

**Экологические взаимоотношения в системе:  
энтомопатогенная бактерия *Bacillus thuringiensis* –  
фитопатогенный гриб *Rhizoctonia solani* – растение-хозяин  
*Solanum tuberosum***

С. А. БАХВАЛОВ<sup>1</sup>, В. П. ЦВЕТКОВА<sup>1</sup>, Т. В. ШПАТОВА<sup>1</sup>, М. В. ШТЕРНШИС<sup>1</sup>, С. Д. ГРИШЕЧКИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный аграрный университет  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160  
E-mail: ngau-bsa@ngs.ru

<sup>2</sup> Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии  
196608, СПб.-Пушкин-8, ш. Подбельского, 3  
E-mail: svetagrishechkina@mail.ru

Статья поступила 10.11.2014

Принята к печати 12.01.2015

**АННОТАЦИЯ**

Показана взаимная обусловленность функционирования трехкомпонентной системы: энтомопатогенная бактерия *Bacillus thuringiensis* subsp. *darmstadensis* (*BtH<sub>10</sub>*) – возбудитель ризоктониоза картофеля *Rhizoctonia solani* – растения *Solanum tuberosum* при обработке клубней перед посадкой бактериальной суспензией. Ингибирующая активность *BtH<sub>10</sub>* по отношению к возбудителю болезни *Rhizoctonia solani in vitro* превышала 80 %. В условиях фитоценозов картофеля двух сортов разных групп спелости в 2013–2014 гг. поражение ризоктониозом стеблей, столонов и новых клубней под действием *BtH<sub>10</sub>* достоверно снижалось. Одновременно введение бактерии *BtH<sub>10</sub>* в фитоценоз стимулировало рост растений, что выражалось в увеличении всхожести культуры, высоты стеблей и их количества. Наблюдаемая полифункциональная активность *BtH<sub>10</sub>* способствовала повышению продуктивности растений картофеля.

**Ключевые слова:** *Bacillus thuringiensis*, *Rhizoctonia solani*, *Solanum tuberosum*, биологический контроль, подавление болезни, полифункциональная активность, стимулирование роста.

В условиях Западной Сибири реализация продуктивного потенциала картофеля *Solanum tuberosum* L. во многом зависит от взаимодействия растения-хозяина с фитопатогенным грибом *Rhizoctonia solani* Kühn. Внесение в агроценозы картофеля химических фунгицидов для снижения численности воз-

будителя ризоктониоза помимо положительного защитного действия на растения оказывает отрицательное влияние в целом на окружающую среду, нарушая экологические связи между организмами [Малюга и др., 2005; Heydari, Pessarakli, 2010]. В последние годы все большее внимание уделяют заме-

не химических пестицидов на биологические препараты, основой которых служат природные агенты регуляции численности фитопатогенных микроорганизмов, главным образом антагонистические грибы и бактерии [Штерншис, 2012]. Высоким потенциалом обладают бактерии рода *Bacillus*, среди которых наибольшее значение для создания российских и зарубежных биологических препаратов имеют многочисленные штаммы *B. subtilis* [Новикова и др., 2003; Pane et al., 2012]. В ряде исследований показано, что наряду с антагонистическим действием на фитопатогенные микроорганизмы эти бактерии проявляют ростостимулирующее влияние, что повышает конкурентоспособность биопрепаратов, обеспечивая более высокую экологическую безопасность биоценозов [Новикова, 2005; Xie et al., 2014]. В отношении выявления полифункциональных свойств природных регуляторов численности фитопатогенных микроорганизмов важны усиливающиеся во всем мире исследования по взаимодействию энтомопатогенной бактерии *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) Berliner с возбудителями болезней растений [Кузин и др., 2008; Zhou et al., 2008; Каменек и др., 2011; Martinez-Absalon et al., 2014]. Разные подвиды *Bt* хорошо известны в качестве основы энтомопатогенных биопрепаратов, в связи с чем одновременное проявление инсектицидных и антагонистических свойств *Bt* значительно усиливает регулируемую роль этой бактерии в природных экосистемах, а также повышает эффективность биопрепаратов, ее содержащих.

