



УДК 579.64:632.937

Г.В. КАЛМЫКОВА, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
И.М. ГОРОБЕЙ, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией,
Г.М. ОСИПОВА, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

Сибирский научно-исследовательский институт кормов СФНЦА РАН

630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск

e-mail: gvkalkmyk@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *BACILLUS THURINGIENSIS* КАК БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Показаны современные биологические методы защиты растений от болезней на основе анализа отечественной и зарубежной литературы. Высокие потери урожая из-за болезней растений в сочетании с потребностью в экологически чистой продукции делают направление по созданию микробиологических препаратов крайне актуальным. Особое внимание уделено виду *Bacillus thuringiensis*, у которого идентифицировано около 90 подвидов. В настоящее время в мире производится 90 % всех коммерческих биоинсектицидов на основе штаммов *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki*, *aizawai*, *israelensis*. Рассмотрены данные о способности культур *Bacillus thuringiensis*, относящихся к различным подвидам, продуцировать вещества, которые защищают растения не только от фитофагов, но и от фитопатогенных инфекций. Обнаружен новый класс антибиотиков, проявляющих высокую антагонистическую активность не только к прокариотам, но и эукариотам. Определено, что эффективная концентрация бактерицина для стимуляции роста растений и повышения их урожайности составляет всего нескольких наномолей, что делает его применение экономически выгодным. Полифункциональные свойства *Bacillus thuringiensis*, обусловленные разнообразием спектра веществ, которые продуцируют штаммы различных подвидов, позволяют прогнозировать возможность создания новых микробиологических препаратов для управления здоровьем растений. Препараты на основе *Bacillus thuringiensis* могут быть перспективными дополнением или альтернативой химическим средствам защиты от болезней в растениеводстве.

Ключевые слова: биологическая защита растений, *Bacillus thuringiensis*, Cry-белки, антагонистическая активность, бактерицины.

Защита растений от болезней играет важную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и увеличении качества продукции. Ведущим методом интегрированной защиты растений является химический. Однако несмотря на большие затраты по химическим средствам защиты растений, потери урожая от болезней, вредителей и сорняков не только не снижаются, но и возрастают. Так, в Сибири недобор урожая зерновых культур составляет ежегодно 15–20 %, в годы эпифитотий – 50 % и более [1]. По мнению большинства исследователей, основные причины этого кроются в экологических проблемах сельскохозяйственных экосистем: нарушении равновесия биоценозов, появлении резистентных к пестицидам фитопатогенов, вредителей и сорняков, генетически неустойчивых сортов и др. Кроме того, дробление крупных земельных массивов и переход их в частный сектор затрудняют применение интегрированных систем защиты и провоцируют распространение вредителей и болезней.

В сложившихся условиях все большее внимание уделяется биологическим средствам защиты растений как альтернативе пестицидам в качестве их полной замены или использования в интегрированных системах. Главная их особенность – безвредность для человека, окружающей среды, домашних и диких животных, насекомых (опылителей, энтомофагов) и других представителей биоценоза [2, 3]. Биологические средства защиты растений – важнейшие составляющие технологий производства сельскохозяйственной продукции, которые включены в «Перечень критических технологий Российской Федерации» [4]. В настоящее время выделяют две основные группы средств биологического контроля вредителей и болезней: биопестициды на основе микроорганизмов и биологические средства на основе членистоногих [5]. Микробиологические препараты являются экологически безопасной заменой пестицидам. В настоящее время они доминируют среди биологических средств защиты растений [6–9]. Исследования по их созданию и применению для защиты растений, в том числе от фитопатогенов, ученые проводят более 80 лет. Однако возможности этого метода далеко еще не исчерпаны.

Цель работы – на основе анализа отечественной и зарубежной литературы рассмотреть возможности использования *Bacillus thuringiensis* в качестве биологического агента защиты растений от болезней.

Большинство биопестицидов во всем мире производят с использованием бактерий рода *Bacillus*: *Bacillus subtilis* и *Bacillus thuringiensis*, трех видов *Pseudomonas*, двух видов стрептомицетов, грибов трех видов, бакуловирусов и вирусов гранулеза [5]. Основу 90 % всех коммерческих биопестицидов, применяемых в мире, составляют бактерии *B. thuringiensis*.

