

УДК 581.1:579.64:632.4

**КОЛИЧЕСТВО АУКСИНОВ В РИЗОСФЕРЕ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНТНЫХ
ВЗАИМООТНОШЕНИЙ *FUSARIUM CULMORUM* И *PSEUDOMONAS FLUORESCENS*****А.И. Шапошников, Н.А. Вишневская, О.К. Струнникова***Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия*

В настоящее время высок интерес к экологически чистым биопрепаратам на основе ризосферных бактерий, повышающих урожайность сельскохозяйственных культур (Malusa et al., 2012). При этом вопрос о механизмах взаимодействия между микроорганизмами и растениями в ризосфере, о процессах регулирования жизнедеятельности растительно-микробных систем остается до сих пор недостаточно изученным и привлекает большое внимание исследователей. Одним из аспектов регулирования растительно-микробных взаимодействий является гормональный баланс в ризосфере, который связан как с гормональной активностью самого растения, так и с действием фитогормонов, продуцируемых микроорганизмами, заселяющими поверхность корней и прикорневую область – ризосферу. Продуцирование фитогормонов, витаминов и других биологически активных веществ микроорганизмами является одним из важнейших механизмов, определяющих развитие и функционирование растительно-микробных ассоциаций (Цавкелова и др., 2006; Spaepen et al., 2007).

Уже не одно десятилетие значительное внимание уделяется роли ауксинов, синтезируемых ростстимулирующими ризобактериями (PGPR – plant growth promoting rhizobacteria), в стимуляции роста и питания растений, поскольку способность синтезировать фитогормон индолил-3-уксусную кислоту (ИУК) широко распространена среди микроорганизмов, населяющих ризосферу растений (Frankenberger, Arshad, 1995; Spaepen et al., 2007). В результате этих исследований изучены биохимические пути и гены, ответственные за синтез ИУК, а также фенотипические эффекты экзогенных ауксинов на растения (Frankenberger, Arshad, 1995; Spaepen et al., 2007). Показан положительный эффект ауксинов, синтезируемых PGPR, на инициацию и удлинение корней, развитие боковых корней и корневых волосков, что может иметь значение для ускоренного роста, потребления питательных элементов и устойчивости к стрессам всего растения (Kazan, 2013; Ambreen and Hasnain, 2014).

Исследование потребления компонентов корневых экссудатов ячменя *Hordeum vulgare* L. сорта Белогорский фитопатогенным грибом *Fusarium culmorum* 30 и штаммом PGPR *Pseudomonas fluorescens* 2137 показало, что аминокислота L-триптофан (предшественник, необходимый для микробного синтеза ауксинов) активно утилизируется как бактериями, так и грибом (Шапошников и др., 2019). Для анализа наличия в корневых экссудатах ауксинов в стерильный вермикулит, содержащий раствор минеральных питательных элементов, суспензии макроконидий гриба (10^3 клеток/мл) и клеток бактерий (10^5 клеток/мл) (по отдельности и совместно) высаживали проросшие стерильные семена ячменя. Через 36 часов, когда гриб и бактерии уже колонизировали корни, растения аккуратно извлекали, отмывали от вермикулита и переносили в стерильные сосуды, содержащие деионизированную воду. Растения (стерильные и заселенные микроорганизмами) инкубировали в воде сутки, после чего растворы, содержащие корневые экссудаты, очищали от микроорганизмов и корневых остатков центрифугированием. Количество ауксинов и L-триптофана в корневых экссудатах оценивали методом ультра-производительной жидкостной хроматографии (UPLC) с использованием системы Waters ACQUITY UPLC H-класса (Waters, США).

Результаты хроматографического анализа ауксинов представлены в таблице. Количество ИУК в суточных корневых экссудатах ячменя в присутствии микроорганизмов в среднем было в 2–3.8 раз выше, чем в экссудатах стерильных растений. В экссудатах стерильных растений наблюдалось высокое содержание индолил-3-карбоновой кислоты (ИКК) – продукта деградации молекул ИУК, тогда как в вариантах с инокуляцией ее количество резко снижалось.