Ранее показано, что штамм № 25 бактерии *B. thuringiensis* subsp. *darmstadensis* (*BtH<sub>10</sub>*), способен подавлять некоторых возбудителей болезней растений, при этом данный штамм обладает выраженными энтомоцидными свойствами в отношении колорадского жука – основного фитофага картофеля [Гришечкина, Смирнов, 2010; Смирнов, Гришечкина, 2011].

Учитывая данные по антифунгальному влиянию этого штамма на *R. solani in vitro* [Смирнов, Гришечкина, 2011], представляло интерес в условиях Западной Сибири изучить его взаимодействие с возбудителем ризоктониоза и растением-хозяином при внесении в фитоценоз картофеля.

Исследовали растения картофеля двух сортов (раннеспелый Любава и среднеспелый Луговской), возбудителя ризоктониоза картофеля, выделенного из инфицированных растений и бактериальный штамм *BtH<sub>10</sub>*, депонированный в ГНУ ВНИИСХМ (регистрационный номер РСАМ01490) [Патент..., 2014]. Перед внесением бактериального штамма в фитоценоз картофеля, проведена оценка его действия на штамм фитопатогенного гриба *R. solani*, выделенный в местных условиях, *in vitro*. Антагонистическую активность бактериального штамма *in vitro* оценивали модифицированным методом агаровых блоков и выражали в виде ингибирующей активности [Соколова, 1995]. Бактериальный штамм выращивали на картофельно-декстрозном агаре (КДА) 48 ч при 25 °С в чашках Петри. В центр чашек, инокулированных этим штаммом, помещали блок с *R. solani* (диаметром 10 мм). Предварительно фитопатогенный гриб выращивали на КДА. Чашки инкубировали при 25 °С 7–14 дней, регистрируя диаметр колоний гриба. Контролем служили чашки Петри без инокуляции бактериальным штаммом. Наблюдения вели через 3, 5 и 7 дней. Бактериальная суспензия испытывалась в трех концентрациях – 10<sup>6</sup>, 2 × 10<sup>6</sup> и 5 × 10<sup>6</sup> КОЕ/мл, по 5 чашек с каждой концентрацией. Ингибирующую активность (ИА, %) вычисляли по формуле:

$$ИА = \frac{D_k - D_o}{D_k} \times 100,$$

где  $D_k$  – диаметр колоний *R. solani* в контроле;  $D_o$  – диаметр колоний *R. solani* в опыте (см).

Полевые наблюдения и опыты проводили на экспериментальных участках картофеля, расположенных в Новосибирском районе Новосибирской области (55°1' с. ш., 82°55' в. д.) в 2013–2014 гг. Метеорологические условия двух сезонов представлены в табл. 1. Эксперименты выполняли в трех повторностях, площадь каждого участка составляла 28 м<sup>2</sup> и включала 112 растений. Перед посадкой клубни обрабатывали путем погружения в бактериальную суспензию с концентрацией 10<sup>6</sup> КОЕ/мл с прилипателем. В период веге-

Т а б л и ц а 1

## Метеоусловия вегетационных периодов (по данным ГМС "Огурцово")

Год	Июнь				Июль				Август			
	Т, °С		осадки, мм		Т, °С		осадки, мм		Т, °С		осадки, мм	
	сред- нее	отклоне- ние от нормы	сум- ма	% от- клоне- ния от нормы	сред- нее	отклоне- ние от нормы	сум- ма	% от- клоне- ния от нормы	сред- нее	отклоне- ние от нормы	сум- ма	% от- клоне- ния от нормы
2013	14,2	-2,8	33	69	18,6	-0,8	69	111	16,8	0,6	143	247
2014	17,3	0,4	17,1	31	20,2	0,8	77	126	18,4	2,2	32	48

тации проводили наблюдения за ростом и развитием культуры. Развитие ризоктониоза оценивали по пятибалльной шкале Франка на стеблях и столонах через 4–6 недель после посадки [Frank et al., 1976], рассчитывая распространенность ( $P$ ) и развитие болезни ( $R$ ) по формулам:

$$P = \frac{\Pi \times 100}{N},$$

где  $\Pi$  – количество пораженных растений,  $N$  – общее количество учетных растений;

$$R = \frac{\sum (a \times b) \times 100}{N \times K},$$

где  $\sum(a \times b)$  – сумма произведений числа больных растений ( $a$ ) на соответствующий им балл поражения ( $b$ ),  $N$  – общее количество учетных растений,  $K$  – высший балл шкалы учета.