До последнего времени широкое применение *B. thuringiensis* было связано с регулированием численности насекомых – вредителей сельскохозяйственных культур и переносчиков болезней. Результаты многочисленных исследований свойств бактерий этого вида привели к выводу, что *B. thuringiensis* можно использовать в растениеводстве не только как инсектицид, но и в качестве агента защиты растений от болезней. В этом направлении ведутся интенсивные исследования, однако зарегистрированных в «Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» препаратов для защиты растений от болезней на основе *B. thuringiensis*, до сих пор не существует.

B. thuringiensis впервые изолирована Ишивата в 1901 г. из тутового шелкопряда, в 1911 г. Берлинер выделил аналогичный микроорганизм из личинок средиземноморской мучной моли, который в 1915 г. идентифицировал и описал как *B. thuringiensis* [10].

До сих пор положение *B. thuringiensis* как вида точно не установлено. По морфологическим и физиологическим свойствам *B. thuringiensis* очень похож на *Bacillus cereus*. Единственным их различием является способность *B. thuringiensis* образовывать во время споруляции параспоральные включения, некоторые из которых обладают энтомоцидным действием. В 1962 г. в институте Пастера (Париж) разработана общепризнанная схема внутривидовой идентификации *B. thuringiensis*, основанная на структуре жгутикового антигена и ряде физиолого-биохимических характеристик [11]. В результате с 1901 г. идентифицировано около 90 подвидов [12].

В зависимости от целей исследования штаммы *B. thuringiensis* дифференцируют на морфовары, фаговары, кристовары, по соматическим антигенам, по отношению к лектинам, на биовары, патовары и т.д. [10]. Наиболее практически значимым свойством этой культуры признана патогенность для насекомых, поэтому большое количество работ посвящено изучению и классификации основного фактора инсектицидного действия – кристаллического белкового токсина (δ -эндотоксина). В 1989 г. Хофте и Вители [13] классифицировали кристаллические белки на основе их спектра активности по отношению к насекомым и молекулярной массе. С увеличением клонированных генов инсектицидного кристаллического белка выявились недостатки данной номенклатуры, поэтому она была пересмотрена в 1998 г. Крикмором [14]. В основу новой номенклатуры положен принцип идентичности аминокислотной последовательности Сгу-белков, что отражается в степени их филогенетического расхождения. Из большого количества штаммов *B. thuringiensis* клонировано около 200 генов кристаллических белков, число которых продолжает увеличиваться, поскольку открываются новые белки [15].

В процессе изучения *B. thuringiensis* стало ясно, что не все Сгу-белки токсичны для насекомых: для одних описано цитотоксическое действие на раковые клетки человека [16], для других выявлена антибиотическая активность, ингибирующая разные стадии развития микроорганизмов [17], функции некоторых до сих пор остаются неустановленными.

Многолетние исследования показали, что антагонистическое действие против патогенных микроорганизмов может оказывать целый ряд веществ: бактериоцины, антибиотики, липопротеины, продуцируемые разными штаммами *B. thuringiensis*, относящимися к различным подвидам.

Начиная с 1989 г. описано и охарактеризовано около 20 бактериоцинов, синтезируемых культурами *B. thuringiensis* ssp. *thuringiensis*, *kurstaki*, *kenyae*, *entomocidus*, *morrisoni*, *tolworthi*, *tochigiensis* [18–21]. Бактериоцины – это антимикробные пептиды или белки, которые в настоящее время рассматривают как альтернативу традиционным антибиотикам в медицине и ветеринарии [21], химическим консервантам в пищевой промышленности [22], химическим препаратам против болезней растений в сельском хозяйстве, а также как стимуляторы роста растений [23].

Появляются работы о способности штаммов *B. thuringiensis* продуцировать такие циклические липопептиды, как фенгуцин [24, 25], а также новый класс этих соединений – курстакины [26]. Циклические липопептиды обладают широким спектром антибактериальной, противогрибной, противовирусной, противоопухолевой активности [27]. Они действуют на фосфолипиды клеток, формируя при этом поры в клеточных мембранах. Полагают, что липопептидные антибиотики могут восприниматься клетками растений как сигнал инициации защитных механизмов, т.е. быть элиситорами [28]. Считают, что способность липопептидов проникать через клеточные мембраны и служить элиситорами во многом определяет одновременное действие бактерий-антагонистов на фитопатогены и фитофагов-насекомых. Как правило, штаммы с более высоким содержанием липопептидных антибиотиков обладают более высокой активностью и спектром действия [28].

