



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-1

УДК 579.64:632.937

## ШТАММЫ *BACILLUS THURINGIENSIS* С РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ И ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

#### Горобей И.М., Калмыкова Г.В., Давыдова Н.В., Андреева И.В.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Для цитирования: Горобей И.М., Калмыкова Г.В., Давыдова Н.В., Андреева И.В. Штаммы Bacillus thuringiensis с ростостимулирующей и фунгицидной активностью // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 6. С. 5–12. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-1

№ 6. C. 5–12. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-1

For citation: Gorobey I.M., Kalmykova G.V., Davydova N.V., Andreeva I.V. Shtammy Bacillus thuringiensis s rostostimuliruyushchei i fungitsidnoi aktivnost'yu [Strains of Bacillus Thuringiensis with growth-stimulating and fungicidal activity]. Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 6, pp. 5–12. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-1

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты изучения ростостимулирующей и антифунгальной активности штаммов Bacillus thuringiensis ssp. fukuokaensis, ssp. morrisoni, ssp. toumanoffi, ssp. dakota и ssp. amagiensis. Выявлено положительное влияние всех изученных штаммов на морфометрические показатели проростков ярового рапса и яровой пшеницы. Обработка семян ярового рапса спорово-кристаллическими смесями B. thuringiensis способствовала достоверному увеличению длины корней в 1,9–3,4 раза, проростков в 1,3– 1,9 раза в зависимости от штамма. Стимуляция роста растений отмечена и при инокуляции семян яровой пшеницы суспензиями штаммов B. thuringiensis, однако достоверное положительное действие выявлено только в варианте с использованием штамма B. thuringiensis ssp. fukuokaensis. Выявлена тенденция снижения количества пораженных корневой гнилью проростков яровой пшеницы при обработке семян штаммами B. thuringiensis ssp. morrisoni, ssp. dakota, ssp. amagiensis. В экспериментах с использованием чистых культур установлено, что все тес-

# STRAINS OF *BACILLUS THURINGIENSIS* WITH GROWTH-STIMULATING AND FUNGICIDAL ACTIVITY

### Gorobey I.M., Kalmykova G.V., Davydova N.V., Andreeva I.V.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

The article presents the results of the study of growth-stimulating and antifungal activity of strains Bacillus thuringiensis ssp. fukuokaensis ssp. morrisoni, ssp. toumanoffi, ssp. dakota and ssp. amagiensis. The positive effect of all studied strains on morphometric parameters of spring rape and spring wheat seedlings was revealed. Treatment of spring rape seeds with spore-crystal mixtures of B. thuringiensis contributed to a significant increase in the length of roots by 1.9-3.4 times and sprouts – by 1.3-1.9 times, depending on the strain. Stimulation of plant growth was also observed in the inoculation of spring wheat seeds with suspension strains of B. thuringiensis. However, a significant positive effect was revealed only in the variant with the use of the strain of B. thuringiensisssp. fukuokaensis. There was a downward trend in the number of spring wheat seedlings affected with root rot when the seeds were treated with the strains of B. thuringiensisssp. morrisoni, ssp. dakota, ssp. amagiensis. In the experiments with pure cultures it was found that all tested strains of B. thuringiensis showed a

тируемые штаммы *B. thuringiensis* проявили высокую степень антагонистической активности к двум видам фитопатогенов. Ингибирующая активность штаммов *B. thuringiensis* на 10-е сутки эксперимента в отношении *Fusarium oxysporum* варьировала от 68 до 83%, *Alternaria alternata* – от 71 до 89%. Проведенный анализ показал, что все исследуемые штаммы *B. thuringiensis* стимулировали рост растений ярового рапса и яровой пшеницы и проявляли антифунгальную активность. Полученные данные представляют интерес для дальнейших исследований с целью создания полифункциональных биологических препаратов для защиты растений.