Для оценки поражения ризоктониозом клубней, полученных в конце вегетации, рассчитывали склероциальный индекс ( $S.i.$ ) по

методике Е. М. Шалдяевой и Ю. В. Пилиповой [1999]. Определяли доли мелкой (до 80 г), средней (80–130 г) и крупной (более 130 г) фракций полученных клубней.

Статистическая обработка опытных данных проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных компьютерных программ SNEDECOR для Windows.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лабораторных условиях тестируемый штамм  $BtH_{10}$  подавлял рост фитопатогенного гриба *R. solani* при использовании концентраций  $10^6$ ,  $2 \times 10^6$  и  $5 \times 10^6$  КОЕ/мл (табл. 2, рис. 1). Бактериальный штамм в трех концентрациях достоверно ингибировал рост возбудителя ризоктониоза картофеля при взаимодействии с фитопатогенным грибом ( $p < 0,05$ ). Самая высокая ингибирующая активность (до 89 %) наблюдалась при наибольшей из использованных концентраций бактериальной суспензии.

Т а б л и ц а 2

Влияние бактериального штамма  $BtH_{10}$  на рост фитопатогенного гриба *R. solani in vitro*

Вариант	Диаметр колоний, см			Ингибирующая активность, %		
	3	5	7	3	5	7
Сутки						
Контроль	4,2	9,0	9,0	–	–	–
$BtH_{10}$ $10^6$ КОЕ/мл	1,3	1,7	3,3	69,0	81,0	63,3
$BtH_{10}$ $2 \times 10^6$ КОЕ/мл	1,3	1,5	1,5	69,0	83,3	83,3
$BtH_{10}$ $5 \times 10^6$ КОЕ/мл	1,2	1,0	1,0	71,4	88,9	88,9
НСР <sub>05</sub> по вариантам и срокам		0,2			–	

$$(F_{\Phi} = 542,4 > F_{05} = 2,0; n = 60)$$

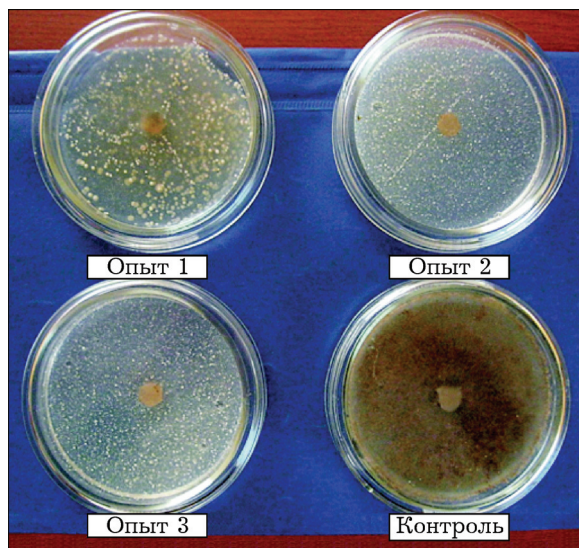


Рис. 1. Антифунгальное действие штамма *B. thuringiensis* subsp. *darmstadiensis* (*BtH<sub>10</sub>*) на *Rhizoctonia solani* в чашках Петри. Концентрации бактериальной суспензии:  $10^6$  КОЕ/мл (опыт 1);  $2 \times 10^6$  КОЕ/мл (опыт 2);  $5 \times 10^6$  КОЕ/мл (опыт 3); контроль (без добавления *BtH<sub>10</sub>*)

пензии ( $5 \times 10^6$  КОЕ/мл) (см. рис. 1, табл. 2). Антагонистический потенциал бактерии в отношении местного штамма фитопатогенного гриба оказался существенно выше, чем определенный ранее для другого штамма *R. solani* [Смирнов, Грищечкина, 2011]. Полученные в отношении сибирского штамма возбудителя ризоктониоза результаты согласуются с данными авторов, показавших *in vitro* подавление роста этого фитопатогенного гриба при взаимодействии с бактериальными

штаммами *Bt*, выделенными в других географических ареалах [Кнаак et al., 2007; Mojica-Marin et al., 2008].