Кроме этих антибиотиков у *B. thuringiensis* описан линейный аминокполиольный антибиотик цвиттермицин А, который представляет новый класс структурных антибиотиков [29, 30]. Он проявляет высокую антагонистическую активность не только к бактериям, но и к эукариотам, а также повышает инсектицидную активность δ -эндотоксина *B. thuringiensis* ssp. *kurstaki* [31].

Следует отметить, что проявление инсектофунгицидного действия *B. thuringiensis* может быть связано с продукцией штаммами хитиназы [32, 33]. У коммерчески важных энтомопатогенных штаммов *B. thuringiensis* ssp. *aizawai*, *tenebrionis*, *israelensis* были очищены и охарактеризованы хитиназы, подавляющие развитие фитопатогенных грибов – возбудителей болезней растений [34, 35].

Способность штаммов *B. thuringiensis* синтезировать ацил гомосерин лактон лактоназу, которая открывает лактонное кольцо N-ацил гомосерин лактона (сигнальной молекулы в бактериальной системе quorum-sensing), привела к развитию новой стратегии борьбы с бактериальными болезнями растений через подавление системы quorum-sensing патогена [29]. Выявлено, что данный фермент имеется в штаммах многих подвидов *B. thuringiensis* ssp. *kurstaki*, *galleriae*, *subtoxicus*, *aizawai*, *ostrinae*, *kyushuensis* [36].

Кроме вновь выделенных и охарактеризованных соединений *B. thuringiensis*, перспективных в защите растений от болезней, хорошо известно такое вещество с широким спектром антагонистической активности, как β -экзотоксин. Термостабильный β -экзотоксин представляет собой структурный аналог АТФ и действует как специфический ингибитор ДНК-зависимой РНК-полимеразы [37]. Из-за высокой токсичности для людей штаммы, синтезирующие этот токсин, не рекомендуют использовать в производстве биопрепаратов [38].

Полученные в последние десятилетия данные расширили представления о возможностях использования *B. thuringiensis* в защите растений от болезней. Исследование биологической активности бактерий *B. thuringiensis* показало, что штаммы многих подвидов продуцируют вещества с полифункциональными свойствами. Так, штамм *B. thuringiensis* ssp. *darmstadensis* продуцировал δ -эндотоксин, который наряду с энтомоцидной активностью подавлял развитие болезней на растениях: против серой гнили земляники (*Botrytis cineria*), возбудителя фузариозного увядания томатов и льна (*Fusarium oxysporum*), гельминтоспориозной корневой гнили на ячмене (*Bipolaris sorokiniana*) и ризоктониоза (*Rhizoctonia solani*) на картофеле [39]. Синтезируемые штаммами *B. thuringiensis* ssp. *thuringiensis* и *kurstaki* δ -эндотоксины стимулировали метаболизм растений и приводили к более полному использованию нитратов, что снижало их накопление, в частности в плодах огурцов и кочанах капусты. Обработка семян, рассады и вегетирующих растений капусты раствором δ -эндотоксина снижала поражаемость рассады черной корневой гнилью, вызываемой фитопатогенным грибом *Rhizoctonia solani*, и оказывала положительное влияние на рост, развитие, динамику формирования кочанов и продуктивность белокочанной капусты. Исследователи предположили, что под влиянием δ -эндотоксина идет более активное образование хлорофилла и каротиноидов в листьях растений, что способствует увеличению интенсивности фотосин-

теза и, как следствие, накоплению в листьях капусты сахаров и сухих веществ. Было показано повышение устойчивости овса к бурому бактериозу под влиянием δ -эндотоксина штамма *B. thuringiensis* ssp. *kurstaki* [39–41]. Механизм этого действия, по мнению ряда авторов, связан с разобщением окислительного фосфорилирования и дыхания в митохондриях чувствительных к нему клеток, обусловленным протонофорными свойствами δ -эндотоксина [42, 43].

Наряду с δ -эндотоксином выявлен антибактериальный эффект бактериоцинов, которые защищают растения от патогенов, вызывающих их болезни [44]. Хотя в настоящее время известно о многих бактериоцинах, синтезируемых *B. thuringiensis*, только турицин 17 (Th 17) из *B. thuringiensis* NEB 17 изучен как стимулятор роста растений, в том числе и на молекулярном уровне [45]. В условиях отсутствия азота этот штамм способствовал образованию клубеньков, росту сои и повышению ее урожайности. При применении Th 17 на растениях сои в условиях дефицита воды растительная биомасса увеличилась на 17 %, корневая биомасса – на 37, биомасса корневых узелков – на 55 %, а также повышалось количество абсцизовой кислоты («гормон стресса») в корнях сои на 30 % [46]. Применение Th 17 вызывало ускоренное прорастание семян сои. Получены данные, которые показали, что под воздействием бактериоцинов изменяется активность ряда белков у семян; специфичность этого ответа играет ключевую роль в развитии растений и переходе от одной стадии жизненного цикла к другой. Кроме того, определено, что эффективная концентрация бактерицина для стимуляции роста растений и повышения их урожайности составляла порядка нескольких наномолей (10^{-9} М), что делает применение бактериоцина экономически выгодным [45].

