

ISSN 0558-1125

УДК 579.26:631.46:574.24

ПОЧВЕННЫЕ ФАКТОРЫ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ МИКРОБНЫХ АГЕНТОВ В СИСТЕМЕ РИЗОСФЕРЫ

Т.И. ПАТЫКА, доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией Института садоводства (ИС) НААН Украины, 03027, Киев-27, ул. Садовая, 23, e-mail: patykatyana@mail.ru

Н.В. ПАТЫКА, доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом ННЦ «Институт земледелия НААН» (ННЦ «ИЗ НААН»), 08162, Чабаны, ул. Машиностроителей, 2в, e-mail: n_patyka@mail.ru

Представлены данные изучения изменений почвенных факторов (агрегатное состояние, пустоты, биохимические процессы и состав микрофлоры), позволяющих контролировать гетерогенные условия в зоне ризосферы растений. Конечным результатом этого является локальное формирование микросред, влияющих на активность и экспрессию генов, что определяет функциональные способы использования микробных агентов в биологическом контроле. Задача современных исследований заключается в раскрытии механизмов, формирующих ризосферу, а также их влияния на микробных агентов, а экология растительно-микробных взаимодействий требует всестороннего изучения.

Ключевые слова: почва, ризосфера, микробные сообщества, экссудаты, биоконтроль.

Почвы характеризуются определенной агрегатной структурой, пространственной и количественной дифференциацией гранулометрического и химического состава (глинистые и иловые частицы, пески, органические вещества, рН и т.д.), а также наличием пустот и капилляров, которые обладают газовой средой, заполнены различными водными растворами, а также разными почвенными микробными группами [1, 5, 6, 19].

В этих условиях формируются разнообразные микросреды, определяющие распределение, активность и физиологию микробных агентов биологического контроля. Например, одним из основных лимитирующих факторов формирования ризосферы растений становится нарушение почвенного матричного потенциала, формирующего вертикальные трофические потоки питательных веществ, которые определяют текстуру распределения бактерий по корневой системе [10, 12].

Мелкие капилляры представлены микросредами, в которые поступает и сохраняется вода из нижних почвенных горизонтов, при этом снижается воздействие стрессовых условий пересыхания на микроорганизмы. Поры и пустоты почв также определяют размер и влияют на паразитизм бактерий и простейших организмов [18]. Абиотические факторы почвы, такие как

Садівництво. 2015. Вип. 69

pH, температура, осмос, плотность тоже влияют на микроорганизмы и их функции. Химический состав почвы, в свою очередь, воздействует на жизнедеятельность микроорганизмов. Изменения количества и концентрации почвенных растворов, содержащих азот, калий и фосфаты, определяют жизнеспособность *Azospirillum brasilense* [3].

Помимо жизнеопределяющей роли, почвенные абиотические условия оказывают влияние на экспрессию генов бактериальных агентов в биологическом контроле. Например, ряд почвенных факторов воздействует на продуцирование вторичных метаболитов бактерий *Pseudomonas fluorescens* [7]. Повышенная концентрация в почвенном растворе соединений железа ингибирует биосинтез сидерофоров пиовердина и пиохелина, а при низком содержании кислорода и доступности железа подавляет продуцирование цианистого водорода у некоторых псевдомонад. Установлено, что концентрация кислорода, pH и температура влияют на синтез антибиотика феназин-1-карбоксимиды у бактерий *P. chlororaphis* [17]. Данные этих исследований экспрессии генов нашли подтверждение при оценке физических и химических факторов почвы, оказывающих влияние на распространение патогенов с использованием бактериальных агентов в биоконтроле.

Таким образом, становится очевидным, что изменения многочисленных почвенных факторов (агрегатный состав, пустоты, биохимические процессы и состав микрофлоры) позволяют контролировать гетерогенные условия в зоне ризосферы растений. Конечным результатом этого является локальное формирование в корневой системе разнообразных уникальных микросред, каждая из которых влияет на активность, распределение и экспрессию генов, что в конечном счете определяет функциональные способы использования бактериальных агентов в биоконтроле.