В 2013–2014 гг. в условиях фитоценоза картофеля исследуемый штамм *BtH<sub>10</sub>* значительно снизил пораженность стеблей и столонов картофеля возбудителем ризоктониоза (табл. 3). В контрольном варианте на обоих сортах через 6 недель после посадки на стеблях преобладали обширные язвы, кольцующие стебель, что по шкале Франка соответствовало 3–5 баллам поражений. В то же время после предварительной обработки клубней суспензией *BtH<sub>10</sub>*, стебли оказались или здоровыми, или с минимальным баллом поражения (штрихи и язвы не превышали 25 мм). В течение двух лет исследований под действием бактерии проявление болезни на стеблях и столонах снижалось ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем, хотя в разной степени в зависимости от сорта. Так, в более влажном 2013 г. влияние бактерии на развитие ризоктониоза на стеблях выявлено сильнее на сорте Любава (уменьшение уровня развития болезни в 12,5 раза) по сравнению с сортом Луговской, для которого это соотношение составило 7,4, а распространенность болезни на столонах снижалась примерно одинаково по сортам – более чем вдвое. В более сухом 2014 г. характер действия штамма на ризоктониоз сохранился, несмотря на значительное снижение фона пораженности на сорте Любава. Уровень развития болезни на стеблях снизился в 7,5–

Т а б л и ц а 3

Влияние бактериального штамма *BtH<sub>10</sub>* на развитие и распространенность ризоктониоза на стеблях и столонах картофеля через 6 недель после посадки, %

Сорт	Вариант	Развитие болезни на стеблях, %		Распространенность болезни на столонах, %	
		2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.
Любава	Контроль	33,3	14,3	40,0	12,5
	<i>BtH<sub>10</sub></i>	2,7	1,9	16,2	7,1
Луговской	Контроль	18,4	20,9	29,4	22,2
	<i>BtH<sub>10</sub></i>	2,5	2,5	14,3	12,5
НСР <sub>05</sub> по штамму, сортам и годам		4,2		3,6	
		$(F_{\phi} = 35,4 > F_{05} = 2,7; n = 24)$		$(F_{\phi} = 29,7 > F_{05} = 2,7; n = 24)$	

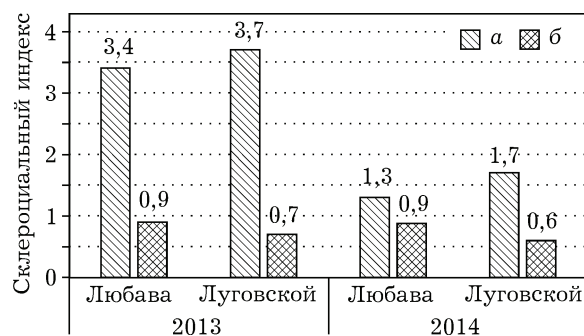


Рис. 2. Склероциальный индекс (*S.i.*) клубней картофеля сортов Любава и Луговской, полученных в конце вегетации: а – в контрольном варианте; б – при действии *BtH*<sub>10</sub>. НСР<sub>05</sub> по штамму, сортам, годам = 0,2 ( $F_{\phi} = 11,0 > F_{05} = 2,7; n = 24$ )

8,3 раза, а распространенность ризоктониоза на столонах обоих сортов картофеля – почти вдвое (см. табл. 3).

Оценка пораженности ризоктониозом клубней, полученных в конце вегетации, также свидетельствует о проявлении энтомопатогенной бактерией антифунгальных свойств. В 2013 г. произошло достоверное ( $p < 0,05$ ) снижение склероциального индекса при обработке *BtH*<sub>10</sub> в 3,8 раза (сорт Любава) и в 5,3 раза (сорт Луговской), в 2014 г. это соотношение составило 1,4 и 2,8 соответственно (см. рис. 2).

