

Растительно-микробные взаимодействия

УДК 631.46:579.64:581.138.1:581.133:57.044

РЕАКЦИЯ ГОРОХА НА ИНОКУЛЯЦИЮ РИЗОСФЕРНЫМИ АЦК-УТИЛИЗИРУЮЩИМИ БАКТЕРИЯМИ В ПРИСУТСТВИИ ЭНДОМИКОРИЗНОГО ГРИБА *Glomus intraradices**

А.А. БЕЛИМОВ, С.В. ДЕМЧИНСКАЯ, В.И. САФРОНОВА

В вегетационном опыте с генотипами гороха, контрастными по эффективности образования эндомикоризного симбиоза (высокоэффективный генотип 8599 и низкоэффективный генотип 1025), растения выращивали в присутствии или в отсутствие эндомикоризного гриба *Glomus intraradices* CIAM8 и инокулировали ассоциативными бактериями *Pseudomonas brassicacearum* Am3 или *Pseudomonas putida* Вm3, содержащими 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АЦК) дезаминазу. Инокуляция генотипа 8599 штаммом Am3 повысила биомассу побегов и корней на 60 % у немикоризованных растений. У микоризованных растений оба штамма обусловили увеличение биомассы побегов на 40 %, а также биомассы корней на 40 % (штамм Am3) и 70 % (штамм Вm3). Влияния микоризы и бактерий на рост у генотипа 1025 не обнаружили. При микоризации генотипа 8599 ассоциативные бактерии снизили содержание азота в побегах на 20 %, но в отсутствие микоризы повысили содержание фосфора у генотипа 1025 на 25 % (штамм Am3) и 50 % (штамм Вm3). При высокой и одинаковой степени развития микоризных структур у обоих генотипов гороха штамм Вm3 снизил обилие арбускул и везикул в корнях растений у генотипа 8599. Микоризация растений способствовала усилению ростстимулирующего действия бактерий у генотипа 8599. Полученные результаты представляют интерес для эффективного использования био-препаратов и селекции сортов, обладающих высокой симбиотрофностью.

Ключевые слова: арбускулярная микориза, АЦК дезаминаза, инокуляция, растительно-микробные взаимодействия, ризосфера, симбиоз, *Glomus*, *Pisum sativum*, *Pseudomonas*.

Keywords: arbuscular mycorrhiza, ACC deaminase, inoculation, plant-microbe interactions, rhizosphere, symbiosis, *Glomus*, *Pisum sativum*, *Pseudomonas*.

Образование симбиоза с эндомикоризными грибами порядка *Glo-males* (арбускулярная микориза) у большинства сельскохозяйственных культур — важный фактор улучшения минерального, в особенности фосфорного, питания растений и повышения их продуктивности. Однако в результате селекции на фоне применения высоких доз минеральных удобрений симбиотрофность растений снижается (1). Это препятствует развитию ресурсосберегающих и экологически безопасных подходов в растениеводстве, основанных на биологических принципах и использовании растительно-микробных симбиозов. В качестве положительного примера можно привести сорт гороха Триумф, который создан в результате скрещиваний сорта Classic с высокосимбиотрофным генотипом К-8274 (2), однако поиску и селекции высокосимбиотрофных генотипов растений пока не уделяется должного внимания.

Другим подходом для повышения эффективности эндомикоризного симбиоза может быть усиление положительных взаимодействий симбионтов с ассоциативными ростстимулирующими бактериями. Известно, что микоризные грибы активно взаимодействуют с широким спектром бактерий, образуя единую систему, которая по аналогии с ризосферой названа микосферой (3). Важными механизмами положительного воздействия бактерий на микоризу и микоризованные растения служат продукция биологически активных веществ, мобилизация питательных элементов почвы, фиксация атмосферного азота и биоконтроль фитопатогенных грибов (2, 4).

* Работа поддержана грантами РФФИ (06-04-49486-а и 09-04-01614-а) и Министерством образования и науки РФ (Государственный контракт № 16.512.11.2162).