Кроме того, в процессе роста и развития корневой системы в ризосферу продуцируется разнообразный спектр органических и неорганических экссудатов, которые формируют почвенную растительно-микробную систему. Усвоение и продуцирование этих соединений определяет физические и химические свойства почвы и состав ризосферной микрофлоры, а также образует сложные и неоднородные микросреды, условия которых должны учитываться при использовании бактериальных методов биологической защиты растений. Так, при снижении продуцирования углеродсодержащих экссудатов выделение протонов и электронов приводит к образованию недиссоциированных кислот и соединений. Подкисление почвенной среды обусловлено выделением протонов и органических кислот семенами и корнями на фоне поглощения питательных ионов растениями [8]. Имеются многочисленные данные о том, как последние могут определять свойства почвы посредством изменения показателя pH и как они определяют процессы почвообразования. Органические экссудаты, выделяемые в почву растением, форми-

руют среду ризосферы и определяют функциональный питательный режим бактериальных агентов в биконтроле. Большая часть экссудатов растений представлена особыми водорастворимыми биологически активными веществами, которые выделяются с различной активностью. Органические соединения, входящие в состав и продуцируемые семенами и корневой системой, определяют формирование взаимодействия с бактериальными агентами при биологическом контроле, используемого в качестве оптимизатора питательного режима растений, аттрактантов и т.д. Один из самых значительных факторов, при помощи которых возможно определять и регулировать онтогенез растений — это использование бактериальных агентов, способных эффективно интродуцироваться и взаимодействовать с ними в их системе (в т.ч. спермо- ризосфере).

Следовательно, растительная ризосфера является уникальной почвенной средой, особенность которой состоит в постоянном поступлении низкомолекулярных соединений в виде корневых экссудатов. В ней поддерживается большое количество метаболически активной микрофлоры, биомасса и полиморфизм которой может быть выше на несколько порядков, чем в обычном объеме почвы [14]. Взаимодействия между растениями и микроорганизмами не достаточно раскрыты. Проведенные же исследования свидетельствуют об исключительной сложности этих взаимодействий и влияющих на них факторов [9]. Несмотря на то, что ризосфера — довольно сложная система, чтобы полностью ее контролировать и функционально управлять определенными таксонами микроорганизмов, имеются положительные примеры успешного использования некоторых видов ростстимулирующих ризосферных бактерий (РРБ), например, для инокуляции семян и корней. Тем самым они формируют состав ризосферы и определяют уровень онтогенеза культур. Потенциал применения РРБ в биологической защите растений обусловлен экологичностью и подтвержден большим количеством исследований, например, с использованием бактерий рода *Pseudomonas*, так как они зачастую являются компонентами ризосферы. Индукция системной устойчивости у растений и продуцирование антибиотических веществ, скажем, феназина и флороглюцина, лежит в основе ключевых механизмов биологического контроля, связанного с вышеназванными бактериями [4].

В дополнение к использованию микроорганизмов как агентов биоконтроля патогенов имеется возможность стимулировать активность полезной микробиоты — эндомикориз и ростстимулирующих ризобактерий. Кроме растительно-микробных взаимодействий, большое значение в ризосфере имеет взаимосвязь между самими микроорганизмами. Учеными проводилась оценка функций и биологической активности всех составляющих таксонов ассоциаций микроорганизмов [1], а также исследования по раскрытию механизмов, обуславливающих подобного рода взаимодействия [11]. Формирование функциональных синтропных ассоциаций ризобактерий имеет экологическое значение для аграрного кластера.

Состав и количество ризосферных микроорганизмов регуляторно определяет и контролирует уровень функциональных возможностей. Такая межвидовая бактериальная коммуникация в будущем даст возможность управлять структурой бактериальных сообществ в ризосфере для повышения уровня аграрного производства. Селективное формирование разнообразия микробного комплекса ризосферы имеет значение не только для повышения конкурентноспособности в защите растений. Следует также учитывать сложный комплекс физиологических особенностей последних.

На сегодняшний день доказана исключительная роль контроля изменений многочисленных почвенно-растительных факторов и гетерогенных условий формирования ризосферы. В ее зоне в масштабах агроценозов культурных растений образуются и функционируют миллиарды уникальных локальных микросред, каждая из которых обладает потенциалом определения уровня распределения и функций бактериального метагенома [13]. Неспособность контролировать распространение патогенов обусловлена условиями среды, включающей недостаточное заселение зон ризосферы микроорганизмами, а также что соответственно сказывается на эффективности возможностей конкурировать и ингибировать патогены; аномальное физиологическое состояние ризосферных микроорганизмов в определенных прикорневых зонах, не позволяющее эффективно подавлять патогенный комплекс.

Улучшение эффективного взаимодействия бактериальных и других агентов контроля в масштабах биоценоза необходимо для достижения цели повсеместного использования биологического контроля в аграрном производстве. Подходы, улучшающие взаимодействие с микробными агентами биоконтроля, должны учитывать пространственную неоднородность физических, химических и биологических особенностей растительной системы, включая интегрированное действие в мутуалистических стратегиях борьбы с патогенами. Комплексное использование различных микробных агентов в научных биологически обоснованных технологиях дает возможность контролировать распространение патогенов в насаждениях культурных растений, а комбинированное использование микроорганизмов позволяет повысить их эффективность, а также усилить экологическую адаптацию. Комплекс микроорганизмов (ассоциации, консорциумы) под сельскохозяйственными культурами повышает возможность эффективно ингибировать патогены в широком диапазоне условий.