Скрининг штаммов *B. thuringiensis* по способности синтезировать бактериоцины, хитиназы, лактоназы, антибиотик цвиттермицин А выявил, что культуры, продуцирующие эти вещества, активны против грибных заболеваний, вызванных фитопатогенными грибами *Alternaria*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Aspergillus* и др. [47]. Обработка зараженных патогенными грибами семян сои хитиназой *B. thuringiensis* ssp. *aizawai* повышала всхожесть семян на 50–75 % [35].

Таким образом, высокие потери урожая из-за болезней растений в сочетании с потребностью в экологически чистой продукции делают использование микробиологических препаратов крайне актуальным.

Полифункциональные свойства *B. thuringiensis*, обусловленные разнообразием спектра веществ, которые продуцируют штаммы различных подвидов, создают большие возможности для их применения в биологической защите растений не только от фитофагов, но и фитопатогенов. Разработка препаратов на основе *B. thuringiensis* может быть перспективным дополнением или альтернативой химическим средствам защиты от болезней в растениеводстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии. – М.: Колос, 2009. – 669 с.
2. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1994. – 148 с.

3. Гольдин Е.Б. Биологическая защита растений в свете проблем XXI века // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 99–107.
4. Перечень критических технологий Российской Федерации от 07.07.2011 г.: [Электронный ресурс]. – <http://kremlin.ru/supplement/988>
5. Монастырский О.А. Нужны ли биопрепараты и биологическая защита растений сельскому хозяйству? // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: материалы междунар. науч.-практ. конф. (2–22 сентября 2006 г., Краснодар). – Краснодар, 2006. – С. 60–70.
6. Штерншис М.В. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2012. – № 2 (18). – С. 92–100.
7. Штерншис М.В. Биологическая защита растений: учебник. – М.: Колос, 2004. – 264 с.
8. Боронин А.М. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений // Соровский образов. журн. – 1998. – № 10. – С. 25–31.
9. Cook R.J., Baker K.F. The nature and practice of biological control of plants pathogens // St. Paul (Minn.): Amer. Phytopathol. Soc. – 1989. – 539 p.
10. Бурцева Л.И., Штерншис М.В., Калмыкова Г.В. Бактериальные болезни насекомых // Патогены насекомых: структурные и функциональные аспекты / под ред. В.В. Глухова. – М.: Круглый год, 2001. – С. 189–245.
11. De Barjac H., Bonnefoi A. Classification of *Bacillus thuringiensis* strains // Entomophaga. – 1962. – Vol. 7. – P. 5–31.
12. Lecadet M.M., Frachon E., Dumanoir V.C. et al. Updating the H-antigen classification of *Bacillus thuringiensis* // J. Appl. Microbiol. – 1999. – Vol. 86. – P. 660–673.
13. Hofte H., Whitely H.R. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis* // Microbial. Rev. – 1989. – Vol. 53. – P. 242–258.
14. Crickmore N., Zeigler D.R., Feitelson J. et al. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins // Microbiol. Molec. Biology Rev. – 1998. – Vol. 62. – P. 807–813.
15. Crickmore N., Baum J., Bravo A. et al. *Bacillus thuringiensis* toxin nomenclature: [Электронный ресурс]. – <http://www.lifesci.sussex.ac.uk>
16. Mizuki E., Ohba M., Akao T. et al. Unique activity associated with non-insecticidal *Bacillus thuringiensis* parasporal inclusion: in vitro cell-killing action on human cancer cells // J. Appl. Microbiol. – 1999. – Vol. 86. – P. 477–486.
17. Егоров Н.С., Юдина Т.Г., Баранов А.Ю. О корреляции между инсектицидной и антибиотической активностями параспоральных кристаллов *Bacillus thuringiensis* // Микробиология. – 1990. – Т. 59 (3). – С. 448–452.
18. Favret M.E., Yousten A.A. Thricin: the bacteriocin produced by *Bacillus thuringiensis* // J. Invertebr. Pathol. – 1989. – Vol. 53. – P. 206–216.
19. Barboza-Corona J., Eleazar, Vazquez-Acosta H. et al. Bacteriocin-like inhibitor substances produced by Mexican strains of *Bacillus thuringiensis* // Arch. Microbiol. – 2007. – Vol. 187. – P. 117–126.
20. Paik H.D., Bae S.S., Park S.H. et al. Identification and partial characterization of tochicin, a bacteriocin produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. *tochigiensis* // J. Industr. Microbiol. & Biotechnology. – 1997. – Vol. 19. – P. 294–298.
21. Rea M.C., Sit C.S., Clayton E. Thuricin CD, a posttranslationally modified bacteriocin with a narrow spectrum of activity against *Clostridium difficile* // PNAS. – 2010. – Vol. 107 (20). – P. 9352–9357.
22. Калмыкова Г., Бурцева Л., Ермакова О. и др. Антибактериальная активность штаммов *Bacillus thuringiensis* в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2013. – № 2. – С. 97–104.
23. Subramanian S., Smith D.L. Bacteriocins from the rhizosphere microbiome – from an agriculture perspective // Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – P. 1–7.
24. Kim P.I. et al. Purification and characterization of a lipopeptide produced by *Bacillus thuringiensis* CMB 26 // J. Appl. Microbiol. – 2004. – Vol. 97. – P. 942–949.
25. Roy A., Mahata D., Debarati P. et al. Purification, biochemical characterization and self-assembled structure of a fengycin-like antifungal peptide from *Bacillus thuringiensis* // J. Microbiol. – 2013. – Vol. 4.
26. Hathout Y., Ho Y.P., Ryzhov V. et al. Kurstakins: a new class of lipopeptides isolated from *Bacillus thuringiensis* // J. Nat. Prod. – 2000. – Vol. 63 (11). – P. 1492–1496.
27. Cochrane S.A., Vederas J.C. Lipopeptides from *Bacillus* and *Paenibacillus* spp.: A Gold Mine of Antibiotic Candidates // Medicinal Research Reviews. – 2016. – Vol. 36 (1). – P. 4–31.