**Ключевые слова:** полифункциональная активность, *Bacillus thuringiensis*, ростостимулирующее действие, морфометрические показатели, фитопатогены, ингибирующая активность

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка биопрепаратов, обладаюших комплексной функциональной активностью - важнейшее направление экологизации земледелия и получения продуктов растениеводства, свободных от остатков пестицидов. Современный ассортимент биологических инсектицидов включает преимущественно препараты на основе бактерии Bacillus thuringiensis (B. thuringiensis) Berliner. Эти бактерии широко распространены в природе и уже несколько десятилетий используются в качестве продуцентов энтомопатогенных биопрепаратов, которые в настоящее время признаны самыми безопасными, распространенными и успешными биоинсектицидами последнего столетия [1, 2]. Специфичность действия этих препаратов против насекомых-вредителей определяется наличием дельта-эндотоксина, синтезируемого B. thuringiensis во время споруляции. При изучении существующих коммерческих бактериальных инсектицидов обнаружено, что дельта-эндотоксины штаммов-продуцентов B. thuringiensis ssp.

high degree of antagonistic activity to two types of phytopathogens. The inhibitory activity of the strains of *B. thuringiensis* on the 10th day of the experiment with regard to *Fusarium oxysporum* ranged from 68 to 83%, *Alternaria alternata* – from 71 to 89%. The analysis showed that all studied strains of *B. thuringiensis* stimulated the growth of plants of spring rape and spring wheat and showed antifungal activity. The obtained data are of interest for further research in order to create multifunctional biological preparations for plant protection.

**Keywords:** multifunctional activity, *Bacillus thuringiensis*, growth-stimulating effect, morphometric parameters, phytopathogens, inhibitory activity

thuringiensis, kurstaki, darmstadiensis также проявляют ростостимулирующее действие на ряде овощных культур: пшенице, томате, салате<sup>1</sup>, огурце [3–6]. В некоторых исследованиях показано, что ростостимулирующая активность сочеталась с фунгицидными свойствами [4, 7-10]. Способность подавлять рост фитопатогенных грибов: Alternaria, Fusarium, Rhyzoctonia, Botrytis, Sclerotinia, Helmintosporum, Aspergillus – выявлена у штаммов B. thuringiensis ssp. thuringiensis, kurstaki, sotto, darmstadiensis<sup>2</sup> [7, 11–14]. Штаммы *B. thuringiensis* этих и других подвидов обладали антибактериальными свойствами, проявляя активность против грамположительных и грамотрицательных бактерий [15]. Потенциальная возможность применения B. thuringiensis в контроле бактериальных болезней растений была показана японскими исследователями [16].

Полифункциональные свойства *B. thuringiensis* создают большие возможности для применения этой энтомопатогенной бактерии как ростостимулятора и индуктора защитных механизмов растений против болез-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Крыжко А.В., Кузнецова Л.Н. Стимулирующий эффект энтомопатогенных штаммов *Bacillus thuringiensis* на морфометрические показатели растений салата // Генетическая интеграция прокариот и эукариот: фундаментальные исследования и современные агротехнологии: тез. межд. конф. СПб, 2015. С. 84–85.

 $<sup>^2</sup>$ Гришечкина С.Д. Технологии применения бацикола против вредителей-фитофагов и фитопатогенов // Генетическая интеграция прокариот и эукариот: фундаментальные исследования и современные агротехнологии: тез. междунар. конф. СПб, 2015. С. 69–70.

ней [11]. Однако до сих пор исследования в этом направлении проводили в основном на штаммах *B. thuringiensis*, которые являются продуцентами коммерческих бактериальных инсектицидов *B. thuringiensis* ssp. *thuringiensis*, *kurstaki*, *darmstadiensis*, а в настоящее время известно о более чем 80 подвидах *B. thuringiensis* [17].

Цель исследования — выявить штаммы *B. thuringiensis* различных подвидов, обладающих ростостимулирующим и фунгицидным действием.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в лаборатории биологического контроля фитофагов и фитопатогенов Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН.

Объектами исследований служили штаммы B. thuringiensis ssp. fukuokaensis B-919, ssp. morrisoni B-930, ssp. toumanoffi B-938, ssp. dakota B-947, ssp. amagiensis B-971, депонированные в коллекцию культур микроорганизмов ГНЦ ВБ «Вектор» (Новосибирск). Характеристика штаммов по физиолого-биохимическим и молекулярно-генетическим особенностям представлена ранее [18]. Культуры *B. thuringiensis* поддерживали на среде «А» следующего состава: 0,7% пептона, 0,5 - NaCl, 0,4 - рыбного гидролизата, 1,2% агара при температуре 4 °C. Для оценки фунгицидного и ростостимулирующего действия штаммы выращивали на среде «А» в течение 5 сут при 28 °С до полного высыпания спор и кристаллов. Далее споры и кристаллы собирали шпателем в физраствор. В полученной суспензии определяли концентрацию спор методом серийных разведений и подсчетом выросших на ней колоний. Для опытов использовали рабочую суспензию с титром  $\sim 10^9$  спор/мл.