Задача современных исследований заключается в раскрытии механизмов, формирующих ризосферу, а также их влияния на микробных агентов. Комбинированное применение микроорганизмов в стратегии биологического контроля или других биотехнологиях возможно при полном взаимодействии всех условий и компонентов микросреды.

При наличии большого количества примеров и данных относительно положительного влияния на рост и развитие растений при комбинированной инокуляции микроорганизмами [12, 15] в настоящее время растет интерес к расширению функциональных возможностей биотехнологического использования и управления ризосферными процессами на разном уровне. Эффект достигается за счет непосредственной обработки посевного семенного материала, а также внесения в почвенную среду биоудобрений. Такие биотехнологические методы способствуют раскрытию физиологического потенциала растений и повышению их жизнеспособности. Обработка семян микробными агентами и применение их в качестве биоудобрений должны осуществляться исключительно с учетом научно обоснованных адаптивно-ландшафтных особенностей аграрного производства.

В заключение следует подчеркнуть, что микроорганизмы являются принципиально важными компонентами среды обитания почвы, в которых они играют ключевую роль в функционировании экосистем посредством контроля реакции питательных циклов. В почве осуществляются многочисленные микробные взаимодействия, регулируемые сложным молекулярным сигналингом. Каждый отдельный флотип микробного сообщества играет свою особую роль и занимает специфическую нишу, которая не может быть легко и в полной мере заменена другими организмами, присутствующими в системе. Разнообразие таких почвенных сообществ зависит от разнообразия растений и экологических колебаний, обусловленных изменениями состава корневых экссудатов. Однако краткосрочные нарушения баланса микробной системы почвы не могут иметь значительных последствий для ее функциональной составляющей, т.к. имеется большое количество компенсирующих факторов, поддерживающих ее гомеостаз. Экология микробных взаимодействий, формирующих среду и проходящих в почве, требует всестороннего изучения. Поэтому в дальнейших работах ученых необходимо расширить понимание того, насколько уровень почвенных функциональных факторов определяет микробную динамику.

Список используемой литературы

1. Barea J.M., Azcon R., Azcon-Aguilar C. Mycorrhizal fungi and PGPR /In: Kamp R.M., Calvete J.J., Choli-Papadopoulou T. (eds). Principles and practice: methods in proteome and protein analysis /Springer - Berlin - Heidelberg - New York, 1992 /Vesicular-arbuscularmycorrhizal fungi in nitrogen-fixing legumes: problems and prospects //Methods Microbiol. – 2004. – 24. – P. 375-389.
2. Buyer J.S., Roberts D.P., Russek-Cohen E. Microbial community structure and function in the spermosphere as affected by soil and seed type //Can. J. Microbiol. – 1999. – 45. – P. 138-144.
3. Bashan Y., Puente M.E., Rodriguez-Mendoza M.N. (eds.). Survival of *Azospirillum brasilense* in the bulk soil and rhizosphere of 23 soil types //Appl. Environ. Microbiol. – 1995. – 61. – P. 1938-1945.

