

Эффективность перспективных штаммов бактерий рода *Bacillus* в отношении большой восковой моли *Galleria mellonella* L. и их совместимость с пестицидами, рекомендуемыми в плодовых ценозах

Е. Ю. ГЫРНЕЦ, А. М. АСАТУРОВА

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, п/о 39, 350039, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью сравнения эффективности перспективных штаммов бактерий с коммерческими инсектицидами и изучения их совместимости с пестицидами, рекомендуемыми в плодовых ценозах. Изучено 17 перспективных энтомопатогенных штаммов бактерий, выделенных из различных стадий Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев. При оценке инсектицидной активности *in vitro* использовали биоинсектициды Инсетим, Ж, Лепидоцид, П, Биостоп, Ж и Битоксибациллин, П, которые применяли в рекомендованных нормах. Тестирование проводили в отношении лабораторной популяции большой восковой моли *Galleria mellonella* L. в пятикратной повторности. Биологическую эффективность рассчитывали по формуле Хендерсона и Тилтона. В ходе эксперимента по определению совместимости штаммов бактерий использовали пестициды торговых марок Зато, Мерпан, Skor, Привент, Фуфанон, Данадим Эксперт, Сумитион, Фосбан, Крафт, Пондус, Димилин, Лепидоцид, Биостоп, Инсетим, Битоксибациллин. Опыт проводили модифицированным методом агаровой диффузии – в лунку 0,8 мм добавляли 0,33 мл препарата в рабочей концентрации. Выявили семь биоагентов – *Bacillus* spp. BZR 588, *Bacillus* spp. BZR 1159, *Bacillus* spp. BZR 920, *Bacillus* spp. BZR 936, *Bacillus* spp. BZR 206, *Bacillus* spp. BZR 926, *B. velezensis* BZR 277, которые продемонстрировали высокий уровень энтомопатогенной активности. Их биологическая эффективность достигала 78,8...94,9 % и была сопоставима с коммерческими инсектицидами Инсетим, Ж, Лепидоцид, П, Биостоп, Ж и Битоксибациллин, П. Биоагенты показали устойчивость к фунгицидам стробилуринового, фталимидного и триазольного ряда. Полная совместимость отмечена с авермектинами, неоникотиноидами и ингибиторами синтеза хитина. Незначительное ингибирование роста наблюдали при взаимодействии с такими фосфорорганическими соединениями, как Сумитион, КЭ и Фосбан, КЭ. Изученные штаммы бактерий потенциально перспективны в качестве агентов биологического контроля фитофагов плодового ценоза.

Ключевые слова: защита плодового ценоза, совместимость пестицидов, биоагенты, энтомопатогенные штаммы бактерий.
Сведения об авторах: Е. Ю. Гырнец, научный сотрудник (e-mail: alena_fox95@mail.ru); А. М. Асатунова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Для цитирования: Гырнец Е. Ю., Асатунова А. М. Эффективность перспективных штаммов бактерий рода *Bacillus* в отношении большой восковой моли *Galleria mellonella* L. и их совместимость с пестицидами, рекомендуемыми в плодовых ценозах // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 9. С. 30–35. doi: 10.53859/02352451_2024_38_9_30

Efficacy of promising strains of bacteria of the genus *Bacillus* against the large wax moth *Galleria mellonella* L. and their compatibility with pesticides recommended in fruit cenosis

E. Yu. Gyrnets, A. M. Asaturova

Federal Scientific Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, p/o 39, 350039, Russian Federation

Abstract. The studies aimed to compare the efficiency of promising bacterial strains with commercial insecticides and to study their compatibility with pesticides recommended for fruit cenosis. Seventeen promising entomopathogenic bacterial strains isolated from various stations in the Rostov Region, Krasnodar and Stavropol Territories were studied. The following bioinsecticides were used to evaluate insecticidal activity *in vitro*: Insetim, L; Lepidocid, P; Biostop, L and Bitoxibacillin, P, which were applied in the recommended rates. The testing was conducted with respect to the laboratory population of the large wax moth *Galleria mellonella* L. in fivefold replication. Biological efficiency was calculated using the Henderson and Tilton formula. During the experiment to determine the compatibility of bacterial strains, the following pesticides were used: Zato, Merpan, Skor, Privent, Fufanon, Danadim Expert, Sumition, Fosban, Kraft, Pondus, Dimilin, Lepidocide, Biostop, Insetim, Bitoxibacillin. The experiment was carried out using a modified agar diffusion method; 0.33 ml of the preparation in the working concentration was added to a 0.8 mm seedbed. Seven bioagents were identified: *Bacillus* spp. BZR 588, *Bacillus* spp. BZR 1159, *Bacillus* spp. BZR 920, *Bacillus* spp. BZR 936, *Bacillus* spp. BZR 206, *Bacillus* spp. BZR 926, *B. velezensis* BZR 277, which demonstrated a high level of entomopathogenic activity. Their biological efficiency reached 78.8-94.9% and was comparable with commercial insecticides Insetim, L; Lepidocid, P; Biostop, L and Bitoxibacillin, P. Bioagents showed resistance to fungicides of strobilurin, phthalimide and triazole series. Full compatibility was observed with avermectins, neonicotinoids and inhibitors of chitin synthesis. Minor growth inhibition was observed during interaction with such organophosphorus compounds as Sumition, EC and Fosban, EC. The studied bacterial strains are potentially promising as agents of biological control of plant-eating insects of fruit cenosis.

Keywords: protection of fruit cenosis; compatibility of pesticides; bioagents; entomopathogenic bacterial strains.