Ростостимулирующее действие штаммов *B. thuringiensis* оценивали на растениях ярового рапса сорта СибНИИК 21 и яровой пшенице Новосибирская 31. При оценке ростостимулирующего действия использовали метод рулонов согласно ГОСТ 123038–84.

Учет морфометрических показателей проводили на 7-е сутки эксперимента.

Фунгицидную активность микроорганизмов определяли методом агаровых блоков<sup>3</sup>. В качестве тест-объектов для определения антагонистической активности B. thuringiensis выбраны возбудитель альтернариоза ярового рапса Alternariaa aternata (Fr.) Keissl и наиболее распространенный возбудитель фузариоза сельскохозяйственных культур -Fusarium oxysporum Schlecht. emend Snyd. Et Hans. Фитопатогенные грибы A. aternata и *F. охуѕрогит* культивировали на среде Чапека в течение 10 сут. В 100 мл среды Чапека вносили 1 мл споро-кристаллической суспензии, на поверхность полученного газона помещали блоки фитопатогена, вырезанного из 10-суточной культуры гриба. Антагонистическую активность штаммов B. thuringiensis оценивали по величине диаметра фитопатогенного гриба в опытных вариантах в сравнении с контролем.

Ингибирующую активность (ИА) рассчитывали по формуле

$$\text{MA} = \frac{\Pi_{\text{K}} - \Pi_{\text{O}}}{\Pi_{\text{K}}} \times 100,$$

где  $\Pi_{K}$  – диаметр колонии в контрольном варианте, см;  $\Pi_{O}$  – диаметр колонии в опытном варианте, см.

Опыты по определению ростостимулирующей и фунгицидной активности закладывали в четырехкратной повторности. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием стандартного пакета программ Snedecor.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов выявлено положительное влияние изученных штаммов *B. thuringiensis* на морфометрические показатели проростков ярового рапса и яровой пшеницы.

Во всех вариантах опыта обработка семян суспензиями *B. thuringiensis* приводила к достоверному увеличению длины корней

 $<sup>^{3}</sup>$ Методы экспериментальной микологии / под ред. В.И. Билай. – Киев: Наукова думка, 1982. 271 с.

ярового рапса в 1,9–3,4 раза, их проростков в 1,3–1,9 раза на начальных этапах их развития (см. табл. 1). Наибольшую активность проявил штамм Bt ssp. toumanoffi. Существенных различий по лабораторной всхожести семян ярового рапса по вариантам опыта не выявлено. Она составила от 83 до 100%.

При инокуляции семян яровой пшеницы штаммами *B. thuringiensis* наблюдали тенденцию увеличения длины корней и проростков. Установлено достоверное положительное действие в варианте с использованием штамма *B. thuringiensis* ssp. *fukuokaensis*. Лабораторная всхожесть семян яровой пшеницы в вариантах опыта составила от 94 до 100% при всхожести в контроле 97%.

Аналогичные результаты получены другими исследователями на растениях пшеницы с использованием очищенного дельта-эндотоксина штамма 202 *B. thuringiensis* ssp. *thuringiensis*. В этих экспериментах предпосевная обработка семян пшеницы опытными суспензиями обеспечивала достоверное увеличение морфометрических показате-

лей (длины листа по средней жилке, длины корня и массы растения). Энергия прорастания семян и лабораторная всхожесть зависели от концентрации раствора дельтаэндоксина [6]. Использование штамма Z-52 В. thuringiensis ssp. kurstaki для обработки семян огурца приводило к увеличению длины корня и проростка, а также сырой массы растения на начальном этапе развития растений, однако в существенной степени не сказывалось на энергии прорастания и всхожести семян протестированных сортов [5].

При оценке ростостимулирующего действия штаммов *B. thuringiensis* на пшенице отмечено снижение количества пораженных корневой гнилью проростков под влиянием *B. thuringiensis* ssp. *morrisoni*, ssp. *dakota*, ssp. *amagiensis*, однако различия между вариантами были несущественными (см. рисунок).