Поэтому перспективной представляется совместная инокуляция растений эндомикоризными грибами и ростстимулирующими бактериями. Максимальный эффект на рост пшеницы получен при инокуляции растений смесью бактерий *Pseudomonas fluorescens* и грибов *Glomus mossae* (5) или *G. intraradices* (6). Бактерия *Enterobacter* sp. повышала рост побегов и содержание N и P в растениях люцерны, инокулированных грибом *G. mossae* (7). Синергический эффект на рост корней клевера получен при инокуляции бактерией *Brevibacillus brevis* и *G. mossae* (8). Однако имели место и неудачные попытки повысить эффективность эндомикоризного симбиоза с помощью ассоциативных бактерий у ряда сельскохозяйственных культур, например у кукурузы (9), ячменя (10), картофеля (9) и гороха (11). Это указывает на необходимость более глубокого изучения механизмов взаимодействия симбиотрофных партнеров и факторов, определяющих реакцию растений на инокуляцию.

Многие ассоциативные бактерии содержат фермент 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АЦК) дезаминазу, благодаря которому бактерии снижают образование фитогормона этилена из АЦК и стимулируют рост растений. Этилен вовлечен во многие процессы роста и развития растений и играет важную роль в регуляции образования симбиотических структур, а именно азотфиксирующих клубеньков и эндомикоризы (12). Положительная роль АЦК-утилизирующих бактерий в процессах роста, питания и устойчивости растений к абиотическим стрессам подтверждена многими исследованиями (13, 14). Однако их влияние на симбиоз растений с эндомикоризными грибами изучено недостаточно. Было показано, что штамм *Ps. putida* UW4 улучшал рост корней и побегов, увеличивал площадь листьев и их фотосинтетическую активность, а также встречаемость микоризной инфекции и обилие арбускул в корнях огурца, колонизированных грибом *Gigaspora rosea* (15). В описываемых опытах мутант штамма UW4, не обладающий АЦК-дезаминазной активностью, не оказывал положительного действия на растения огурца. Это свидетельствовало о важной роли бактериальной АЦК дезаминазы в образовании эффективного эндомикоризного симбиоза. В то же время в экспериментах с горохом не было обнаружено аддитивных эффектов при совместной инокуляции АЦК-утилизирующим штаммом *Ps. brassicacearum* Am3 и *G. intraradices* BEG141 (11). Весьма вероятно, что высокая вариабельность в эффективности симбиоза обусловлена сложностью взаимодействия микро- и макросимбионтов, обладающих индивидуальными наборами свойств, вовлеченных в образование и функционирование растительно-микробной системы.

Цель работы состояла в изучении роли ассоциативных бактерий, содержащих АЦК дезаминазу, во взаимодействии растений с эндомикоризными грибами.

Методика. В эксперименте использовали штаммы ассоциативных бактерий *Ps. brassicacearum* Am3 и *Ps. putida* Bm3, обладающие соответственно относительно высокой и низкой активностью фермента АЦК дезаминазы *in vitro* (16), и штамм эндомикоризного гриба *G. intraradices* CIAM8, образующий эффективный симбиоз с горохом (17). Инокулюм *G. intraradices* CIAM8 получали посредством выращивания микоризованных растений суданской травы (*Sorghum sudanense*) в стерилизованной почве и приготовления смеси почвы и корней с общей интенсивностью микоризной инфекции 80 %. В контрольных вариантах для инокуляции использовали почвенно-корневую смесь, не содержащую эндомикоризных грибов. Растительными объектами были контрастные по эффективности ростовой

реакции на эндомикоризу генотипы гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции Всероссийского НИИ растениеводства (ВИР, г. Санкт-Петербург): 8599 (высокоэффективный) и 1025 (низкоэффективный) (17).

