

Гончар А.Н., Тонха О.Л., Патыка Н.В.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина;  
npatyka@nubip.edu.ua

## СИГНАЛИНГ И ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ *BACILLUS SUBTILIS* В ПОСЕВАХ ПШЕНИЦЫ

*Представлено актуальное научно-практическое направление по изучению полифункциональных свойств ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* в агроценозах пшеницы и растительно-микробного взаимодействия (сигналинга), расширяющее спектр использования данных биоагентов в аграрном и биотехнологическом производстве. От специфичности растений, группы ризосферных микроорганизмов значительно зависит уровень генетического потенциала, что обуславливает формирование растительно-микробных систем, эффективность симбиоза, доступность питательных веществ и другое (ведущая роль конкретного микробиома, конкурирующего и проявляющего целевую биологическую активность).*

*The current scientific and practical direction for the study of the polyfunctional properties of rhizosphere bacteria *Bacillus subtilis* in wheat agroecosystems and plant-microbial interaction (signaling), expanding the range of use of these bioagents in agricultural and biotechnological production. The level of genetic potential significantly depends on the specificity of plants, a group of rhizosphere microorganisms, which determines the formation of plant-microbial systems, the effectiveness of symbiosis, the availability of nutrients, and more (the leading role of a specific microbiome, competing and exhibiting target biological activity).*

*Ключевые слова:* ризосферные бактерии; биологическая активность; *Bacillus subtilis*; растительно-микробные системы; сигналинг.

*Keywords:* rhizosphere bacteria; biological activity; *Bacillus subtilis*; plant-microbial systems; signaling.

Использование ризосферных, почвенных бактерий рода *Bacillus* spp. или продуктов их метаболизма, имеющих фунгицидную, инсектицидную, бактерицидную, фиторегуляторную активность является актуальным направлением для аграрной науки и производства [1; 2]. Одним из наиболее активных продуцентов метаболитов, положительно влияющих на растения, являются бактерии вида *Bacillus subtilis*, которые способствуют росту растений благодаря продуцированию фитогормонов, растворению неорганических фосфатов, синтезу органических кислот, антагонизму к фитопатогенным микромицетам и др. Данные свойства изучены, в основном, у музейных штаммов и почвенных изолятов *B. subtilis*. На сегодняшний момент отсутствуют сведения об изменении биологических свойств бацилл (адгезивных, ростстимулирующих, антагонистических), выделенных в разные фазы роста и развития растений. Специфичность набора метаболитов почвенных бактерий *B. subtilis*, адаптированных к условиям ризосферы злаковых культур, представляет значительный интерес для фундаментальных и прикладных исследований, поскольку еще недостаточно данных относительно их характеристики, функциональной направленности, микробно-растительного взаимодействия и сигналинга в агроценозах пшеницы, спектра активности. Особую научную и практическую ценность составляют комплексные исследования относительно скрининга, исследований генетического профиля, многообразия споровых бактерий *B. subtilis* в различных эконисах, анализа их морфолого-культуральных, физиолого-биохимических признаков, агрономически полезных свойств продуцентов. Необходимо глубокое изучение полифункциональной активности ризосферных бактерий *B. subtilis* в посевах пшеницы, поиск среди них целевого продуцента и изучение его характеристик.

Кроме важного прикладного значения, исследования представителей *B. subtilis* и их продуктов метаболизма с полифункциональной активностью важно фокусировать внимание на фундаментальные исследования, так как далеко не все виды ризосферных споровых прокариот является изученными на предмет состава и характеристик их микробных метаболитов. Изучение биологических свойств споровых ризосферных бактерий *B. subtilis* и биологически активных веществ, продуцируемых данными биоагентами-продуцентами микробных препаратов, имеют научную ценность через призму растительно-микробных взаимодействий [3; 4]. Это можно рассматривать на примере различных типов индукционных трансформаций на морфологическом, цитологическом, физиолого-биохимическом, генетическом уровнях в организме). Интродукция полезных почвенных микроорганизмов в агроценозы является необходимым и действенным трендом технологий выращивания различных сельскохозяйственных культур, эффективно способствует улучшению питания растений, защиты от фитопатогенных организмов различной природы, повышению продуктивности культур, улучшению качественных показателей продукции.

Растения пшеницы вступают в сложные взаимодействия с ризосферными, почвенными микроорганизмами, образуя растительно-микробную систему с новыми свойствами (симбиотическая стратегия приобретения новых функций, симбиотрофное взаимодействие и другое). В результате функциональной интеграции генетических систем прокариот и эукариот (партнеров) возникает новая система или новая ступень организации с соответствующими признаками. Это происходит на уровне адаптационных изменений и популяционных процессов, наблюдается среди почвенных микроорганизмов. Растительно-микробные системы играют ключевую роль в питании растений, их защиты от патогенов и фитофагов, а также в адаптации к стрессам и регуляции развития. Связь между растениями и почвенной биотой гораздо шире и сложнее, чем просто «продуцент» и «потребитель». Обмен сигналами между растениями и микроорганизмами (сигналинг), заселение корневой системы растений симбионтами и инфицирование патогенами имеет перспективы для проведения масштабных исследований (рис.).