28. Raaijmakers J.M. et al. Natural functions of lipopeptides from *Bacillus* and *Pseudomonas*: more than surfactants and antibiotics // FEMS Microbiol. Rev. – 2010. – Vol. 34. – P. 1037–1062.
29. Zhou Y., Choi Y., Sun M. Novel roles of *Bacillus thuringiensis* to control plant diseases // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2008. – Vol. 80. – P. 563–572.
30. Luo Y., Ruan L., Zhao Ch. et al. Validation of the Intact Zwittermicin A Biosynthetic Gene Cluster and Discovery of a Complementary Resistance Mechanism in *Bacillus thuringiensis* // Antimicrob Agents Chemother. – 2011. – Vol. 55 (9). – P. 4161–4169.
31. Broderick N.A., Goodman R.M., Raffa K.F. et al. Synergy between zwittermicin A and *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* against gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) // Environ. Entomol. – 2000. – Vol. 29. – P. 101–107.
32. Martinez-Absalon S. et al. Potential use and mode of action of the new strain *Bacillus thuringiensis* UM96 for the biological control of the grey mold phytopathogen *Botrytis cinerea* // Biocontr. Sci Technol. – 2014. – Vol. 24 (12). – P. 1349–1362.
33. Sharma N. et al. Role of chitinase in plant defense // Asian J. Biochem. – 2011. – Vol. 6 (1). – P. 29–37.
34. De la Fuente-Salcido N.M., Casados-Vazquez L.E., Garcia-Perez A.P. et al. The endo-chitinase ChiA Btt of *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis* DSM-2803 and its potential use to control the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides* // Microbiologyopen. – 2016. – doi: 10.1002/mbo3.372
35. De la Vega L.M., Barboza-Corona J.E., Aguilar-Uscanga M.G. et al. Purification and characterization of an exochitinase from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* and its action against phytopathogenic fungi // Can. J. Microbiol. – 2006. – Vol. 52. – P. 651–657.
36. Lee S., Park S., Lee J. et al. Genes encoding the N-acyl homoserine lacton-degrading enzyme are widespread in many subspecies of *Bacillus thuringiensis* // App. Environ. Microbiol. – 2002. – Vol. 68. – P. 3919–3924.
37. Sebesta K., Horska K. Mechanism of inhibition of DNA-dependent RNA polymerase by exotoxin of *Bacillus thuringiensis* // Biochem. Biophys. Acta. – 1970. – Vol. 209. – P. 357–376.
38. Sanchez-Soto A.I., Saavedra-Gonzalez G.I., Ibarra J.E. et al. Detection of β -exotoxin synthesis in *Bacillus thuringiensis* using an easy bioassay with the nematode *Caenorhabditis elegans* // Lett. Appl. Microbiol. – 2015. – Vol. 61 (6). – P. 562–567.
39. Гришечкина С.Д. Механизмы действия и эффективность микробиологического препарата бацикола // С.-х. биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 685–693.
39. Климентова Е.Т., Каменек Л.К., Каменек Д.В. и др. Перспективы использования дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis* как биорегулятора роста растений с фитозащитными свойствами // Агрорус XXI. – 2010. – № 4-6. – С. 31–33.
40. Басырова Л.Ф., Каменек Д.В., Каменек Л.К. и др. Влияние дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis* на биохимический состав плодов огурца посевного // Вестн. Алтайского ГАУ. – 2014. – № 10 (120). – С. 14–19.
41. Терпиловский М.А. Антибиотическое действие дельта-эндотоксинов *Bacillus thuringiensis* против *Phytophthora infestans* и *Fusarium oxysporum*: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Самара, 2012. – 22 с.
42. Каменек Д.В., Ильинская О.Н., Цофина Л.М. и др. Дельта-эндотоксин *Bacillus thuringiensis* как природный протонофор: анализ методами ИК- и ЯМР-спектроскопии // Учен. записки Казанского ГУ. – 2008. – Т. 150, кн.1. – С. 69–75.
43. Каменек Л.К. Дельта-эндотоксин *Bacillus thuringiensis*: строение, свойства и использование для защиты растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1998. – 43 с.
44. Kamoun F., Fguira I., N.B.ben Hassen et al. Purification and characterization of a new *Bacillus thuringiensis* bacteriocin active against *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* and *Agrobacterium tumefaciens* // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2011. – Vol. 165. – P. 300–314.
45. Sowmyalakshmi Subramanian, Donald L. Smith. Bacteriocins from the rhizosphere microbiome – from an agriculture perspective // Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – P. 1–7.
46. Prudent M., Salon C., Souleimanov A., Emery R.J.N., Smith D.L. Soybean is less impacted by water stress using *Bradyrhizobium japonicum* and thuricin-17 from *Bacillus thuringiensis* // Agron.Sustain.Dev. – 2014. – Vol. 35. – P. 749–757.
47. Raddadi N., Belaouis A., Namagnini I. et al. Characterization of polyvalent and safe *Bacillus thuringiensis* strains with potential use for biocontrol // J. Basic Microbiol. – 2009. – Vol. 49. – P. 293–303.