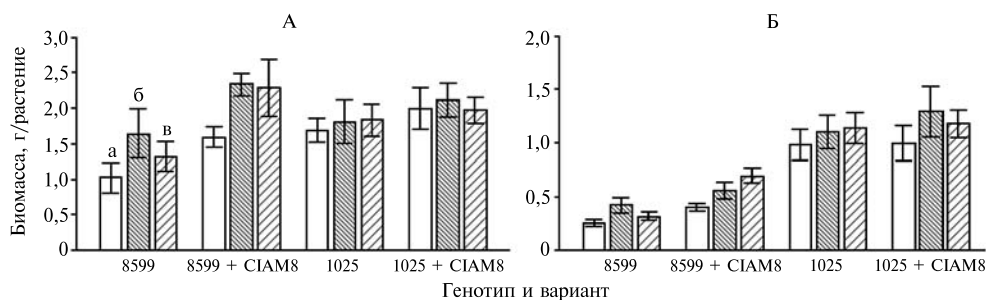
Вегетационный опыт проводили в летний период (июнь—август, г. Санкт-Петербург) в теплице с естественным световым и температурным режимом. Растения выращивали в сосудах, содержащих 2,5 кг стерилизованной дерново-подзолистой почвы. Характеристика почвы: $S_{\text{общ.}}$ — 2,5 %, $N_{\text{общ.}}$ — 0,2 %, $P_{\text{подв.}}$ — 6 мг $P_2O_5/100$ г, $K_{\text{подв.}}$ — 7 мг $K_2O/100$ г; pH солевой вытяжки — 6,0. Удобрения вносили в следующем количестве (мг/кг почвы): NH_4NO_3 — 30, KCl — 200, $MgSO_4$ — 60, H_3BO_3 — 3, $MnSO_4$ — 3, $ZnSO_4$ — 3, Na_2MoO_4 — 1,5. Для создания естественных условий роста растений вносили клубеньковые бактерии *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* CIAM1026 (коллекция ВКСМ, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии), образующие азотфиксирующий симбиоз с горохом (10^6 кл/г почвы).

Семена гороха стерилизовали, скарифицировали концентрированной H_2SO_4 в течение 30 мин и прорастивали в течение 3 сут. В каждый сосуд помещали 4 проростка, которые инокулировали суспензиями ассоциативных бактерий (10^8 клеток на проросток). Почвенно-корневую смесь, содержащую или не содержащую *G. intraradices* CIAM8, предварительно вносили в сосуды слоем под проростки в количестве 25 г/сосуд. Влажность почвы поддерживали на уровне 60-70 % от полной влагоемкости. Растения выращивали в течение 45 сут до фазы начала образования бобов.

В конце эксперимента корни отмывали в воде и окрашивали анилиновым синим в молочной кислоте после обесцвечивания 15 % раствором KOH (18). Образцы корней микроскопировали и определяли встречаемость микоризной инфекции (F), обилие арбускул в образце (M), обилие арбускул в микоризованных фрагментах (m), обилие везикул в образце (V) и обилие везикул в микоризованных фрагментах (v) по методу Травло (18). Растения высушивали, взвешивали и измеряли содержание общего азота методом Кьельдаля на автоматическом анализаторе Kjeltack-AUTO («Tecator», Швеция) и содержание общего фосфора колориметрически по интенсивности окраски восстановленного фосфорно-молибденового комплекса (19).

Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами расчета доверительных интервалов и *t*-критерия Стьюдента, а также методом двухфакторного дисперсионного анализа (*F*-критерий Фишера) (20).

Результаты. Инокуляция штаммом *Ps. brassicacearum* Am3 повысила



Сухая биомасса побегов (А) и корней (Б) у контрастных по эффективности ростовой реакции на эндомикоризу растений гороха *Pisum sativum* L. генотипов 8599 и 1025, инокулированных эндомикоризным грибом *Glomus intraradices* CIAM8 и ассоциативными бактериями: а — контроль (без инокуляции), б — инокуляция штаммом *Pseudomonas brassicacearum* Am3, в — инокуляция *Ps. putida* Bm3. Вертикальными отрезками обозначен доверительный интервал при P = 0,05 (вегетационный опыт, г. Санкт-Петербург—Пушкин).