Сигналинг ризосферной микробиоты, индукция образования боковых корневых волосков, защита от фитопатогенов [1]

Корневая система растений обладает способностью продуцировать репелленты и токсичные соединения. Выживание физически чувствительных частей корневой системы зависит от «подземного биохимического взаимодействия», предусматривающего косвенную экссудацию растениями фитоалексинов, продуцируемых в ответ на стресс или инфицирование патогенами. При помощи специфических экссудатов, продуцируемых растениями, существует возможность экспрессии генов с участием соответствующих молекулярных сигналов, происходящих от ассоциаций ризосферных бактериальных сообществ. Аллелопатия может представлять собою

любое биохимическое взаимодействие между растениями, в том числе при непосредственном действии почвенных ризосферных микроорганизмов, в результате чего происходит (положительное или отрицательное) формирование растительно-микробных систем.

Применение биопрепаратов на основе бактерий *B. subtilis* в посевах пшеницы демонстрирует антагонизм относительно патогенов, способствует активизации физиологических процессов, увеличению надземной биомассы и корневой системы культуры на фоне заражения почв фитопатогенами, почвоутомления. Использование активных штаммов *B. subtilis* экономически целесообразно, поскольку данный микроорганизм достаточно неприхотлив в субстратах, которые используются для биотехнологического культивирования. Таким образом, разнообразие метаболических процессов, генетическая и биохимическая вариабельность, устойчивость к литическим и пищеварительным ферментам, послужили обоснованием использования бактерий *B. subtilis* в различных отраслях сельского хозяйства [5]. Кроме того, бактерии *B. subtilis* имеют статус GRAS (generally regarded as safe) в качестве безопасных организмов при производстве препаратов на их основе.

Таким образом, исследуя микробиом ризосферы пшеницы, свойства доминирующих видов почвенных микроорганизмов, можно основательно изучить процессы, происходящие в конкретной среде. Например, активность минерализационных процессов при наличии споровых бактерий или минерализация органических соединений, обеспеченность органическим азотом, высокая ферментативная активность, изменение условий аэрации среды и другое). По различным вариантам выращивания зерновых культур и по их сортовому разнообразию определенно можно проследить как количественные различия в представленности отдельных типов микроорганизмов, так и качественные изменения в составе микробиома. По результатам проведенного нами анализа численности микроорганизмов ризосферы пшеницы озимой установлено, что сортовая специфичность связана с особенностями формирования микробиома в разные фазы роста и развития растений, что, очевидно, является интегральным показателем функциональной и метаболической активности почвенных микроорганизмов. Так, зафиксировано увеличение численности спорообразующих бактерий в различных вариантах выращивания сортов пшеницы озимой в два раза (сорта Трудівниця Миронівська, Манера Одеська, Лайнер, Легенда Білоцерківська та Поліська 90), что в среднем составило  $4,2 \times 10^7$  КУО/г в сравнении с другими сортами при онтогенезе (Міп Валенсія, Міп Дніпрянка и др.) -  $2,0 \times 10^7$  КУО/г почвы.

От специфичности растений, группы ризосферных микроорганизмов значительно зависит уровень генетического потенциала, что обуславливает формирование растительно-микробных систем, эффективность симбиоза, доступность питательных веществ и другое (ведущая роль конкретного микробиома, конкурирующего и проявляющего целевую биологическую активность). В целом, через раскрытие механизмов формирования растительно-микробных ризосферных систем и усиления их части конкурентоспособности в стрессовых антропогенных факторах становится возможным создание инновационных биотехнологических разработок для управления биологическими процессами в зерновых агроценозах.

### Библиографические ссылки

1. Гадзало, Я.М. Агробиология ризосферы растений: монография / Я.М. Гадзало, Н.В. Патыка, А.С. Заришняк. – Киев: Аграрная наука, 2015. – 386 с.
2. Смирнов, В.В. Бактерии рода *Bacillus* – перспективный источник биологически активных веществ / В.В. Смирнов, И.Б. Сорокулова, И.В. Пинчук. //Микробиологический журнал. - 2001. – Т. 63, № 1. – С. 72–78.
3. Нетрусов, А.И. Экология микроорганизмов /А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко. - М.: Академия, 2004. – 272 с.
4. Olanrewaju, O.S. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria / O.S. Olanrewaju, B.R. Glick, O.O. Babalola. //World Journal of Microbiology and Biotechnology. — 2017. – Vol. 33, № 11. – С. 197 – 204.
5. Агромікробіологія з основами біотехнології: монографія / Я.М. Гадзало [та ін.]. – Київ: Аграрна наука НААН, 2019. – 204 с.