Влияние разных штаммов *Bt* на фитопатогенный грибок *R. solani* изучалось другими авторами при обработке семян огурца с последующим проращиванием их в горшочках [Seo et al., 2012], а также при обработке семян перца чилийского с последующим наблюдением за проростками в чашках Петри [Mojića-Marín et al., 2008]. В обоих случаях действие штаммов *Bt* выражалось в подавлении развития возбудителя ризоктониоза и стимулировании роста растений. Это подтверждается работами, посвященными влиянию штаммов *Bt*, выделенных из растений, почвы и насекомых, на другие фитопатогенные грибы, как в лабораторных опытах, так и в условиях фитоценозов [Reyes-Ramirez et al., 2004; Каменек и др., 2011; Akram et al., 2013; Tao et al., 2014]. Авторы объясняют антифунгальное действие *Bt* продуцированием бактерией различных вторичных метаболитов, в том числе хитиназ, а также индуцированием системной устойчивости растений. Антагани-

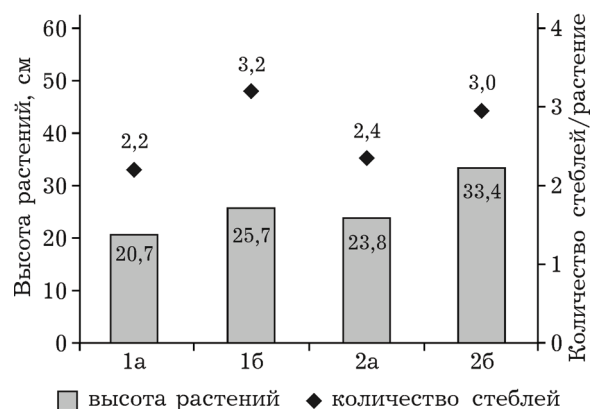


Рис. 3. Высота растений (НСР<sub>05</sub> по штамму и сорту = 1,5) и количество стеблей на одно растение картофеля (НСР<sub>05</sub> по штамму и сорту = 0,25) в среднем за два года. 1 – сорт Любава; 2 – сорт Луговской: контрольный вариант (а); обработка клубней *BtH*<sub>10</sub> (б)

стическое влияние *Bt* может быть обусловлено также продуцированием энтомопатогенной бактерией липопептидных биосурфактантов [Hathout et al., 2000; Kim et al., 2004]. Так, выделенный из *Bt* СМВ26 липопептид фенгицин проявил одновременно инсектицидную и антифунгальную активность [Kim et al., 2004]. Подобные биосурфактанты продуцируют многие штаммы бактерий рода *Bacillus*, отобранные для биологического контроля болезней растений, в том числе ризоктониоза [Yu et al., 2002; Elkahoui et al., 2014; Sawoy et al., 2014].

Наблюдаемый рядом авторов наряду с антифунгальным одновременный ростостимулирующий эффект энтомопатогенной бактерии *Bt* подтвердился и в данном исследовании. Предварительная обработка клубней картофеля суспензией тестируемого штамма *BtH*<sub>10</sub> оказала стимулирующий эффект на растения картофеля, увеличив всхожесть, длину и количество стеблей. Так, в 2014 г. всхожесть растений картофеля сортов Любава и Луговской, клубни которых обрабатывались суспензией *BtH*<sub>10</sub>, оказалась выше контрольных в 2–3 раза. Ростостимулирующее действие *BtH*<sub>10</sub> выразилось в увеличении высоты и количества стеблей растения (рис. 3). В среднем за два года наблюдали достоверно значимое ( $p < 0,05$ ) увеличение высоты растений и количества стеблей на одно растение картофеля двух сортов разных групп спе-

Биомасса и фракционный состав полученных в конце вегетации клубней картофеля

Сорт	Вариант	Фракционный состав клубней (средние за 2 года), %			Биомасса клубней, г/растение		
		мелкая	средняя	крупная	2013 г.	2014 г.	средние за 2 года
Любава	Контроль	7,7	27,4	64,9	645,6	466,3	556,0
	<i>BtH</i> <sub>10</sub>	2,4	12,7	84,9	1052,1	650,9	851,5
Луговской	Контроль	7,5	35,0	57,6	207,4	349,3	278,4
	<i>BtH</i> <sub>10</sub>	1,1	12,5	86,4	538,5	932,0	735,3
НСР <sub>05</sub> по штамму, сортам и годам						64,6	
					(F <sub>ф</sub> = 42,9 > F <sub>05</sub> = 2,7; n = 24)		

лости при действии *BtH*<sub>10</sub> по сравнению с контролем. Следует отметить, что минимальное количество осадков в июне 2014 г. привело к задержке развития растений картофеля, что снизило их морфометрические показатели.