1. Характеристика контрастных по эффективности ростовой реакции на эндомикоризу генотипов гороха *Pisum sativum* L. 8599 и 1025 по изучаемым показателям (средние значения для всех вариантов инокуляции, вегетационный опыт, г. Санкт-Петербург—Пушкин)

Показатель	Генотип 8599	Генотип 1025
Масса побега, г/растение	1,7	1,9*
Масса корня, г/растение	0,45	1,14***
Содержание N, мг/г биомассы	26,8	27,1
Накопление N, мг/растение	45	51**
Содержание P, мг/г биомассы	11,8	16,2***
Накопление P, мг/растение	20	31***
Встречаемость микоризной инфекции (F), %	63	60
Обилие арбускул, %:		
M	42	44
m	64	70
Обилие везикул, %:		
V	28	32
v	63	69

Примечание. Описание генотипов см. в разделе «Методика». M и V — соответственно обилие арбускул и везикул в образце, m и v — соответственно обилие арбускул и везикул в микоризованном фрагменте.

*, ** и *** Различия между генотипами гороха по *t*-критерию Стьюдента существенны соответственно при $P < 0,05$, $P < 0,01$ и $P < 0,001$.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными литературы о более высоком потенциале генотипа 8599 в отношении образования эффективного симбиоза с эндомикоризными грибами (17).

2. Содержание (мг/г биомассы) и накопление (мг/растение) азота и фосфора в побегах у контрастных по эффективности ростовой реакции на эндомикоризу генотипов гороха *Pisum sativum* L. при инокуляции ассоциативными бактериями и эндомикоризным грибом *Glomus intraradices* CIAM8 (вегетационный опыт, г. Санкт-Петербург—Пушкин)

Вариант опыта	N		P	
	содержание	накопление	содержание	накопление
Генотип 8599				
Контроль (без инокуляции)	26 ^{ab}	27 ^a	14 ^a	15 ^a
<i>Pseudomonas brassicacearum</i> Am3	24 ^a	39 ^b	11 ^a	18 ^a
<i>Ps. putida</i> Bm3	31 ^b	41 ^{bc}	12 ^a	16 ^a
<i>G. intraradices</i> CIAM8	31 ^b	49 ^{cd}	12 ^a	18 ^a
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. brassicacearum</i> Am3	25 ^a	57 ^d	11 ^a	27 ^b
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. putida</i> Bm3	24 ^a	56 ^d	12 ^a	27 ^b
Генотип 1025				
Контроль (без инокуляции)	26 ^a	43 ^a	12 ^a	21 ^a
<i>Ps. brassicacearum</i> Am3	25 ^a	46 ^a	15 ^{ab}	28 ^b
<i>Ps. putida</i> Bm3	26 ^a	48 ^{ab}	18 ^b	34 ^c
<i>G. intraradices</i> CIAM8	30 ^a	60 ^c	19 ^b	37 ^c
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. brassicacearum</i> Am3	27 ^a	58 ^c	18 ^b	37 ^c
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. putida</i> Bm3	28 ^a	55 ^{cb}	15 ^{ab}	29 ^b

Примечание. Описание генотипов см. в разделе «Методика». Неодинаковые латинские буквы означают, что между вариантами инокуляции для индивидуального генотипа гороха имеются существенные различия по *F*-критерию Фишера ($P < 0,05$).

При микоризации генотипа 8599 ассоциативные бактерии снизили содержание азота в побегах примерно на 20 %. Это, вероятно, происходило за счет эффекта разбавления биомассой, поскольку накопление азота в инокулированных бактериями растениях не отличалось от такового в контрольных (табл. 2). В отсутствие микоризы повышение накопления азота в инокулированных растениях у генотипа 8599 можно объяснить увеличением

биомассу побегов и корней на 60 % у немикоризованных растений гороха генотипа 8599 (рис.). У микоризованных растений указанного генотипа оба штамма ассоциативных бактерий обусловили увеличение биомассы побегов на 40 %, биомассы корней — соответственно на 40 % (штамм Am3) и 70 % (штамм Bm3). Влияние бактерий на рост гороха генотипа 1025 не было статистически значимым (см. рис.). Микоризация корней грибом *G. intraradices* CIAM8 улучшала рост побегов и корней только у генотипа 8599, который по средним показателям всех вариантов опыта существенно отличался от генотипа 1025 по ростовой реакции на микоризацию (табл. 1). По-

