

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МИКРООРГАНИЗМОВ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ: ОБЗОР

В связи с возрастающим интересом к экологизации и биологизации земледелия в почвенной микробиологии растет число работ, связанных с использованием экологических взаимодействий представителей полезной микрофлоры для улучшения условий питания и произрастания растений, повышения качества продукции, биологического контроля фитопатогенов и т.д.

Фундаментальные основы обсуждаемой темы заложены в трудах Н. А. Красильникова, Ю. М. Возняковской и О. М. Берестецкого [1–3].

Круг использования микроорганизмов в сельском хозяйстве достаточно традиционен. Это бактериальные препараты из свободноживущих,

симбиотических и ассоциативных азотфиксирующих бактерий, стимуляторов роста растений и агентов биологического контроля фитопатогенных организмов различных таксономических групп: грибов, нематод, насекомых.

В последние годы растет число работ, результаты которых показывают, что при учете экологических взаимодействий микроорганизмов между собой можно значительно повысить эффективность бактериальных препаратов.

Известно, что микробный антагонизм лежит в основе такого явления, как почвенная супрессивность, и обеспечивает равновесие между сапротрофной, паразитной и патогенной микрофлорой

почв в естественных экосистемах. Нарушение этого равновесия приводит к почвоутомлению или почвенной кондуктивности. Эффект супрессивной микрофлоры сильнее проявляется в ризосфере и ризоплане растений. Почвенная супрессивность – результат трех межвидовых взаимоотношений микроорганизмов: конкуренция за питание; антибиоз и биотрофное действие. В нейтральных и щелочных почвах биотическим фактором почвенной супрессивности являются ризобактерии – продуценты сидерофоров и ассоциативные азотфиксаторы. Соответственно это представители флуоресцирующих псевдомонад *Pseudomonas fluorescens*, *Ps. putida*, *Ps. cerasi* и азотфиксаторы из рода *Azospirillum* [4].

Способность целлюлозолитических бактерий *Cellulomonas biazotea* 150 шт., *Cellulomonas effusa* 60 шт. и *Bacillus cytaseus* 21 шт., *B. acidocaldarius*, *B. coagulans*, *B. subtilis* выделять экзоцеллюлазы использовалась нами для повышения всхожести твердых семян донника, эспарцета и козлятника [5].

В почвах железо преобладает в форме трехвалентных ионов. Их растворимость крайне мала: при pH 7,4 она равна 10^{-18} М. Сидерофоры эффективно связывают Fe^{3+} в хелатные соединения, после попадания комплексов внутрь клеток железо из хелатов высвобождается и используется бактерией. В условиях дефицита доступного железа в ризосфере развитие фитопатогенных микроскопических организмов прекращается. Кроме того, микроорганизмы-супрессоры выделяют целый спектр биологически активных веществ – антибиотики (феназины, агроцины, флороглюцинол, пиолутеорин, гербиколин, оомицин, пироллнитрин); регуляторы роста растений (ИУК, фитокнины, индол-3-пропионовая кислота); экзоферменты (хитиназа, β -1,3-глюканаза, протеаза и липаза); летучие соединения (спирты, этилен, закись азота). БАВ супрессоров ведут к гибели разных фитопатогенных микроорганизмов [6].

А. И. Шапошников с сотр. [7] выделили из ризосферы проростков томатов и огурцов ризобактерии, которые выделяли летучие цианиды и тем самым подавляли рост фитопатогенного гриба *Pythium aphanidermatum* st.89 без непосредственного контакта с грибом. Отмечена также высокая протеазная и липазная активность изолятов.

Интересны также сообщения [8, 9], в которых показано, что почвенные черви – нематоды

и энхетреиды являются важными векторами в распространении ризосферных бактерий и сапрофитных грибов в почве, в колонизации ими ризосферы и сайтов почвы, богатых органическим веществом. Без энхетреид и их ходов в почве распространения сапрофитных грибов не наблюдалось.

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что совместные культуры диазотрофов с целлюлозоразрушающими микроорганизмами отличаются высокой стабильностью и высоким уровнем азотфиксации, которая сразу снижается при раздельном выращивании культур. Это явление было открыто еще в 1940 г. А. А. Имшенецким и Л. И. Солнцева [10].

Подобный эффект обнаружен нами в отношении целлюлозолитических культур *B. acidocaldarius*, используемых для коинокуляции вместе с *Rhizobium melilotus*. Ассоциация этих культур в отношении азотфиксации работала эффективнее, чем чистая культура клубеньковых бактерий. В варианте с коинокуляцией были выше биомасса растений, количество клубеньков на корнях и содержание валового азота [11].

В научной литературе появляется все больше публикаций о положительном влиянии на урожай инокулируемых растений и других групп микроорганизмов.