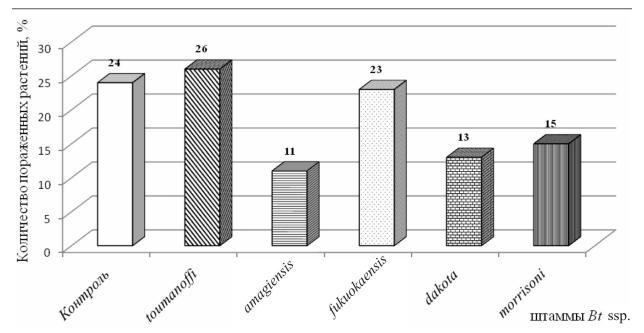
В результате определения фунгицидной активности установлено, что все испытанные штаммы *B. thuringiensis* проявили высокую степень антагонизма по отношению к фитопатогенным грибам *A. alternata* и *F. oxysporum* (см. табл. 2).

**Табл. 1.** Влияние штаммов *B. thuringiensis* на морфометрические показатели ярового рапса **Table 1.** Influence of strains of *B. thuringiensis* on the morphometric parameters of spring rape

Штамм <i>B. thuringiensis</i> ssp.	Длина корня		Длина проростка	
	СМ	+к контролю	СМ	+ к контролю
Контроль	1,1	_	1,0	_
fukuokaensis	2,7	1,6	1,8	0,8
morrisoni	3,2	2,1	1,4	0,4
toumanoffi	3,7	2,7	1,9	0,9
dakota	3,4	2,3	1,3	0,3
amagiensis	2,1	1,0	1,4	0,3
HCP <sub>05</sub>	0,47	_	0,23	_

**Табл. 2.** Влияние штаммов *B. thuringiensis* на рост фитопатогенных грибов (диаметр колонии, см) **Table 2.** Effect of strains of *B. thuringiensis* on the growth of phytopathogenic fungi (colony diameter, cm)

Штамм <i>B. thuringiensis</i> ssp.	A. alternata		F. oxysporum		
	Сутки				
	7-e	10-e	7-e	10-е	
Контроль	8,8	8,9	9,0	9,0	
fukuokaensis	1,4	1,4	1,9	1,9	
morrisoni	1,7	2,1	1,5	1,5	
toumanoffi	1,6	1,9	2,1	2,1	
dakota	1,8	1,9	2,8	2,8	
amagiensis	1,5	1,5	2,6	2,9	
HCP <sub>05</sub>	0,46	0,43	0,21	0,33	



Влияние обработки семян яровой пшеницы штаммами *B. thuringiensis* на поражение проростков корневой гнилью (HCP $_{05}$  7,03) Effect of treatment of spring wheat seeds with strains of *B. thuringiensis* on seedlings' lesion with root rot (HCP $_{05}$  7.03)

Ингибирующая активность штаммов на 10-е сутки эксперимента в отношении F. oxysporum составила от 68 до 83%, *A. alternata* – от 71 до 89%. Максимальное подавление роста обоих видов фитопатогенных грибов вызывали штаммы B. thuringiensis ssp. toumanoffi и B. thuringiensis ssp. amagiensis. Кроме того, штамм B. thuringiensis ssp. fukuokaensis оказался наиболее эффективным в отношении A. alternata. B. thuringiensis ssp. morrisoni makсимально подавлял рост *F. охуѕрогит*. Помимо угнетения линейного роста тест-культур фитопатогенов, штаммы B. thuringiensis ssp. fukuokaensis, ssp. toumanoffi и ssp. dakota при воздействии на A. alternata ингибировали спороношение фитопатогена и снижали скорость прорастания спор.

Подобные исследования были проведены со штаммами трех подвидов *B. thuringiensis* ssp. *thuringiensis*, ssp. *kurstaki*, ssp. *dendrolimus* в сравнении с *Bacillus subtilis*, выделенных в условиях Молдавии. В этих экспериментах высокая антагонистическая активность в отношении грибов *F. oxysporum* var. *orthoceras* и *A. alternata*, сравнимая с активностью *B. subtilis*, обнаружена у *B. thuringiensis* ssp. *кurstaki* [19].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что все тестируемые штаммы B. thuringiensis ssp. fukuokaensis, ssp. morrisoni, ssp. toumanoffi, ssp. dakota, ssp. amagiensis сочетали ростостимулирующее действие на яровом рапсе и яровой пшенице с фунгицидной активностью в отношении F. oxysporum и A. alternata. Выявленные различия между штаммами, вероятно, связаны с разнообразием метаболитов, синтезируемых культурами этого вида бактерий: белковых эндо- и экзотоксинов, литических ферментов (хитиназы, протеазы, амилазы, липазы), антибиотиков широкого спектра действия, бактериоцинов. Эти метаболиты могли активизировать у растений синтез гетероауксина [4], индуцировать защитные механизмы растения против болезней [11] или подавлять фитопатогены, способствуя оздоровлению растений [6].