биомассы побегов в результате стимулирующего действия бактерий на рост растений. Повышение содержания фосфора в растениях было существенным только при инокуляции генотипа 1025 монокультурами *Ps. putida* Vm3 и *G. intraradices* CIAM8 (см. табл. 2). В этих вариантах получены максимальные значения накопления фосфора побегами. Улучшение фосфорного питания может быть связано со стимулирующим действием бактерий на рост корней у микоризованного генотипа 8599, а также с их способностью растворять труднодоступные для растений фосфаты (16). Обращает на себя внимание тот факт, что повышение содержания фосфора у генотипа 1025 при микоризации не способствовало усилению роста растений. Известно, что снабжение растений фосфором — не единственный механизм положительного действия микоризы на растения, а эффективная интеграция симбиотических партнеров обусловлена комплексом положительных эффектов, включая ассимиляцию других питательных элементов, обмен биологически активными веществами, оптимизацию водного питания и защиту от неблагоприятных факторов среды (2). Следует отметить, что нами получены оригинальные данные о способности АЦК-утилизирующих бактерий повышать содержание фосфора у гороха, поскольку в предыдущих исследованиях эти бактерии не влияли или снижали содержание фосфора у разных генотипов гороха (15, 21) и рапса (22).

3. Показатели микоризообразования у контрастных по эффективности ростовой реакции на эндомикоризу генотипов гороха *Pisum sativum* L. при инокуляции ассоциативными бактериями и эндомикоризным грибом *Glomus intraradices* CIAM8 (вегетационный опыт, г. Санкт-Петербург—Пушкин)

Вариант опыта	Встречаемость микоризной инфекции (F), %	Обилие арбускул, %		Обилие везикул, %	
		M	m	V	v
Генотип 8599					
<i>G. intraradices</i> CIAM8	65 ^a	50 ^a	76 ^a	37 ^a	74 ^a
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Pseudomonas brassicacearum</i> Am3	66 ^a	42 ^a	64 ^{ab}	26 ^{ab}	60 ^{ab}
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. putida</i> Vm3	58 ^a	33 ^b	53 ^b	20 ^b	75 ^b
Генотип 1025					
<i>G. intraradices</i> CIAM8	66 ^a	49 ^a	72 ^a	33 ^a	67 ^a
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. brassicacearum</i> Am3	64 ^a	46 ^a	70 ^a	34 ^a	74 ^a
<i>G. intraradices</i> CIAM8 + <i>Ps. putida</i> Vm3	50 ^a	38 ^a	68 ^a	30 ^a	68 ^a

Примечание. Описание генотипов см. в разделе «Методика». M и V — соответственно обилие арбускул и везикул в образце, m и v — соответственно обилие арбускул и везикул в микоризованном фрагменте. Неодинаковые латинские буквы означают, что между вариантами инокуляции для индивидуального генотипа гороха имеются существенные различия по *F*-критерию Фишера ($P < 0,05$).

Результаты микроскопирования выявили высокую степень развития микоризных структур при инокуляции грибом *G. intraradices* CIAM8 у обоих генотипов гороха (табл. 3), при этом генотипических различий в показателях микоризообразования не обнаружили (см. табл. 1). В вариантах без внесения в почву эндомикоризного гриба образования микоризы корней не отмечали. Ассоциативные бактерии не повлияли на параметры микоризообразования, за исключением снижения обилия арбускул и везикул штаммом *Ps. putida* Vm3 в корнях у генотипа 8599. Несмотря на это рост растений улучшался относительно варианта с инокуляцией эндомикоризным грибом (см. рис.). Похожие результаты, а именно одновременное уменьшение микоризации корней под действием бактерий и усиление роста растений, наблюдали ранее в опытах с пшеницей, ассоциативной бактерией *Ps. fluorescens* и грибом *G. mossae* (6). Было показано также, что в микоризованных растениях люцерны стимуляция роста и повышение содержания азота и фосфора штаммом *Enterobacter* sp. не сопровождалась

усилением микоризации корней (7). Отметим, что интенсивность образования микоризных структур и ростовые реакции растений на эндомикоризные грибы часто не коррелируют, более того, в некоторых случаях гриб может проявлять паразитические свойства (9, 23).

