

РОЛЬ АЦК ДЕЗАМИНАЗЫ РИЗОБАКТЕРИЙ В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРЫ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ И КОРНЕВЫХ ВОЛОСКОВ У ТОМАТОВ

Д.С. Сырова, П.С. Ульянич, А.И. Шапошников, А.А. Белимов

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

Вопросы о роли ризосферных бактерий в развитии и функционировании корневой системы растений являются весьма актуальными и привлекают пристальное внимание исследователей различных стран (Vacheron et al., 2013; Shibata and Sugimoto, 2019). Целью исследований было раскрытие механизмов образования и эффективного функционирования симбиозов растений с микроорганизмами на примере изучения роли АЦК дезаминазы ризобактерий и стрессового фитогормона этилена в формировании архитектуры корневой системы и корневых волосков у растений томатов. Следует отметить, что в большинстве работ, посвященных на эту тему ризобактериям, наблюдаемые эффекты были представлены в форме качественных данных (рисунков и микрофотографий). Недостаточное внимание было уделено и ризосферным бактериям, содержащим фермент АЦК дезаминазу. В этом отношении интересна работа Контесто с соавторами (Contesto et al., 2008), которые использовали различные виды бактерий (*Phyllobacterium brassicacearum* STM196, *Pseudomonas putida* UW4, *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 128C53K, *Mesorhizobium loti* MAFF303099) и их мутанты по гену АЦК дезаминазы для инокуляции арабидопсиса. Было показано, что АЦК дезаминаза не влияла на удлинение корней и их количество, при этом все штаммы и их мутанты удлиняли корневые волоски.

Исследования проводились по разработанной ранее методике агаровой гнотобиотической системы (Belimov et al., 2007) с томатами сорта Микротом. Объектом изучения были штаммы ризосферных бактерий, обладающие активностью АЦК дезаминазы: ростстимулирующий штамм *Variovorax paradoxus* 5C-2, фитопатогенный для томатов штамм *Pseudomonas brassicacearum* Am3 и его мутант с пониженной активностью АЦК дезаминазы Т8-1. В качестве вариантов сравнения использовали химические регуляторы фитогормона этилена: ингибитор перцепции этилена ионы Ag^+ , ингибитор растительного фермента АЦК-синтетазы ионы Co^{2+} и аминокислоту АЦК. Определяли длину и количество корней и корневых волосков и колонизацию корней бактериями.

Установлено, что ростстимулирующая бактерия *V. paradoxus* 5C-2 стимулировала удлинение основного корня и корневых волосков, а также увеличивали количество корневых волосков, особенно при относительно высокой ($10E6$ кл./мл) плотности вносимого инокулята. Но фитопатогенная бактерия *Ps. brassicacearum* Am3 укорачивала основной и боковые корни, увеличивая длину и количество корневых волосков. Такой эффект штамма *Ps. brassicacearum* Am3 на корневые волоски мог быть связан с укорачиванием клеток корня, а не со стимулированием образования новых волосков. На количество боковых корней бактерии не влияли. Напротив, ингибитор перцепции этилена (Ag^+) стимулировал образование боковых корней, а обработка 10 мкМ АЦК снижала количество боковых корней. Ионы серебра подавляли развитие корневых волосков, в то время как ионы кобальта способствовали их удлинению. Результаты показали важную роль фитогормона этилена в формировании изучаемых компонентов корневой системы. Длина боковых корней, длина и количество корневых волосков у растений инокулированных мутантом *Ps. brassicacearum* Т8-1 была меньше при сравнении с растениями, инокулированными диким типом штаммом Am3. Это указывало на участие бактериальной АЦК дезаминазы в удлинении боковых корней и образовании корневых волосков.

Таким образом, нами впервые проведена количественная оценка влияния контрастных (ростстимулирующих и фитопатогенных) ризосферных бактерий содержащих АЦК-дезаминазу, в сравнении с химическими регуляторами перцепции и биосинтеза этилена на длину и количество корней и корневых волосков у томатов. Бактериальная АЦК дезаминаза улучшает формирование компонентов корневой системы. Эти результаты послужат основой для изучения роли АЦК-утилизирующих ризобактерий в адаптации растений к недостатку влаги.