Дальнейшее изучение возможных механизмов действия этих метаболитов на развитие растений, селекция штаммов с высокой ростостимулирующей активностью будут способствовать разработке биопрепаратов для перспективных безопасных агротехнологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Калмыкова Г.В., Горобей И.М., Осипова Г.М. Перспективы использования Bacillus thuringiensis как биологического агента защиты растений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 4. С. 12–19.
- 2. Fiuza L.M., Polanczyk R.I., Criekmore N. (Editors). Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus. Characterization and use in the field of biocontrol // Springer International Publishing AG. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-56678-8.
- 3. Armada E., Probanza A., Roldan A., Azcon R. Native plant growth promoting bacteria Bacillus thuringiensis and mixed or individual mycorhizal species improved drought tolerance and oxidative metabolism in Lavandula dentate plants // Journal Plant Physiol. 2015. Vol. 192. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.11.007.
- 4. Климентова Е.Г., Каменёк Л.К., Каменёк Д.В. и др. Перспективы использования дельта-эндотоксина Bacillus thuringiensis как биорегулятора роста растений с фитозащитными свойствами // АГРО XXI. 2010. № 4–6. С. 31–33.
- Каменёк Л.К., Терехина Л.Д., Андреева И.В., Терехин Д.А., Воронцов В.В., Каменёк В.М. Изучение ростостимулирующего действия дельта-эндотоксина на примере растений огурца // Вестник НГАУ. 2010. Т. 16. № 4. С.13–17.
- 6. Коробов Я.А., Каменёк Л.К., Каменёк В.М., Усеева Л.Ф. Ростостимулирующее действие дельта-эндотоксина Bacillus thuringiensis на ювенильные растения пшеницы // Ульяновский медико-биологический журнал. 2017. № 2. С. 152–158.
- 7. Штерниис М.В., Беляев А.А., Цветкова В.П., Шпатова Т.В., Леляк А.А., Бахвалов С.А. Биопрепараты на основе бактерий рода Bacillus thuringiensis для управления здоровьем растений: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 284 с.
- 8. Raddadi N., Belaouis A., Namagnini I., Hansen B.M., Hendriksen N.B., Boudabous A., Cherif A., Daffonchio D. Characterization of polyvalent and safe Bacillus thuringiensis strains with potential use for biocontrol // Journal Basic Microbiol. 2009. Vol. 49. P. 293–303. DOI: 10.1002/jobm.200800182.
- 9. *Смирнов О.В., Гришечкина С.Д.* Полифункциональная активность *Bacillus thuringiensis* Berliner // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 123–126.

- Jouzani G., Valijanian E., Sharafi R. Bacillus thuringiensis: a successful insecticide with new environmental features and tidings // Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. Vol. 101. P. 2691–2711. DOI: 10/1007/s00253-017-8175-y.
- 11. Jung W.J., Mabood F., Souleimanov A., Smith D.L. Induction of defense-related enzymes in soybean leaves by class IId bacteriocins (thuricin 17 and bacteriocin F4) purified from Bacillus strains // Microbiological Research. 2011. Vol. 167. P. 14–19.
- 12. *Zhou Y., Choi Y., Sun M.* Novel roles of *Bacillus thuringiensis* to control plant diseases // Applied Microbiology and Biotechnology. 2008. Vol. 80. P. 563–572.
- 13. Shrestha A., Sultana R., Chae J.C. Kim K, Lee K.J. Bacillus thuringiensis C25 which is rich in cell wall degrading enzymes efficienyly controls lettuce drop caused by Sclerotinia minor // European Journal of Plant Pathology. 2015. Vol. 142. P. 577–589. DOI: 10.1007/s10658-015-0636-5.
- 14. *Morales de la Vega L.M., Barboza-Corona J.E., Aguilar-Uscanga M.G., Ramhrez-Lepe.* Purification and characterization of an exochitinase from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawa*i and its action against phytopathogenic fungi // Canadian Journal of Microbiology. 2006. Vol. 52. P. 651–657.
- 15. Калмыкова Г.В., Бурцева Л.И., Ермакова О.Г., Якунина О.Ю., Мотовилов А.Я. Антибактериальная активность штаммов Bacillus thuringiensis в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. № 2. С. 97–104.
- Elsharkawy M.M., Nakatani M., Nishimura M., Arakawa T., Shimizu M. Control of tomato bacterial and root-knot diseases by Bacillus thuringiensis CR-371 and Streptomyces avermectinius NBRC14893 // Soil Plant Sci. 2015. Vol. 65. P. 575–580. DOI: 10.1080/0906 4710.2015.1031819.
- 17. Lecadet M.M., Frachon E., Dumanoir V.C., Ripouteau H., Hamon S., Laurent P., Thiery I. Updating the H-antigen classification of Bacillus thuringiensis. Applied Microbiology and Biotechnology. 1999. Vol. 86. P. 660–673.
- 18. Мокеева А.В., Калмыкова Г.В., Бурцева Л.И., Орешкова С.Ф., Андреева И.С., Репин В.Е. Сравнительный анализ штаммов энтомопатогенной бактерии Bacillus thuringiensis мо-

