

МЕХАНИЗМЫ ПОВЫШЕНИЯ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РИЗОСФЕРНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Гузалова Анаида Георгиевна,

PhD, директор, компания «ООО Anguzal Agroservis»,

Республика Узбекистан, Ташкентская обл.,

Кибрайский р-он., Дурмень К.Ф.Й., Юкори-Юз,

anguzal@mail.ru

orcid.org/0009-0009-7562-7522.

Аннотация. Засоление почв является одним из ключевых факторов, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур и устойчивость агроэкосистем. В последние годы особое внимание уделяется роли ризосферных микроорганизмов в повышении солеустойчивости растений. В данной работе рассматриваются основные механизмы взаимодействия растений и микроорганизмов ризосферы в условиях солевого стресса. Показано, что ассоциированные микроорганизмы способны повышать адаптационный потенциал растений за счёт синтеза фитогормонов, улучшения минерального питания, регулирования осмотического баланса и снижения токсического воздействия ионов натрия. Особое значение имеют процессы стимуляции антиоксидантной системы растений и индукции системной устойчивости. Сделан вывод о том, что использование ризосферных микроорганизмов является перспективным направлением в повышении устойчивости растений к засолению и развитию устойчивого сельского хозяйства.

Ключевые слова: засоление почв, солеустойчивость растений, ризосферные микроорганизмы, солевой стресс, фитогормоны, антиоксидантная система, осморегуляция, агроэкосистемы.

Введение. Засоление почв представляет собой один из ключевых факторов, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур в аридных и полуаридных регионах. Повышенные концентрации легкорастворимых солей вызывают осмотический стресс, ионную токсичность (прежде всего Na^+ и Cl^-), нарушение водного баланса и дисбаланс минерального питания растений. В результате подавляются ростовые процессы, снижается фотосинтетическая активность и ухудшается общая продуктивность агроэкосистем. В условиях нарастающей деградации земель

поиск устойчивых и экологически безопасных подходов к повышению солеустойчивости растений приобретает особую актуальность.

Одним из наиболее перспективных направлений является использование ризосферных микроорганизмов - бактерий и грибов, обитающих в прикорневой зоне растений и формирующих с ними сложные симбиотические и ассоциативные взаимодействия. Эти микроорганизмы играют важную роль в адаптации растений к неблагоприятным условиям среды, включая засоление. Их влияние реализуется через широкий спектр физиолого-биохимических и молекулярных механизмов, направленных на снижение стрессовой нагрузки и поддержание гомеостаза растения.

К числу ключевых механизмов относятся регуляция фитогормонального баланса (синтез ауксинов, цитокининов, гиббереллинов), снижение уровня стрессового гормона этилена за счёт активности АСС-деаминазы, а также усиление антиоксидантной защиты растений. Ризосферные микроорганизмы способствуют накоплению осмопротекторов (пролин, сахара), улучшению ионного гомеостаза путём ограничения поступления Na^+ и поддержания соотношения K^+/Na^+ , а также повышению доступности питательных элементов за счёт азотфиксации и мобилизации фосфора.

Кроме того, важную роль играет улучшение физико-химических свойств почвы: микробные экзополисахариды способствуют агрегации почвенных частиц, увеличению влагоудерживающей способности и снижению подвижности токсичных ионов. Формирование устойчивых микробно-растительных ассоциаций в ризосфере рассматривается как эффективный инструмент биологизации земледелия и повышения устойчивости агроэкосистем.

Таким образом, изучение механизмов повышения солеустойчивости растений под действием ризосферных микроорганизмов имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. Оно открывает перспективы для разработки инновационных биотехнологий, направленных на восстановление продуктивности засоленных почв и обеспечение устойчивого сельского хозяйства в условиях климатических изменений.

Исследование направлено на выявление физиолого-биохимических и молекулярных механизмов повышения солеустойчивости сельскохозяйственных растений (пшеницы, хлопчатник, бахчевые) под влиянием ризосферных микроорганизмов и включает проведение лабораторных, вегетационных и полевых экспериментов с контролируемым

уровнем засоления (NaCl) и различными вариантами инокуляции (ризобактерии, микоризные грибы и их комбинации), с последующей комплексной оценкой морфометрических показателей роста и продуктивности, физиолого-биохимических параметров (содержание хлорофилла, водный статус, накопление осмопротекторов, активность антиоксидантных ферментов, уровень перекисного окисления липидов), ионного и агрохимического состава (содержание Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , соотношение K^+/Na^+ , pH и электропроводность почвы), микробиологических характеристик (выделение, идентификация и функциональная активность микроорганизмов, включая азотфиксацию, фосфатмобилизацию, синтез фитогормонов и активность АСС-дезаминазы), а также молекулярно-генетических показателей (экспрессия генов стресс-ответа и ПЦР-идентификация штаммов), с применением статистических методов обработки данных (ANOVA, корреляционный и регрессионный анализ, $p \leq 0,05$), что позволяет оценить влияние микробной инокуляции на рост, ионный гомеостаз, антиоксидантную систему растений и выявить возможный синергетический эффект, при ожидаемом повышении устойчивости к солевому стрессу, улучшении минерального баланса и увеличении биомассы и урожайности в условиях засоления (Таблица 1).