Положительный эффект изучаемых бактерий проявлялся на генотипе гороха 8599, который более эффективно взаимодействовал с эндомикоризным грибом. При этом ростстимулирующее влияние в большей степени наблюдали на микоризованных растениях. Ранее нами было показано, что стимуляция роста рапса штаммом *Ps. putida* Vm3 прекращалась при фосфорном дефиците, который вызывал снижение биосинтеза этилена в растениях и нивелировал эффект бактериальной АЦК дезаминазы на этот фитогормон и рост растений (22). Однако содержание фосфора и эффект *G. intraradices* CIAM8 на потребление фосфора у отзывчивого на инокуляцию генотипа гороха 8599 были ниже, чем у генотипа 1025 (см. табл. 2) при одинаковой степени развития микоризообразующих структур (см. табл. 1). Поэтому генотипические различия в реакции гороха на АЦК-утилизирующие бактерии нельзя объяснить улучшением фосфорного питания микоризованных растений. Важная роль АЦК дезаминазы изучаемых штаммов во взаимодействии с растениями была нами ранее показана с использованием чувствительного к этилену мутанта гороха E2(*sym5*) (16) и дефектного по гену АЦК дезаминазы мутанта *Ps. brassicacearum* Am3 (24). В условиях *in vitro* штамм *Ps. brassicacearum* Am3 обладает более высокой (в 2,5 раза) активностью АЦК дезаминазы, чем штамм *Ps. putida* Vm3 (16). В нашем опыте с горохом в отсутствие микоризы только этот штамм стимулировал рост, что косвенно свидетельствует о вовлеченности АЦК дезаминазы в стимуляцию роста растений. Возможно, эндомикоризный гриб повышал интенсивность биосинтеза этилена или чувствительность растений к этилену (11), что положительно повлияло на реакцию растений на АЦК-утилизирующие бактерии. Для проверки этой гипотезы необходимо сравнить изучаемые генотипы по продукции и чувствительности к этилену у микоризованных и немикоризованных растений.

Таким образом, нами впервые показано, что действие ассоциативных АЦК-утилизирующих бактерий на рост и питание растений гороха зависит от присутствия эндомикризы в корнях. Микоризация растений способствовала усилению ростстимулирующего действия бактерий. Проявление аддитивного эффекта АЦК-утилизирующих бактерий и эндомикоризного гриба на рост и питание у растения гороха во многом определяется его генотипом. Вероятно, отзывчивость на инокуляцию АЦК-утилизирующими бактериями и эндомикоризным грибом — взаимосвязанные свойства. Доказательство наличия такой взаимосвязи может быть полезным для селекции сортов, обладающих высоким симбиотическим потенциалом одновременно в отношении ростстимулирующих бактерий и эндомикоризных грибов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб, 2009.
2. Shtark O.Y., Borisov A.Y., Zhukov V.A., Provorov N.A., Tikhonovich I.A. Intimate associations of beneficial soil microbes with the host plants. In: Soil microbiology and sustainable crop production. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, The Netherlands, 2010: 119-196.
3. De Boer W., Folman L.B., Summerbell R.C., Boddý L. Living in a fun-