Таблица. Влияние ризобактерий и химических модуляторов фитогормона этилена на корни томатов сорта Микротом

Варианты опыта	Длина основного корня, см	Длина боковых корней, см	Количество боковых корней, шт. / растение	Длина корневых волосков, мм	Количество корневых волосков, шт. / мм корня
Контроль	22 ± 1 с	29 ± 3 bc	12,1 ± 1,2 b	0,93 ± 0,02 b	72 ± 2 bc
2 μM Ag	24 ± 1 ed	55 ± 4 d	25,7 ± 1,9 c	0,18 ± 0,06 a	10 ± 2 a
2 μM Co	23 ± 1 с	25 ± 2 bc	10,4 ± 0,9 b	1,28 ± 0,02 d	81 ± 3 cd
5C-2 × 10E5	23 ± 1 с	28 ± 3 bc	11,9 ± 1,4 b	1,29 ± 0,04 d	79 ± 3 bcd
5C-2 × 10E6	25 ± 1 e	27 ± 3 bc	11,5 ± 1,2 b	1,40 ± 0,03 e	83 ± 3 d
Am3 × 10E5	21 ± 1 bc	33 ± 4 c	13,7 ± 1,4 b	1,13 ± 0,03 c	86 ± 6 de
Am3 × 10E6	15 ± 1 a	11 ± 1 a	12,3 ± 1,3 b	1,81 ± 0,03 f	122 ± 6 f
T8-1 × 10E5	20 ± 1 b	27 ± 3 b	11,9 ± 1,3 b	1,21 ± 0,05 cd	71 ± 3 b
T8-1 × 10E6	16 ± 1 a	19 ± 3 a	11,2 ± 1,4 b	1,45 ± 0,03 e	95 ± 4 e
1 μM ACC	22 ± 1 с	24 ± b	11,1 ± 1,0 b	0,89 ± 0,02 b	77 ± 5 bc
10 μM ACC	17 ± 1 a	10 ± 1 a	5,1 ± 1,0 a	0,90 ± 0,05 b	113 ± 4 f

Примечание: Штаммы *Variovorax paradoxus* 5C-2, *Ps. brassicacearum* Am3 и его мутант по АЦК дезаминазе T8-1. Указаны средние ± стандартные ошибки средних. Разными латинскими буквами указаны достоверно различающиеся варианты (Критерий НСР Фишера, $P < 0,05$).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075–15–2020–920 от «16» ноября 2020 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Литература

- Belimov A.A., Dodd I.C., Safronova V.I., Hontzeas N., Davies W.J. *Pseudomonas brassicacearum* strain Am3 containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase can show both pathogenic and growth-promoting properties in its interaction with tomato // Journal of Experimental Botany. 2007. V. 58. P. 1485–1495. doi: 10.1093/jxb/erm010.
- Contesto C., Desbrosses G., Lefoulon C., Béna G., Borel F., Galland M., Gamet L., Varoquaux F., Touraine B. Effects of rhizobacterial ACC deaminase activity on Arabidopsis indicate that ethylene mediates local root responses to plant growth-promoting rhizobacteria // Plant Science. 2008. V. 175. No 1–2. P. 178–189. doi:10.1016/j.plantsci.2008.01.020.
- Shibata M., Sugimoto K. A gene regulatory network for root hair development // Journal of Plant Research. 2019. V. 132. P. 301–309. doi: 10.1007/s10265-019-01100-2.
- Vacheron J., Desbrosses G., Bouffaud M.L., Touraine B., Moënné-Loccoz Y., Muller D., Legendre L., Wisniewski-Dyé F., Prigent-Combaret C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning // Frontiers in Plant Science. 2013. V. 4. Paper No 356. doi: 10.3389/fpls.2013.00356.