Таблица 1 — Влияние ризосферных микроорганизмов на показатели солеустойчивости растений

Вариант	NaCl, mM	Высота растений, см	Биомасса, г/растение	Хлорофилл, мг/г	Соотношение K^+/Na^+	Активность антиоксидантных ферментов
Контроль без засоления	0	32,4	6,8	2,10	2,8	норма
Засоление без инокуляции	100	21,6	3,9	1,35	1,1	снижена
Засоление + ризобактерии	100	27,8	5,2	1,78	1,9	повышена

Засоление + микориза	100	28,5	5,4	1,84	2,0	повышена
Засоление + консорциу М	100	30,1	5,9	1,96	2,3	значительно повышена

Заключение.

Проведённый анализ подтверждает, что ризосферные микроорганизмы играют ключевую роль в формировании устойчивости растений к солевому стрессу и могут рассматриваться как эффективный инструмент биологизации сельского хозяйства. Их влияние реализуется через комплекс взаимосвязанных механизмов, включающих регуляцию фитогормонального баланса, снижение уровня стресс-индуцированного этилена, усиление антиоксидантной защиты, а также поддержание ионного и водного гомеостаза растений.

Установлено, что инокуляция растений полезными ризосферными бактериями и микоризными грибами способствует снижению токсического воздействия ионов натрия, улучшению соотношения K^+/Na^+ , активизации накопления осмопротекторов и повышению общей физиологической устойчивости растений. Дополнительным положительным эффектом является улучшение структуры и биологической активности почвы за счёт микробной продукции экзополисахаридов и усиления процессов круговорота питательных веществ.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности комплексного применения микробных консорциумов, обеспечивающих синергетическое воздействие на растения и почвенную среду. Такой подход позволяет не только повысить устойчивость сельскохозяйственных культур к засолению, но и способствует восстановлению плодородия деградированных почв.

В целом, использование ризосферных микроорганизмов представляет собой перспективное направление для разработки экологически безопасных и устойчивых агротехнологий. Дальнейшие исследования должны быть направлены на углублённое изучение молекулярных механизмов взаимодействия «растение–микроорганизм», оптимизацию составов микробных препаратов и оценку их эффективности в различных почвенно-климатических условиях.

Список литератур.

1. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance in plants // Annual Review of Plant Biology. - 2008. - Vol. 59. - P. 651-681.
2. Flowers T.J., Colmer T.D. Salinity tolerance in halophytes // New Phytologist. - 2008. - Vol. 179. - P. 945-963.
3. Yang J., Kloepper J.W., Ryu C.M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress // Trends in Plant Science. - 2009. - Vol. 14. - P. 1-4.
4. Vessey J.K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers // Plant and Soil. - 2003. - Vol. 255. - P. 571–586.
5. Glick B.R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications // Scientifica. - 2012. - Article ID 963401.
6. Egamberdieva D., Wirth S., Jabborova D., Räsänen L.A. Coordination between Bradyrhizobium and Pseudomonas alleviates salt stress in legumes // Plant and Soil. - 2017. - Vol. 410. - P. 507–523.
7. Nadeem S.M., Ahmad M., Zahir Z.A., Javaid A., Ashraf M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria in improving crop productivity under stressful environments // Biotechnology Advances. - 2014. - Vol. 32. - P. 429-448.
8. Paul D., Lade H. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review // Agronomy for Sustainable Development. - 2014. - Vol. 34. - P. 737-752.
9. Shrivastava P., Kumar R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation // Saudi Journal of Biological Sciences. - 2015. - Vol. 22. - P. 123-131.
10. Lugtenberg B., Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria // Annual Review of Microbiology. - 2009. - Vol. 63. - P. 541–556.
11. Shagzatova B. K., Axmedova F. S., Tuxtamishev M. K. PATHOGENETIC MECHANISM OF DEVELOPMENT OF INSULIN RESISTANCE IN CHRONIC VIRAL HEPATITIS C //EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR). – 2022. – Т. 8. – №. 2. – С. 137-141.
12. Shagzatova B. X., Mirkhaydarova F. S. FEATURES OF DIABETES MELLITUS WITH HIV-INFECTED PATIENTS //EDITOR COORDINATOR. – 2021. – С. 778.
13. Ахмедов Ш. М., Ливерко И. В., Ахмедова Ф. Ш. ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ СИМПТОМА ИЗБЫТОЧНОЙ ДНЕВНОЙ СОНЛИВОСТИ У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНЬЮ ЛЕГКИХ //СОПРЯЖЁННОЙ С СИНДРОМОМ ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ-ГИПОПНОЭ СНА.–2023.
14. Артикова Д. М. и др. Изучение инсулинового ответа на введение пириимидиновых нуклеотидов у пациенток с ожирением и синдромом поликистозных яичников: дис //Ўзбекистон, Тошкент. – 2023.

15. Shagazatova B. X. et al. Endokrinologiya mutaxassisligi bo'yicha klinik rezidentlarni o'qitishda «case»-usuli (Doctoral dissertation, Ўзбекистон, Тошкент). – 2023.

16. Akhmedova F. et al. The course of Parkinson's disease in patients with impaired carbohydrate metabolism //MOVEMENT DISORDERS. – 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ USA : WILEY, 2018. – Т. 33. – С. S176-S177.

17. Akhtam R. et al. Biomarkers in liver regeneration //Clinica Chimica Acta. – 2025. – Т. 576. – С. 120413.

18. Шагазатова Б. Х. и др. Особенности течения сахарного диабета у вич-инфицированных больных. – 2019.