- gal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. FEMS Microbiol. Rev., 2005, 29: 795-811.
4. Frey - Klett P., Garbaye J., Tarkka M. The mycorrhiza helper bacteria revisited. New Phytol., 2007, 176: 22-36.
 5. Behn O. Influence of *Pseudomonas fluorescens* and arbuscular mycorrhiza on the growth, yield, quality and resistance of wheat infected with *Gaeumannomyces graminis*. J. Plant Dis. Protect., 2008, 115: 4-8.
 6. Jaderlund L., Arthurson V., Granhall U., Jansson J.K. Specific interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria: as revealed by different combinations. FEMS Microbiol. Lett., 2008, 287: 174-180.
 7. Торо М., Аззон Р., Вареа J.M. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of *Rhizobium* genotype, mycorrhizal fungi, phosphatesolubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorus acquisition by *Medicago sativa*. New Phytol., 1998, 138: 265-273.
 8. Vivas A., Вареа J.M., Аззон R. Interactive effect of *Brevibacillus brevis* and *Glomus mosseae*, both isolated from Cd contaminated soil, on plant growth, physiological mycorrhizal fungal characteristics and soil enzymatic activities in Cd polluted soil. Environ. Pollut., 2005, 134: 257-266.
 9. Vosatka M., Gryndler M. Treatment with culture fractions from *Pseudomonas putida* modifies the development of *Glomus fistulosum* mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. Appl. Soil Ecol., 1999, 11: 245-251.
 10. Белимов А.А., Серебренникова Н.В., Степанок В.В. Взаимодействие ассоциативных бактерий и эндомикоризного гриба с ячменем при совместной инокуляции. Микробиология, 1999, 68(1): 122-126.
 11. Engqvist L.G., Mertensson A., Orłowska E., Turnau K., Belimov A.A., Borisov A.Y., Gianinazzi - Pearson V. For a successful pea production on polluted soils, inoculation with beneficial microbes requires active interaction between the microbial components and the plant. Acta Agric. Scand., B, 2006, 56: 9-16.
 12. Guinel F.C., Geil R.D. A model for the development of the rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses in legumes and its use to understand the roles of ethylene in the establishment of these two symbioses. Can. J. Bot., 2002, 80: 695-720.
 13. Белимов А.А., Сафронова В.И. АЦК деминаза и растительно-микробные взаимодействия (обзор). С.-х. биол., 2011, 3: 23-28.
 14. Glick B.R., Cheng Z., Czarny J., Duan J. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. Eur. J. Plant Pathol., 2007, 119: 329-339.
 15. Gamalero E., Berta G., Massa N., Glick B.R., Lingua G. Interactions between *Pseudomonas putida* UW4 and *Gigaspora rosea* BEG9 and their consequences for the growth of cucumber under salt-stress conditions. J. Appl. Microbiol., 2010, 108: 236-245.
 16. Belimov A.A., Safronova V.I., Sergeeva T.A., Egorova T.N., Matveeva V.A., Tsyganov V.E., Borisov A.Y., Tikhonovich I.A., Kluge C., Preisfeld A., Dietz K.-J., Stepanok V.V. Characterisation of plant growth-promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase. Can. J. Microbiol., 2001, 47: 642-652.
 17. Якоби Л.М., Кукалев А.С., Ушаков К.В., Цыганов В.Е., Наумкина Т.С., Проворов Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А. Полиморфизм форм гороха посевного по эффективности симбиоза с эндомикоризным грибом *Glomus* sp. в условиях инокуляции ризобиями. С.-х. биол., 2000, 3: 94-102.
 18. Зольникова Н.В., Воробьев Н.И. Методы исследования грибов, образующих с растениями микоризу арбускулярно-везикулярного типа. СПб, 1992.
 19. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1. Йошкар-Ола, 2006.
 20. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., 1990.
 21. Safronova V.I., Stepanok V.V., Engqvist G.L., Alekseyev Y.V., Belimov A.A. Root-associated bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase improve growth and nutrient uptake by pea genotypes cultivated in cadmium supplemented soil. Biol. Fertil. Soils, 2006, 42: 267-272.
 22. Belimov A.A., Safronova V.I., Mimura T. Response of spring rape to inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Can. J. Microbiol., 2002, 48: 189-199.
 23. Huiying L., Smith F.A., Dickson S., Holloway R.E., Smith S.E. Plant growth depressions in arbuscular mycorrhizal symbioses: not just caused by carbon drain? New Phytol., 2008, 178: 852-862.
 24. 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 to-

ГНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной
микробиологии Россельхозакадемии,
196608 г. Санкт-Петербург—Пушкин-8, ш. Подбельского, 3,
e-mail: belimov@rambler.ru, skiparis@mail.ru,
v.safronova@rambler.ru

Поступила в редакцию
7 февраля 2012 года

REACTION OF PEA PLANTS ON INOCULATION BY RHIZOSPHERE 1-AMINOCYCLOPROPANE-1-CARBOXYLATE (ACC) UTILIZING BACTERIA IN THE PRESENCE OF ENDOMYCORRHIZAL FUNGUS *Glomus intraradices*

A.A. Belimov, S.V. Demchinskaya, V.I. Safronova

S u m m a r y

In pot experiment with pea genotypes contrasting for efficiency of endomycorrhizal symbiosis (high-efficient genotype 8599 and low-efficient genotype 1025), the plants were grown in the presence or in the absence of endomycorrhizal fungus *Glomus intraradices* CIAM8 and inoculated with associative bacteria *Pseudomonas brassicacearum* Am3 or *Pseudomonas putida* Bm3 containing ACC deaminase. The inoculation of 8599 genotype with Am3 strain increases the biomass of shoots and roots by 60 % for plants without mycorrhiza. In plants with mycorrhiza both strains determined the increased shoot biomass by 40 %, and also root biomass by 40 % (Am3 strain) and by 70 % (Bm3 strain). The influence of mycorrhiza and bacteria on the growth of genotype 1025 is insignificant. After mycorrhization of genotype 8599 the associative bacteria reduced the nitrogen content in shoots by 20 %, but in the absence of mycorrhiza they raised the phosphorus content in genotype 1025 by 25 % (Am3 strain) and by 50 % (Bm3 strain). At a high and similar degree of mycorrhiza development in both pea genotypes the Bm3 strain decreased the number of arbuscles and vesicles in roots of genotype 8599. These results are of interest for more effective application of biopreparations and breeding of the varieties with high symbiotrophy.

Научные собрания

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «СТРАТЕГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И РАСТЕНИЙ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ»

(г. Саратов, ИБФРМ РАН, 25-27 сентября 2012 года)



В работе конференции будут рассматриваться актуальные проблемы экологии и симбиологии микробов и растений: биоразнообразие микробных и растительных сообществ и их функционирование в природе; механизмы взаимодействия партнеров в симбиозах и ассоциациях; метаболическая и генетическая интеграция в растительно-бактериальных симбиозах; микробная коммуникация и ее роль во взаимодействии с макроорганизмом-хозяином; разнообразие микробных метаболитов и их влияние на организм человека и животных; адаптация микроорганизмов и растений к воздействию неблагоприятных природных факторов.

В рамках конференции планируется проведение следующих секций:

- Биоразнообразие микробных и растительных сообществ и их функционирование
- Адаптация микроорганизмов и растений к действию биотических и абиотических факторов окружающей среды
- Механизмы взаимодействия партнеров в симбиозах и ассоциациях
- Растительно-микробные симбиозы: метаболическая и генетическая интеграция
- Микробная коммуникация и ее роль во взаимодействии с макроорганизмом-хозяином
- Микробные метаболиты и их влияние на организм человека и животных
- Микроорганизмы и растения в биомедицинских исследованиях
- Современные физико-химические методы в физиолого-биохимических исследованиях

Контакты и информация: <http://ibppm.ru>, conference@ibppm.ru, institute@ibppm.sgu.ru

СЕМИНАР «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОТЕОМНОГО АНАЛИЗА»

Компания «Био-Рад Лаборатории» на базе Института биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН (г. Москва) бесплатно проводит ежемесячные семинары, позволяющие получить практический опыт проведения всех этапов протеомного анализа.

Контакты и информация: +7 (495) 721-14-04 (доб. 135), e-mail: diana_troitskaya@bio-rad.com