В целом действие исследуемой бактерии *BtH*<sub>10</sub> выразилось в увеличении продуктивности растений в оба года наблюдений. Формирование биомассы клубней картофеля под влиянием бактериального штамма происходило за счет увеличения количества и качества клубней (увеличение доли крупной фракции) (табл. 4). Биомасса клубней картофеля, полученных с одного растения (в среднем за два года) под влиянием *BtH*<sub>10</sub> статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) увеличилась: для сорта Любава в 1,5 раза, для сорта Луговской – в 3 раза (см. табл. 4).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ функционирования трехкомпонентной системы: энтомопатогенная бактерия *Bacillus thuringiensis* subsp. *darmstadiensis* (*BtH*<sub>10</sub>) – возбудитель ризоктониоза картофеля *Rhizoctonia solani* – растения *Solanum tuberosum* выявил определяющую роль полифункциональных свойств *BtH*<sub>10</sub>. Патогенный для колорадского жука бактериальный штамм *BtH*<sub>10</sub> № 25 проявил антифунгальную активность в отношении возбудителя ризоктониоза картофеля *Rhizoctonia solani* в лабораторных и полевых условиях Западно-Сибирского региона. Обработка клубней картофеля перед посадкой бактериальной суспензией приводила к уменьшению пораженности ризоктониозом стеблей и столонов расте-

ний, а также полученных в конце вегетации клубней в 2013–2014 гг. Одновременно наблюдали ростостимулирующее влияние внесенной в фитоценоз картофеля бактерии *BtH*<sub>10</sub>, выраженное в увеличении всхожести, высоты и количества стеблей на одно растение. Общая положительная тенденция прослеживалась в разные по экологическим условиям годы и на растениях двух разных сортов, хотя наблюдалось некоторое влияние этих факторов на действие *BtH*<sub>10</sub>. В целом действие тестируемой бактерии на растения картофеля и степень поражения их ризоктониозом выражалось в увеличении продуктивности культуры. С учетом изначально энтомопатогенной активности бактерии в отношении основного фитофага картофеля – колорадского жука, суммарная полифункциональная активность *BtH*<sub>10</sub> (инсектицидная, антифунгальная и ростостимулирующая) является важным фактором биологического контроля организмов, повреждающих культуру, а также формирования продуктивного потенциала картофеля в Западной Сибири.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-16-00101).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Гришечкина С. Д., Смирнов О. В. Вегетационная и полевая оценка антифунгального эффекта *Bacillus thuringiensis* // Вестн. защиты растений. 2010. № 3. С. 44–50.
- Каменек Л. К., Сатарова Т. А., Каменек Д. В., Терпиловский М. А. Антифунгальное действие эндотоксина *Bacillus thuringiensis* в отношении возбудителя фитофтороза картофеля // С.-х. биология. 2011. № 1. С. 112–117.