- лекулярно-генетическими методами // Биотехнология. 2006. № 3. С. 47–55.
- 19. *Николаев А.Н., Николаева С.И.* Сравнительная антифунгальная активность изолятов *Bacillus subtilis* и *Bacillus thuringiensis* in vitro // Studia Univ. Moldaviae. 2015. T. 81. № 1. С. 12–16.

#### REFERENCES

- 1. Kalmykova G.V., Gorobei I.M., Osipova G.M. Perspektivy ispol'zovaniya Bacillus thuringiensis kak biologicheskogo agenta zashchity rastenii [Prospects for the use of *Bacillus thuringiensis* as a biological agent for plant protection]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2016, no. 4, pp.12–19. (In Russian).
- Fiuza L.M., Polanczyk R.I., Criekmore N. (Editors). *Bacillus thuringiensis* and *Lysinibacillus sphaericus*. Characterization and use in the field of biocontrol. *Springer International Publishing AG*. 2017. DOI:10.1007/978-3-319-56678-8.
- 3. Armada E., Probanza A., Roldan A., Azcon R. Native plant growth promoting bacteria *Bacillus thuringiensis* and mixed or individual mycorhizal species improved drought tolerance and oxidative metabolism in Lavandula dentate plants. *Journal Plant Physiology*, 2015, vol. 192, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.11.007.
- 4. Klimentova E.G., Kamenek L.K., Kamenek D.V. i dr. Perspektivy ispol'zovaniya del'ta-endotoksina *Bacillus thuringiensis* kak bioregulyatora rosta rastenii s fitozashchitnymi svoistvami [Prospects for the use of delta-endotoxin Bacillus thuringiensis as a plant growth bioregulator with phytoprotective properties]. *AGRO XXI* [AGRO XXI], 2010, no.4–6, pp. 31–33. (In Russian).
- 5. Kamenek L.K., Terekhina L.D., Andreeva I.V., Terekhin D.A., Vorontsov V.V., Kamenek V.M. Izuchenie rostostimuliruyushchego deistviya del'ta-endotoksina na primere rastenii ogurtsa [Study of the growth-promoting effect of delta-endotoxin on the example of cucumber plants]. *Vestnik NGAU* [Bulletin of NSAU], 2010, vol. 16, no. 4, pp.13–17. (In Russian).
- Korobov Ya.A., Kamenek L.K., Kamenek V.M., Useeva L.F. Rostostimuliruyushchee deistvie del'ta-endotoksina *Bacillus thuringiensis* na yuvenil'nye rasteniya pshenitsy [The growthpromoting effect of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin on juvenile wheat plants].