Y. Vai e. a. [12] выделили из корневой системы сои эндофитные бактерии, определенные как *Bacillus subtilis* и *B. thuringiensis*. Коинокуляция этими штаммами семян сои вместе с клубеньковыми бактериями увеличила вес растений по сравнению с инокуляцией только клубеньковыми бактериями. Инокуляция только бациллами никакого положительного эффекта на рост растений и образование клубеньков не оказала, т.е. налицо синергетический эффект от применения двух видов бактерий для инокуляции семян сои.

Индийские исследователи также обнаружили позитивный эффект от коинокуляции растений вигны штаммами *Bacillus sp.* и клубеньковыми бактериями. В этом случае наблюдался прирост биомассы, количества клубеньков и азотфиксации [13].

Г. В. Сафронова и Л. А. Суховицкая [14] показали более высокую эффективность инокуляции бобовых растений искусственной ассоциацией из клубеньковых бактерий и фосфатмобилизующих бактерий.

Американские ученые из Иллинойского университета установили, что эффективность инокуляции клубеньковыми бактериями семян сои значительно снижается за счет конкуренции со стороны естественной популяции клубеньковых бактерий. Бактерицидами можно снизить численность природных брадиризов, но при этом инокулянт должен обладать резистентностью к антибиотикам. Использование устойчивых к антибиотикам штаммов *Bradyrhizobium japonicum* позволяет повышать колонизацию сои. Коинокуляция сои штаммами *Streptomyces kanamyceticus* – продуцента канамицина повысила заселение клубеньков культурой *Bradyrhizobium japonicum* с 0–18,3 до 55%. При этом содержание общего азота увеличилось с 27,1 до 40,9%. Положительный эффект от коинокуляции с актиномицетами объясняется подавлением антибиотиками хищных простейших и конкуренции со стороны спонтанной популяции клубеньковых бактерий сои. Среди исследованных антибиотиков канамицина, тетрациклина, окситетрациклина, рифампицина и неомицина наибольший эффект оказал канамицин. Его эффективность ингибирования природных брадиризов составила 83,3%, тогда как неомицин имел минимальный эффект – 54,1% [15].

Грузинские исследователи отмечают наибольший позитивный эффект от коинокуляции сои сорта *Adreula 6* клубеньковыми бактериями *Bradyrhizobium japonicum*, шт. 2 и 46, и ассоциативной бактерией *Azospirillum brasilense*, шт. 13. Для вариантов опыта контроль – без инокуляции; инокуляция *B. japonicum*, шт. 2; 46; шт. 2 + *Azospirillum brasilense* шт. 13; шт. 46+ шт. 13 были получены следующие данные: по урожаю зерна сои – 30,9; 36,7; 35,1; 35,7 и 38,0 ц/га; по содержанию белка в семенах – 35,0; 40,5; 37,3; 42,4; 41,0%; по нитрогеназной активности – 3,51; 4,80; 4,05; 7,80; 6,22 нМ С₂Н₄/г сырой массы клубеньков соответственно [16].

Синергический эффект от совместного инокулирования кукурузы бактериальными препаратами на основе азотобактера и *Pseudomonas sp. st. В-6798* наблюдался российскими исследователями. Позитивный эффект обнаружен как для отдельного, так и для совместного инокулирования, увеличились длина проростков, корней,

количество корешков, но в последнем случае одновременно подавлялись рост и развитие патогенных грибов [17].

В исследованиях канадских ученых [18] обработка семян сои культурой *Bacillus cereus* UW85 и клубеньковыми бактериями в контролируемых условиях увеличила азотфиксацию на 12%, количество клубеньков на 16% по сравнению с вариантом без совместной инокуляции.

Российские [19] и украинские ученые [20] отмечают высокую эффективность совместной инокуляции семян гороха и сои соответствующими клубеньковыми бактериями и микоризными грибами *Glomus intraradices*, *G. fasciculatum*. Для сои урожай семян составил соответственно по вариантам опыта: контроль – 2,7 ц/га, инокуляция ризобиями – 14,7; инокуляция микоризными грибами – 15,4; коинокуляция – 16,1 ц/га. Через год цифры составили 20,5; 22,4; 21,5 и 23,5 ц/га соответственно. В последнем варианте были самые высокие показатели содержания белка и масла в семенах сои. Авторы [19] считают, что данный подход является перспективным для разработки нового типа промышленных инокулянтов клубеньковых бактерий и грибов арбускулярной микоризы.

Таким образом, на основании литературных данных можно выделить перспективное направление исследований в биологическом земледелии – создание полибактериальных препаратов с широким спектром биологического действия. Необходимо шире использовать экологические взаимодействия между полезной микрофлорой для увеличения урожая сельскохозяйственных культур и качества продукции.