- Кузин А.И., Кузнецова Н. И., Григорьева Т. М., Зубашева М. В., Николаенко М. А., Азизбекян Р. Р. Штамм *Bacillus thuringiensis* T-281, обладающий бинарной пестицидной активностью // Биотехнология. 2008. № 4. С. 39–48.
- Малюга А. А., Енина Н. Н., Щеглова О. В. Эффективность применения в выращивании картофеля биопрепарата бинорам // Биологические науки Казахстана. 2005. № 3–4. С. 127–132.
- Новикова И. И., Литвиненко А. И., Бойкова И. В., Ярошенко В. А., Калько Г. В. Биологическая эффективность новых микробиологических препаратов Алиринов Б и С для защиты растений от болезней в разных природно-климатических зонах. I. Биологическая эффективность алиринов в отношении болезней овощных культур открытого и защищенного грунта и картофеля // Микология и фитопатология. 2003. Т. 37, № 1. С. 92–98.
- Новикова И. И. Полифункциональные биопрепараты для защиты растений от болезней // Защита и карантин растений. 2005. № 2. С. 22–26.
- Патент РФ на изобретение № 2514023. Штамм *Bacillus thuringiensis* var. *darmsstädiensis* № 25 в качестве средства комплексного воздействия на вредных жесткокрылых насекомых и фитопатогенные грибы. 2014.
- Смирнов О. В., Гришечкина С. Д. Полифункциональная активность *Bacillus thuringiensis* Berliner // С.-х. биология. 2011. № 3. С. 123–126.
- Соколова М. В. Хитиноподобная и антигрибная активность трех штаммов бактерий рода *Serratia* // Современная биотехнология в решении проблем защиты растений. СПб., 1995. С. 214–224.
- Шалдяева Е. М., Пилипова Ю. В. Ризоктониоз картофеля: склероциальный индекс // Защита и карантин растений. 1999. № 5. С. 16–17.
- Штерншис М. В. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России // Вестн. ТГУ. Биология. 2012. № 2. С. 92–100.
- Akram W., Mahboot A., Javed A. *Bacillus thuringiensis* strain 199 can induce systemic resistance in tomato against *Fusarium* wilt // Eur. J. Microbiol. Immunol. 2013. Vol. 3. P. 275–280.
- Cawoy H., Mariutto M., Henry G., Fisher C., Vasilyeva N., Thonart P., Dommes J., Ongena M. Plant defense stimulation by natural isolates of *Bacillus* depends on efficient surfactin production // Mol. Plant-Microbe Interaction. 2014. Vol. 27, N 2. P. 87–100.
- Elkahoui S., Djebalin N., Karkouch I., Hadjibrahim A., Kalai L., Bachkovel S., Tabbene O., Limam F. Mass spectrometry identification of antifungal lipopeptides from *Bacillus* sp. BCLR2 against *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia sclerotiorum* // Appl. Biochem. Microbiol. 2014. Vol. 50, N 2. P. 161–165.
- Frank J. A., Leach S. S., Webb R. A. Evaluation of potato clone reaction to *Rhizoctonia solani* // Plant Dis. Rep. 1976. Vol. 60, N 11. P. 910–912.
- Hathout Y., Ho Y., Rhyzhov V., Demirev P., Fenselav C. Kurstakins: a new class of lipopeptides isolated from *Bacillus thuringiensis* // J. Nat. Products. 2000. Vol. 63. P. 1492–1496.
- Heydari A., Pesarakli M. A review on biological control of fungal plant pathogens using microbial antagonists // J. Biol. Sci. 2010. Vol. 1, N 4. P. 273–290.
- Kim P. I., Bai H., Bai D., Chae H., Chung S., Kim Y., Park R., Chi Y.-T. Purification and characterization of a lipopeptide produced by *Bacillus thuringiensis* CMB26 // J. Appl. Microbiol. 2004. Vol. 97. P. 942–949.
- Knaak N., Rohr A., Fiuza L. In vitro effect of *Bacillus thuringiensis* strains and Cry-proteins in phytopathogenic fungi of paddy rice field // Brazil. J. Microbiol. 2007. Vol. 38, N 3. 10 p.
- Martinez-Absalon S., Rojas-Solis D., Hernandez-Leon R., Prieto-Barajas C., Orozco-Mosqueda M., Peria-Cabriales J., Sakuda S., Valencia-Cantero E., Santoyo G. Potential use and mode of action of the new strain *Bacillus thuringiensis* UM96 for the biological control of the grey mould phytopathogen *Botrytis cinerea* // Biocontrol Sci. Technol. 2014. Vol. 24, N 12. P. 1349–1362.
- Mojica-Marin V., Luna-Olvera H., Sandoval-Coronado C., Pereyra-Abferer B., Moreles-Ramos L., Hernandez-Luna C., Alvarado-Gomez O. Antagonistic activity of selected strains of *Bacillus thuringiensis* against *Rhizoctonia solani* of chili pepper // Afr. J. Biotechnology. 2008. Vol. 7, N 9. P. 1271–1276.
- Pane C., Vilecco D., Campanile F., Zaccardelli M. Novel strains of *Bacillus* isolated from compost and compost-amended soils as biological control agents against soil-borne phytopathogenic fungi // Biocontrol Sci. Technol. 2012. Vol. 22, N 12. P. 1373–1388.
- Reyes-Ramirez A., Escudero-Abarca B. I., Aguilar-Uscanga G., Hayward-Jones P. M., Barboza-Corona J. E. Antifungal activity of *Bacillus thuringiensis* chitinase and its potential for the biocontrol of phytopathogenic fungi in soybean seeds // J. Food Sci. 2004. Vol. 69, N 5. P. M131–M134.
- Seo D. J., Nguen D. M., Song Y. S., Jung W. J. Induction of defense response against *Rhizoctonia solani* in cucumber plant by endophytic bacterium *Bacillus thuringiensis* GS1 // J. Microbiol. Biotechnol. 2012. Vol. 22, N 3. P. 407–415.
- Tao A., Pang F., Huang S., Yu G., Li B., Wang T. Characterisation of endophytic *Bacillus thuringiensis* strains isolated from wheat plants as biocontrol agents against wheat flag smut // Biocontrol Sci. Technol. 2014. Vol. 24, N 8. P. 901–924.