- *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Biomedical Journal], 2017, no. 2, pp.152–158. (In Russian).
- 7. Shternshis M.V., Belyaev A.A., Tsvetkova V.P., Shpatova T.V., Lelyak A.A., Bakhvalov S.A. Biopreparaty na osnove bakterii roda *Bacillus thuringiensis* dlya upravleniya zdorov'em rastenii [Biological preparations based on bacteria of the genus *Bacillus thuringiensis* for plant health management]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN Publ., 2016, 284 p. (In Russian).
- 8. Raddadi N., Belaouis A., Namagnini I., Hansen B.M, Hendriksen N.B., Boudabous A., Cherif A., Daffonchio D. Characterization of polyvalent and safe *Bacillus thuringiensis* strains with potential use for biocontrol. *Journal Basic Microbiology.* 2009, vol. 49, pp. 293–303. DOI: 10.1002/jobm.200800182.
- 9. Smirnov O.V., Grishechkina S.D. Polifunkcional'naya aktivnost' *Bacillus thuringiensis* Berliner [Multifunctional activity of *Bacillus thuringiensis* Berliner]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2011, no. 3, pp. 123–126. (In Russian).
- Jouzani G., Valijanian E., Sharafi R. *Bacillus thuringiensis*: a successful insecticide with new environmental features and tidings. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017, vol. 101, pp. 2691–2711. DOI: 10/1007/s00253-017-8175-y.
- 11. Jung W.J., Mabood F., Souleimanov A., Smith D.L. Induction of defense-related enzymes in soybean leaves by class IId bacteriocins (thuricin 17 and bacteriocin F4) purified from *Bacillus* strains. *Microbiological Research*. 2011. vol. 167, pp. 14–19.
- 12. Zhou Y., Choi Y., Sun M. Novel roles of Bacillus thuringiensis to control plant diseases. Applied Microbiology and Biotechnology, 2008, vol. 80, pp. 563–572.
- Shrestha A., Sultana R., Chae J.C. Kim K, Lee K.J. *Bacillus thuringiensis* C25 which is rich in cell wall degrading enzymes efficiently controls lettuce drop caused by *Sclerotinia minor*. *European Journal of Plant Pathology*. 2015, vol. 142, pp. 577–589. DOI: 10.1007/ s10658-015-0636-5.
- 14. Morales de la Vega L.M., Barboza-Corona J.E., Aguilar-Uscanga M.G., Ramirez-Lepe. Purification and characterization of an exochitinase from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawa*i and its action against phytopathogenic fungi. *Ca*-

- *nadian Journal of Microbiology.* 2006, vol. 52. pp. 651–657.
- 15. Kalmykova G.V., Burtseva L.I., Ermakova O.G., Yakunina O.Yu., Motovilov A.Ya. Antibakterial'naya aktivnost' shtammov *Bacillus thuringiensis* v otnoshenii patogennykh i uslovno-patogennykh mikroorganizmov [Antibacterial activity of *Bacillus thuringiensis* strains against pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2013, no. 2, pp. 97–104. (In Russian).
- Elsharkawy M.M., Nakatani M., Nishimura M., Arakawa T, Shimizu M. Control of tomato bacterial and root-knot diseases by *Bacillus* thuringiensis CR-371 and *Streptomyces aver*mectinius NBRC14893. Soil Plant Sci. 2015, vol. 65, pp. 575–580. DOI:10.1080/09064710 .2015.1031819. (In Russian).
- 17. Lecadet M.M., Frachon E., Dumanoir V.C., Ripouteau H., Hamon S., Laurent P., Thiery I.

#### Информация об авторах

**Горобей И.М.,** доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

(☑) Калмыкова Г.В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук; адрес для переписки: Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: gvkalmyk@mail.ru

Давыдова Н.В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Андреева И.В., кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

- Updating the H-antigen classification of *Bacillus thuringiensis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1999, vol. 86, pp. 660-673.
- 18. Mokeeva A.V., Kalmykova G.V., Burtseva L.I., Oreshkova S.F., Andreeva I.S., Repin V.E. Sravnitel'nyi analiz shtammov entomopatogennoi bakterii *Bacillus thuringiensis* molekulyarno-geneticheskimi metodami [Comparative analysis of the entomopathogenic *Bacillus thuringiensis*s trains using the methods of molecular genetics], *Biotehnologiya* [Biotechnology], 2006, no. 3, pp. 47-55. (In Russian).
- 19. Nikolaev A.N., Nikolaeva S.I. Sravnitel'naya antifungal'naya aktivnost' izolyatov *Bacillus subtilis* i *Bacillus thuringiensis* in vitro [Comparative antifungal activity of isolates of *Bacillus subtilis* and *Bacillus thuringiensis* in vitro]. *Studia Univ. Moldaviae* [Studia Univ. Moldaviae], 2015, vol. 81, no. 1, pp. 12–16. (In Russian).

#### **AUTHOR INFORMATION**

**Gorobey I.M.,** Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

( Kalmykova G.V., Candidate of Science in Biology, Lead Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; address: PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: gvkalmyk@mail.ru

**Davydova N.V.,** Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Andreeva I.V., Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Дата поступления статьи 11.09.2018 Received by the editors 11.09.2018