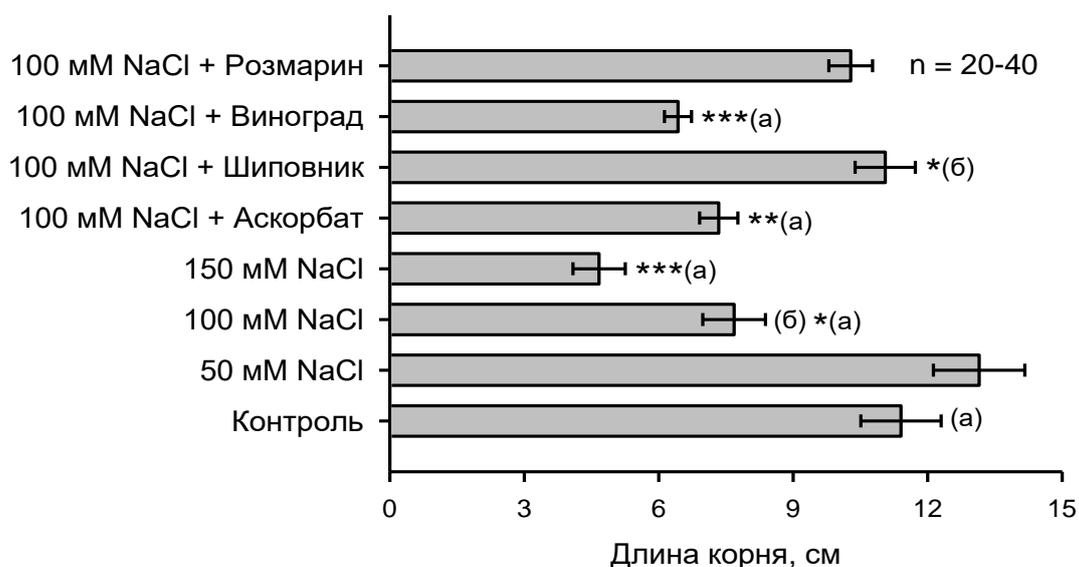


Рис. Средние значения длины корней *Triticum aestivum* на 10 сут культивирования. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста: (а) – по отношению к контролю; (б) – по отношению к растениям, выращенным на среде с 100 мМ NaCl: * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,001$; *** – $p < 0,0001$

Добавление к среде, содержащей 100 мМ NaCl, 0,5 мМ аскорбиновой кислоты, а также 2 % экстракта винограда не продемонстрировало стресс-протекторного эффекта, стимуляция ростовых процессов *T. aestivum* не наблюдалась. В тоже время добавление 2 % экстрактов шиповника и розмарина приводило к увеличению среднего значения длины корней на 44 % и 34 %, соответственно, относительно корней пшеницы, выращенной на среде с добавлением 100 мМ хлорида натрия. Длина корней пшеницы, культивируемой на средах с добавлением экстрактов шиповника и розмарина, была сопоставима с длиной корней растений контрольной группы без добавления стрессора.

Таким образом, в результате работы была выявлена способность водных экстрактов шиповника и розмарина оказывать протекторный эффект на проростки пшеницы в условиях солевого стресса, что может быть использовано для снижения стрессовой нагрузки на растения.

Библиографические ссылки

1. Demidchik, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology / V. Demidchik // Environmental and experimental botany. – 2015. – Vol. 109. – P. 212–228.
2. Окислительный стресс растений / Е.В. Хозеева, Ю.А. Зимина, Г.А. Срослова // Природные системы и ресурсы. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 31–36.
3. Reactive oxygen signaling and abiotic stress / G. Miller [et al.] // Physiologia Plantarum. – 2008. – Vol. 133. – P. 481–489.

4. Halliwell, H. Free radicals in biology and Medicine / H. Halliwell, J.M.C. Gutteridge – United Kingdom: Oxford University Press, 2015. – P. 40–290.
5. Salinity stress and nanoparticles: Insights into antioxidative enzymatic resistance, signaling, and defense mechanisms / A. Singh [et al.] // Environmental Research. – 2023. – Vol. 235.
6. Shukla, A.K. ESR spectroscopy for life science applications: An introduction / A. K. Shukla – Prayagraj, Uttar Pradesh, India: Springer International Publishing, 2021. – P. 72.
7. Swapnalini, Jh. Recent developments in electron paramagnetic resonance for spectroscopic applications / Jh. Swapnalini, S. Kumar, P. Banerjee // Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2022. – Vol. 13, № 1. – P. 301–312.

Система *UPBEAT1-АФК-ПОД-PAL (UPBEAT1-ROS-POD-PAL)* при изменении соотношения дифференцировка/пролиферация камбиальных инициалей у древесных растений на примере березы повислой *Betula pendula* var. *pendula* и карельской березы *B. pendula* var. *carelica* (Mercl.) Hämet-Ahti

**Никерова К. М.^{А*}, Галибина Н. А.^А, Софронова И. Н.^А,
Мощенская Ю. Л.^А, Корженевский М. А.^А, Тарелкина Т. В.^А,
Климова А. В.^А, Коржова М. А.^А, Макарова Т. Н.^А, Семенова Л. И.^А,
Серкова А. А.^А**

^А *Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия.*

**E-mail: knikerova@yandex.ru*

Образование древесины, ксилогенез, происходит в результате деятельности латеральной меристемы – камбия (Fischer et al., 2019; Wang et al., 2021). Камбиальные производные, обращенные внутрь ствола, дифференцируются в структурные элементы ксилемы: сосуды, трахеиды, волокна, клетки осевой и радиальной паренхимы (Fromm, 2013). Этот процесс включает рост клеток растяжением, образование вторичной клеточной стенки, а для волокон, сосудов и трахеид – программируемую клеточную смерть (ПКС) (Turner et al., 2007). Выявление механизмов, регулирующих направление дифференцировки камбиальных производных, имеет как фундаментальное, так и практическое значение. У большинства растений процессы, связанные с дифференцировкой и пролиферацией апикальных меристем, а также цепь событий, приводящая в конечном итоге к ПКС, связаны с изменением баланса активных форм кислорода (АФК) (Van Breusegem, Dat, 2006; de Pinto et al., 2012), находящимся под контролем ферментов антиоксидантной системы (АОС) (Dumanović et al., 2021; Mittler, Zilinskas, 2004).