- Xie S. S., Wu H. J., Zang H. Y., Wu L. M., Zhu Q. Q., Gao X. W. Plant growth promotion by spermidine-producing *Bacillus subtilis* OKB105 // Mol. Plant-Microbe Interact. 2014. Vol. 27, N 7. P. 655–663.
- Yu G. Y., Sinclair J. B., Hartman G. L., Bertagnolli B. L. Production of iturin A by *Bacillus amyloliquefaciens* suppressing *Rhizoctonia solani* // Soil Biol. Biochem. 2002. Vol. 34, N 7. P. 955–963.
- Zhou Y., Choi Y., Sun M., Yu Z. Novel role of *Bacillus thuringiensis* to control plant diseases // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2008. Vol. 80, N 4. P. 563–572.

## **Ecological Interactions in the System: Entomopathogenic Bacterium *Bacillus thuringiensis* – Plant Pathogenic Fungus *Rhizoctonia solani* – Host Plant *Solanum tuberosum***

S. A. BAKHVALOV<sup>1</sup>, V. P. TSVETKOVA<sup>1</sup>, T. V. SHPATOVA<sup>1</sup>,  
M. V. SHTERNISHIS<sup>1</sup>, S. D. GRISHECHKINA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Agrarian University  
630039, Novosibirsk, Dobrolyubova str., 160

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology  
196608, St. Petersburg, Pushkin-8, Podbelsky rd., 3  
E-mail: ngau-bsa@ngs.ru, svetagrishechkina@mail.ru

Mutual functional dependence in the three-component system (*Bacillus thuringiensis* – *Rhizoctonia solani* – *Solanum tuberosum*) was shown. Suppression of rhizoctonia disease of potato due to the treatment of tubers with entomopathogenic bacteria *Bacillus thuringiensis* subsp. *darmstadiensis* (*BtH*<sub>10</sub>) was demonstrated. *In vitro* inhibitory activity of *BtH*<sub>10</sub> towards *R. solani* exceeded 80 %. Field testing was carried out on two potato cultivars of different ripeness groups in 2013–2014. The rhizoctonia disease severity in stems, stolons and new tubers decreased significantly due to *BtH*<sub>10</sub> treatment. Together with biological control of *R. solani*, *BtH*<sub>10</sub> promoted the plants' growth, increasing germinating capacity, stem height and number. Polyfunctional activity of the *BtH*<sub>10</sub> bacteria contributed to the improvement of potato productivity.

**Key words:** *Bacillus thuringiensis*, *Rhizoctonia solani*, *Solanum tuberosum*, biological control, disease suppression, polyfunctional activity, plant growth promotion.