Таблица – Количество ауксинов в корневых экссудатах ячменя (мкг/г сухой биомассы растений)

Вариант	ИУК	Индолил-3-карбоновая
Стерильные растения	0.04 ± 0.01	1.6 ± 0.48
<i>F. culmorum</i> 30	0.15 ± 0.05	0.08 ± 0.03
<i>P. fluorescens</i> 2137	0.09 ± 0.03	0.09 ± 0.05
<i>F. culmorum</i> + <i>P. fluorescens</i>	0.09 ± 0.04	0.35 ± 0.08

В условиях конкуренции фитопатогенного гриба и *P. fluorescens* 2137 (вариант с двойной инокуляцией растений) количество ИУК в среднем соответствовало варианту с инокуляцией штаммом PGPR, а количество индолил-3-карбоновой кислоты было в 3.9–4.3 раза выше, чем при моноинокуляции. Количество L-триптофана в суточных экссудатах было самым низким в варианте с двойной инокуляцией (в 8.5 раз относительно стерильных экссудатов), что соответствует выявленной конкуренции за эту аминокислоту между *F. culmorum* и *P. fluorescens* (Шапошников и др., 2019). Гриб снижал количество L-триптофана в корневых экссудатах в 2.5 раза относительно стерильных экссудатов, а в варианте с инокуляцией растений *P. fluorescens* 2137 его количество практически оставалось на уровне стерильных экссудатов, что может быть связано с известным эффектом усиления корневой экссудации аминокислот под действием ризосферных микроорганизмов (Phillips et al., 2004).

Таким образом, заселение корней фитопатогенным грибом *F. culmorum* 30 и ризобактериями *P. fluorescens* 2137 уже через сутки вызывает увеличение количества фитогормона ИУК в корневых экссудатах ячменя. Количественная динамика ауксинов на более длительных сроках развития растительно-микробной системы в условиях конкуренции фитопатогенного гриба и PGPR, влияние микроорганизмов и их конкурентных взаимоотношений на метаболизм ауксинов в ризосфере и растительном организме требуют дальнейших исследований.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-016-00111.

ЛИТЕРАТУРА

Цавкелова Е.А., Климова С.Ю., Чердынцева Т.А., Нетрусов А.И. Микробные продуценты стимуляторов роста растений и их практическое использование: обзор // Прикладная Биохимия и Микробиология. 2006. № 2. С. 133–143.

Шапошников А.И., Вишневская Н.А., Шахназарова В.Ю., Белимов А.А., О.К. Струнникова. Роль корневых экссудатов ячменя как источника питания во взаимоотношениях между *Fusarium culmorum* и *Pseudomonas fluorescens* // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 5. С. 301–308.

Ambreen A., Hasnain S. Auxins as one of the factors of plant growth improvement by plant growth promoting rhizobacteria // Polish Journal of Microbiology. 2014. V. 63. № 3. P. 261–266.

Frankenberger W.T. Arshad M. Phytohormones in soils: production and function. Marcel Dekker, Inc. N.Y. – 1995. – 503 p.

Kazan K., Auxin and the integration of environmental signals into plant root development // Annals of Botany. 2013. V. 112. P. 1655–1665.

Malusa E., Sas-Paszt L., Ciesieska J. Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers // The Scientific World Journal. 2012. Article ID 491206. doi: 10.1100/2012/491206

Phillips D.A., Fox C.T., King M.D., Bhuvaneswari T.V., Teuber L.R. Microbial products trigger amino acid exudation from plant roots // Plant Physiology. 2004. V. 136. P. 2887–2894.

Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling // FEMS Microbiology Reviews. 2007. V. 31. P. 425–448.

Talboys P.J., Owen D.W., Healey J.R., Withers P.J.A., Jones D.L. Auxin secretion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 both stimulates root exudation and limits phosphorus uptake in *Triticum aestivum* // BMC Plant Biology. 2014. V. 14. P. 51. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/14/51>