В качестве обобщения важности поднятой проблемы сошлемся на идею Е. С. Лобаковой [21] об использовании в качестве нового направления исследований в этой области ассоциативной симбиологии. Она обосновывает применение многокомпонентного состава симбиотических микроорганизмов с разными полезными функциями для растений. Показано, что использование ассоциативного комплекса микросимбионтов (АКМ) из синцианозов саговников и папоротника рода *Azolla* стимулировало рост рапса, табака, риса и паслена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красильников Н.А. Микроорганизмы почв и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
2. Возняковская Ю.М. Микрофлора растений и урожай. Л.: Колос, 240 с.
3. Берестецкий О.М. Роль культурных растений в формировании микробных сообществ почв: Автореф. докт. дис. М., 1982. 29 с.
4. Филичук О.Д., Соколов М.С., Павлова Т.В. Использование супрессивности почвы в защите растений от возбудителей корневых инфекций // Агрехимия. 1997. №8. С. 81-92.
5. Курманбаев А.А. Микробиологические аспекты проблемы всхожести семян культурных растений // Поиск. 2002. №1. С. 73-79.
6. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение. М.: Мир, 2002. 589 с.
7. Шапошников А.И., Макарова Н.М., Кравченко Л.В., Тихонович И.А. Ингибирование развития фитопатогенных грибов ризобактериями в ризосфере овощных культур // Стратегия взаимодействия микроорганизмов с окружающей средой: Мат-лы 1-й регион. конф. молодых ученых. Саратов, 2002. С. 26-27.
8. Knox G.G.G., Killhan K., Mullins C.E., Wilson M.J. // FEMS Microbiol. Lett. 2003. V. 225. P. 227-233.
9. Rantalainen M.L., Fritze H., Haimi J. et al. Do enchytraeid worms and habitat corridors facilitate the colonization of habitat patches by soil microbes? // Biol. and Fert. Soils. 2004. V. 39, N3. P. 200-208.
10. Имшенецкий А.А., Солнцева Л.А. Симбиоз целлюлозных и азотфиксирующих бактерий // Микробиология. 1940. Т. 9, вып. 9-10. С. 783-785.
11. Курманбаев А.А. Синергизм целлюлозолитических и клубеньковых бактерий в обеспечении азотом растений донника // Вестн. с.-х. науки Казхетана. 2001. №11. С. 21-23.
12. Bai Y., D'Aoust F., Smith D.L., Driscoll B.T. Isolation of plant-growth-promoting *Bacillus* strains from soybean root nodules // Canadian Journal of Microbiology. 2002. V. 48. P. 230-238.
13. Sindhu S.S., Gupta S.K., Suneja S., Dadarwel K.R. Enhancement of green gram nodulation and growth by *Bacillus* sp. // Biol. Plant. 2002. V. 45, N 1. P. 117-120.
14. Сафронова Г.В., Суховицкая Л.А. Эффективность инокуляции бобовых растений искусственной ассоциацией ризосферных бактерий // Вестн. НАН Беларуси. Сер. биял. н. 2001. №3. С. 57-61.
15. Gregor A.K., Klubek B., Varsa E.C. Identification and use of actinomycetes for enhanced nodulation of soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* // Canadian Journal of Microbiology. 2003. V. 49, N 8. P. 483-491.
16. Basilashvili I., Kikvidze M., Bagalishvili M. Nutsbidze N. Selection of mixed and monocultures of nitrogen-fixing microorganisms for production of microbial preparations // Bull. Georg. Acad. Sci. 2004. V. 169, N 1. P. 161-163.
17. Евдокимов Е.В., Бондаренко А.А., Минаева О.М. Синергические эффекты бактериальных препаратов на рост и развитие кукурузы (*Zea mays*) // Экология сегодня. 2001. №1. С. 14-16.
18. Vessy J.K., Buss T.J. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effect on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes: Controlled Environment studies // Can. J. Plant Sci. 2002. V. 82, N 2. P. 283-290.
19. Борисов А.Ю., Наумкина Т.С., Штарк О.Ю., Данилова Т.Н., Цыганов Б.Е. Эффективность использования совместного инокулирования гороха посевного грибами арбускулярной микоризы и клубеньковыми бактериями // Докл. Рос. акад. с.-х. н. 2004. № 2. С. 12-14.
20. Лабутова Н.М., Полякова А.И., Лях В.А., Гордон В.Л. Влияние инокуляции растений клубеньковыми бактериями и эндомикоризным грибом *Glomus intraradices* на урожай различных сортов сои и содержание белка и масла в семенах // Докл. Рос. акад. с.-х. н. 2004. № 2. С. 10-12.
21. Лобакова Е.С. Ассоциативные микроорганизмы растительных симбиозов: Автореф. ... докт. дис. М., 2004. 44 с.

Резюме

Шолуда пайдалы топырақтық микрофлоралардың өкілдері мен жоғары өсімдіктердің арасындағы экологиялық әрекетті қолданудың қазіргі таңдағы талаптары қарастырылды. Осы күнгі әдебиеттер мен жеке мәліметтер берілген.

Summary

In the review modern questions of use of ecological interactions between representatives of useful soil microflora with the plant are considered. The modern literature and own data are submitted.

УДК 579: 574; 579.64: 631.46

Институт микробиологии
и вирусологии МОН РК,
г. Алматы

Поступила 2.08.06г.