4. Chin-A-Woeng T.F.C., Bloemberg G.V., Lugtenberg B.J. Phenazines and their role in biocontrol by *Pseudomonas* bacteria //New Phytol. – 2003. – 157. – P. 503-523.
5. Foster R.C. Microenvironments of soil microorganisms //Biol. Fertil. Soils. – 1988. – 6. – P. 189-203.
6. Garbeva P., van Veen J.A., van Elsas J.D. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness //Annul. Rev. Phytopathol. – 2004. – 42. – P. 243-270.
7. Haas D., De'fago G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads //Nat. Rev. Microbiol. – 2005. – 3. – P. 307-319.
8. Hartman A., Schmid M., van Tuinen D., Berg G. Plant-driven selection of microbes //Plant Soil. - 2009. – 321. – P. 235-257.
9. Lugtenberg B.J.J., Dekkers L.C. What makes *Pseudomonas* bacteria rhizosphere competent? //Environ. Microbiol. – 1999. – 1. – P. 9-13.
10. Liddell C.M., Parke J.L. Enhanced colonization of pea taproots by a fluorescent pseudomonad biocontrol agent by water filtration into soil //Phytopathology. – 1989. – 79. – P. 1327-1332.
11. Ma W., Guinei F.C., Glick B.R. *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase promotes nodulation of pea plants //Appl. Environ. Microbiol. – 2003. – 69. – P. 4396-4402.
12. Monticelli S., Puppi G., Damiano C. Effects of *in vivo* mycorrhization on *Micropropagated* fruit tree rootstocks //Appl. Soil. Ecol. – 2000. – 15. – P. 105-111.
13. Patyka N.V., Kruglov Yu. TRFLP Profile of the assemblage of prokaryotic microorganisms in podzolic soils //Russian Agricultural Sciences. Vol. 34. – 2008. – № 6. – P. 386-388.
14. Scott E.M., Rattray E.A.S., Prosser J.I. (eds.). A mathematical model for dispersal of bacterial inoculants colonizing the wheat rhizosphere //Soil Biol. Biochem. – 1995. – 27. – P. 1307-1318.
15. Schloter M., Wiehe W., Assmus B. (ed.). Root colonization of different plants by plant-growth promoting *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* R39 studied with monospecific polyclonal antisera //Appl. Environ. Microbiol. – 1997. – 63. – P. 2038-2046.
16. Sharmila P., Jos T.P., Pardha Saradhi P. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi improves establishment of micropropagated plants /In: Mukerji K.G., Chamola B.P., Singh J. (eds.). Mycorrhizal biology. – New York - Dordrecht : Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000. – P. 236-250.
17. van Rij E.T., Wesselink M., Chin-A-Woeng T.F.C., (eds.). Influence of environmental conditions on the production of phenazine-1-carboxamide by *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 //Mol. Plant Microbe Interact. – 2004. – 17. – P. 557-566.
18. van Veen J.A., van Overbeek L.S., van Elsas J.D. Fate and activity of microorganisms introduced into soil //Microbiol. Mol. Biol. Rev. – 1997. – 61. – P. 121-135.
19. Wieland G., Neumann R., Backhaus H. Variation in microbial communities in soil, rhizosphere, and rhizoplane in response to crop species, soil type, and crop development //Appl. Environ. Microbiol. – 2001. – 67. – P. 5849-5854.

SOIL FACTORS AND BIOLOGICAL CONTROL OVER MICROBIC AGENTS IN THE RHIZOSPHERE SYSTEM

T.I. PATYKA, Doc Agr Sci, Senior Research Worker, Head of the Laboratory

Institute of Horticulture, NAAS of Ukraine, 03027, Kyiv-27, 23, Sadova St., e-mail: patykatatyana@mail.ru

N.V. PATYKA, Doc Agr Sci, Senior Research Worker, Head of the Department

NSC «Institute of Agriculture of NAAS of Ukraine », 08162, Chabany, 2-b, Mashynobudivnyky St., e-mail: n_patyka@mail.ru

The authors present the data of studying changes of soil factors (state of aggregation, emptiness, biochemical processes and the composition of the microflora), which monitor heterogeneous conditions in the sphere of plant rhizosphere. The final result of this is the formation of local microenvironments that control the activity and gene expression that determines the functional ways of using microbial agents in the biological control. The task of current researches is to uncover the mechanisms that form the rhizosphere and their effect on microbial agents, and ecology of plant-microbe interactions requires comprehensive study.

Key words: soil, rhizosphere, microbial communities, exudates, biocontrol.

ГРУНТОВІ ФАКТОРИ ТА БІОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ МІКРОБНИХ АГЕНТІВ У СИСТЕМІ РИЗОСФЕРИ

Т.І. ПАТИКА, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, завідувача лабораторією

Інститут садівництва (ІС) НААН України, 03027, Київ-27, вул. Садова, 23, e-mail: patykatatyana@mail.ru

Н.В. ПАТИКА, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, завідуючий відділом

ННЦ «Інститут землеробства НААН» (ННЦ «ІЗ НААН»), 08162, Чабани, вул. Машинобудівників, 2в, e-mail: n_patyka@mail.ru

Представлено дані вивчення змін ґрунтових факторів (агрегатний стан, пустоти, біохімічні процеси і склад мікрофлори), що дозволяють контролювати гетерогенні умови в зоні ризосфери рослин. Кінцевим результатом цього є локальне формування мікросередовищ, які впливають на активність і експресію генів, що визначає функціональні способи використання мікробних агентів у біологічному контролі. Завдання сучасних досліджень полягає в розкритті механізмів, які формують ризосферу, а також їх впливу на мікробних агентів, а екологія рослинно-мікробних взаємодій вимагає всебічного вивчення.

Ключові слова: ґрунт, ризосфера, мікробні угруповання, ексудати, біоконтроль.

Одержано редколегією 12. 12. 2014