Поступила в редакцию 15.08.2016

**G.V. KALMYKOVA, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher,
I.M. GOROBAY, Doctor of Science in Agriculture, Laboratory Head,
G.M. OSIPOVA, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher**

Siberian Research Institute of Fodder Crops, SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: gvkalmyk@mail.ru

PROSPECTS TO USE BACILLUS THURINGIENSIS AS AGENT FOR BIOLOGICAL PLANT PROTECTION

An overview is given from home and foreign literature on the current methods of biological plant protection from diseases. High yield losses due to plant diseases and the need for ecologically pure products make this area of research urgent. Special emphasis is placed on *Bacillus thuringiensis*, about 90 subspecies of which has been identified. Almost 90 per cent of the world's bio-insecticides are currently produced from *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki*, *aizawai*, *israelensis* strains. There are considered data on capabilities of *Bacillus thuringiensis* strains related to various subspecies to produce substances, which protect plants from not only phytophages but also phytopathogenic infections. There is highlighted the role of *Bacillus thuringiensis* in controlling plant diseases, which is bound up with the discovery of broad-spectrum antibiotics. Antibiotics of a new structure class with the high antagonistic activity against not only prokaryotes but also eukaryotes have been discovered. The effective bacteriocin concentration to stimulate the growth of plants and increase their yielding capacity is only some nanomoles that make its application economically sound. Polyfunctional properties of *Bacillus thuringiensis* due to a variety of substances produced by strains of different subspecies allow us to forecast the development of new microbiological preparations for plant health management. Preparations based on *Bacillus thuringiensis* could be an addition or alternative to chemical disease control means used in plant production.

Keywords: biological plant protection, *Bacillus thuringiensis*, cry proteins, antagonistic activity, bacteriocins.