

Ответ антиоксидантной системы растений на обработку растений эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* при их росте в условиях абиотического стресса

Кузнецова М. В.^А, Фархутдинов Р. Г.^Б

^А ООО «Научно-внедренческое предприятие «БашИнком», Уфа, Россия,

*E-mail: feomela_lina@mail.ru

^Б Уфимский университет науки и технологий, кафедра биохимии и биотехнологии, Уфа, Россия

Наиболее часто при изучении устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды учитывается активность антиоксидантных ферментов – пероксидазы и каталазы, которые непосредственно обезвреживают активные формы кислорода (АФК) и обеспечивают комплексную защиту растения. Механизм положительного влияния штаммов *Bacillus subtilis* при воздействии различных стрессовых факторов на растения остается в центре внимания специалистов, изучающих растительно-микробные ассоциации. Известно, что положительное действие бактерий рода *Bacillus* на растительные организмы основано на выделении биологически активных веществ – стимуляторов роста [Феоктистова и др., 2016; Маркина, Курамшина, 2016]. Антистрессовый эффект *B. subtilis* установлен при воздействии на растения абиотических факторов, но мало сведений о влиянии обработок биопрепаратами на устойчивость растений к действию недостатка воды в почве [Курамшина, 2017]. Целью настоящей работы явилось изучение влияния штаммов *Bacillus subtilis* (биопрепарат «Фитоспорин М», производитель ООО «НВП БашИнком») на рост и активность антиоксидантных ферментов в условиях засухи.

С целью проверки предположения, что обработка растений *B. subtilis* может повысить с.-х. культур к засухе, мы провели оценку показателей антиоксидантной системы у разных видов растений, обработанных биопрепаратом в условиях искусственной засухи. Засуху создавали путем уменьшения полива почвы (25% от ППВ).

Известно, что засуха приводит к накоплению АФК, образующихся, в основном, в хлоропластах, и в митохондриях, что формирует окислительный стресс, связанный с воздействием на молекулярные и клеточные структуры супероксид-анион радикала, гидроксильного радикала, синглетного кислорода, перекиси водорода и других соединений. Снижение токсического эффекта окислительного стресса растения проводят с помощью различных групп антиоксидантов, которые уменьшают степень окислительного повреждения и повышают устойчивость растения к неблагоприятным факторам (засухе, засолению, действие тяжелых металлов). Де-

токсикация АФК происходит благодаря действию антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, пероксидаза и каталаза). Кроме того, что при незначительной степени засухи активность антиоксидантных систем повышается, однако при дальнейшем росте обезвоживания растения наблюдается уменьшение активности защитных ферментов (Ebrahimi et al., 2016).

Активность каталазы в побегах контрольных необработанных проростков пшеницы достоверно не различалась от показателей необработанных растений, выросших при оптимальном увлажнении. Обработка семян пшеницы биопрепаратом приводила к повышению активности каталазы при оптимальном увлажнении (70% влажности), а в условиях засухи у растений, обработанных биопрепаратом, активность каталазы увеличивалась и была больше необработанных растений, выросших при тех же условиях у пшеницы. Активность пероксидазы в условиях засухи увеличивалась у необработанных растений пшеницы (на 16,2%). У обработанных *B. subtilis* растений пшеницы при действии засухи достоверных отличий в активности фермента не установлено.

Известно, что при засухе происходит накопление свободных радикалов, которые индуцируют перекисное окисления липидов мембран, что приводит к их повреждению. МДА является конечным продуктом перекисного окисления липидов клеточных мембран и одним из признаков их повреждения. Нами было установлено, что уровень МДА в побегах необработанных бактериями растений пшеницы в условиях засухи повышался на почти 60% по сравнению с растениями, выросшими при оптимальном увлажнении. Обработка растений препаратом, содержащим бактерии *B. subtilis*, приводила к увеличению содержания МДА в побегах при засухе, но его содержание было меньше, чем у необработанных бактериями растений.

В условиях засухи важную роль в качестве осмопротектора играет пролин. Накопление пролина позволяет растениям противостоять засухе в связи с участием пролина в стабилизации белков, мембран и субклеточных структур и приводит к уменьшению уровня АФК. Следовательно, содержание пролина является хорошим показателем для определения устойчивости растений к действию засухи, особенно, когда происходит снижение активности защитных ферментов и уменьшаются у растения механизмы, позволяющие уменьшать вредоносное действие, наносимое засухой. Содержание пролина в побегах необработанных биопрепаратом растений в условиях с моделированной засухи было больше, чем у растений пшеницы, выросших при оптимальном увлажнении – на 28%. Обработка растений пшеницы повышала уровень пролина в условиях оптимального увлажнения почвы на 30%. В условиях засухи обработка семян *B. subtilis*

способствовала повышению уровня пролина по сравнению с необработанными на 44,7%.

Таким образом, нами было установлено, что в условиях моделирования почвенной засухи растения, инокулированные клетками бактерий *B. subtilis*, росли лучше необработанных растений. При моделировании жесткой и достаточно длительной засухи (30 дней) бактерии биопрепарата не оказывали заметного влияния на активность каталазы и пероксидазы, но значительно повышали уровень пролина в побегах растений. Обработанные бактериями биопрепарата растения содержали МДА в меньшем количестве, чем необработанные, что свидетельствует о снижении уровня развития окислительного стресса у обработанных растений и повышении их засухоустойчивости.

Библиографические ссылки

1. Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р. Ризосферные бактерии / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – № 2. – С. 207–224.
2. Курамшина З.М. Повышение толерантности *Triticum aestivum* к кадмий-стрессу с помощью эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* / З.М.Курамшина, Ю.В. Смирнова, Р.М. Хайруллин // Физиология растений. –2016. – Т. 63. □ № 5. – С. 1-9.
3. Маркина В.О., Курамшина З.М. // Современные проблемы науки и образования. 2016. No 6 <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25759> (дата обращения: 22.06.2024).
4. Ласточкина О.В., Пусенкова Л.И., Юлдашев Р.А., Ильясова Е.Ю., Aliniaei-fard S. // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, С. 958-96
5. Ebrahimi, M. Antioxidant activity: a strategy for alleviating the effects of drought on *Calendula officinalis* L. / M. Ebrahimi, G. R. Zamani, Z. Alizadeh // European Journal of Medicinal Plants – 2016. – Vol. 15(4). – P.1-14.
6. Ласточкина О.В. (2021). Адаптация и устойчивость растений пшеницы к засухе, опосредованная природными регуляторами роста *Bacillus* spp.: механизмы реализации и практическая значимость (обзор). Сельскохозяйственная биология, 56 (5), 843-867.
7. Lastochkina O., Baymiev A., Shayahmetova A., Garshina D., Koryakov I., Shpirnaya I., Pusenkova L., Mardanshin I., Kasnak C., Palamutoglu R. Effects of endophytic *Bacillus subtilis* and salicylic acid on postharvest diseases (*Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*) development in stored potato tubers. Plants, 2020, 9: 76 (doi: 10.3390/plants9010076).