Author Details: E. Yu. Gyrnets, research fellow (e-mail: alena_fox95@mail.ru); A. M. Asaturova, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow.

For citation: Gyrnets EYu, Asaturova AM. [Efficacy of promising strains of bacteria of the genus *Bacillus* against the large wax moth *Galleria mellonella* L. and their compatibility with pesticides recommended in fruit cenosis]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(9):30–5. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_9_30

Актуальность применения биологических препаратов для защиты плодовых культур в последние десятилетия неуклонно возрастает. Это обусловлено рядом отраслевых факторов, включая повышенную устойчивость вредителей к химическим средствам защиты растений, необходимость минимизации их негативного воздействия на окружающую среду и растущий интерес потребителей к экологически чистым продук-

там. Для продуктивного ведения сельского хозяйства необходимо постоянное применение средств защиты растений от вредителей. Вследствие многократных обработок отмечен негативный эффект – снижение чувствительности или образование резистентных популяций фитофагов к некоторым группам инсектицидов [1, 2, 3]. В том числе выявлено формирование резистентности к микробиологическим препаратам на основе

бактерий *Bacillus thuringiensis* [4, 5, 6]. Поэтому актуален поиск новых эффективных и экологически безопасных биоагентов для защиты плодовых культур [7].

Для рационализации применения защитных мероприятий при возделывании сельскохозяйственных культур, в частности плодовых, применяют баковые смеси пестицидов. Этот прием позволяет снизить скорость развития резистентных популяций вредных организмов, сократить расход препаратов и пестицидную нагрузку, а также повысить экономическую эффективность применения пестицидов. Важный аспект, который следует учитывать при использовании баковых смесей – чувствительность и совместимость компонентов или штаммов-продуцентов [8].

Цель исследования – сравнить эффективность перспективных штаммов бактерий с коммерческими инсектицидами и изучить их совместимость с пестицидами, рекомендуемыми в плодовых ценозах.

Условия, материалы и методы. Работу проводили в 2022–2024 гг. в лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) с использованием ресурсов УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<http://ckp-rf.ru/usu/671367>) и УНУ «Технологическая линия по массовому разведению насекомых-энтомофагов» (<http://ckp-rf.ru/usu/671922>). Объектами исследования служили 17 штаммов бактерий из биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов». Штаммы выделены из различных стадий Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского края.

Для сравнения эффективности перспективных штаммов бактерий *in vitro* были выбраны препараты, рекомендованные для применения в отношении широкого спектра вредителей плодового ценоза – Инсетим, Ж (*Bacillus thuringiensis* subsp. *thuringiensis*, ИПМ-1140), Лепидодид, П (*B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* Z-52), Биостоп, Ж (*B. thuringiensis* + *Streptomyces* sp. + *Beauveria bassiana*) и Битоксибациллин, П (*B. thuringiensis* var. *thuringiensis*, 98). Для получения водной суспензии штаммы бактерий высевали на чашки Петри с мяско-пептонным агаром (МПА). Культивирование проводили при температуре +28 °С в течение 48 ч в термостате (Практикум по микробиологии: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / под ред. А. И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. С. 354–355.). В конце культивирования путем смыва получали водную суспензию и определяли количество бактериальных клеток глубинным методом. Чашки Петри с насекомыми содержали при

температуре +25...27 °С и относительной влажности воздуха 60...80 %. Для определения патогенности штаммов бактерий использовали гусениц 2...3 возрастов. Гусениц большой восковой моли рассаживали в ЧП по десять штук и добавляли 5 г искусственной питательной среды, обработанной 3 мл раствора. В контрольной группе использовали стерильную воду, в экспериментальной группе применяли смывы штаммов и биопрепараты. Для коммерческих инсектицидов выбирали рекомендуемую норму применения, указанную в Справочнике пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. В качестве тест-объектов насекомых была использована лабораторная популяция большой восковой моли *Galleria mellonella* L. Эксперименты осуществляли в соответствии с общепринятыми методами оценки энтомопатогенных микроорганизмов (Патогены насекомых: структурные и функциональные аспекты / под ред. В. В. Глупова. М.: Круглый год, 2001. С. 352–427.). Опыт проводили в пятикратной повторности, используя по 30 насекомых в каждой повторности. Биологическую эффективность рассчитывали согласно формуле Хендерсона и Тилтона, учитывающую изменения численности насекомых как в опытном, так и в контрольном вариантах (Долженко В. И. Методические указания по регистрационному испытанию инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве. Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 2004. С. 354–355.):

$$\mathcal{E} = 100 \times (1 - \text{ОпКд} / \text{ОдКп}),$$

где $\mathcal{E}$ – биологическая эффективность, выраженная процентом снижения численности вредителя с поправкой на контроль; Оп – число живых особей после обработки в опыте, шт.; Од – число живых особей перед обработкой в опыте, шт.; Кп – число живых особей насекомого в контроле после обработки, шт.; Кд – число живых особей насекомого в контроле до обработки, шт.

Определение совместимости перспективных штаммов бактерий с химическими и биологическими препаратами, использовали пестициды, рекомендуемые в плодовых ценозах на культуре яблоня для защиты от экономически значимых болезней и вредителей, которые активно включают в схемы защитных мероприятий в виду их высокой эффективности (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2023. Ч. I.). В ходе эксперимента использовали фунгициды следующих торговых марок: Зато (трифлостробин 500 г/кг), Мерпан (каптан 500 г/кг), Скор (дифеноконазол 250 г/л), Привент (триадимефон 250 г/кг). Химические инсектициды представлены пре-

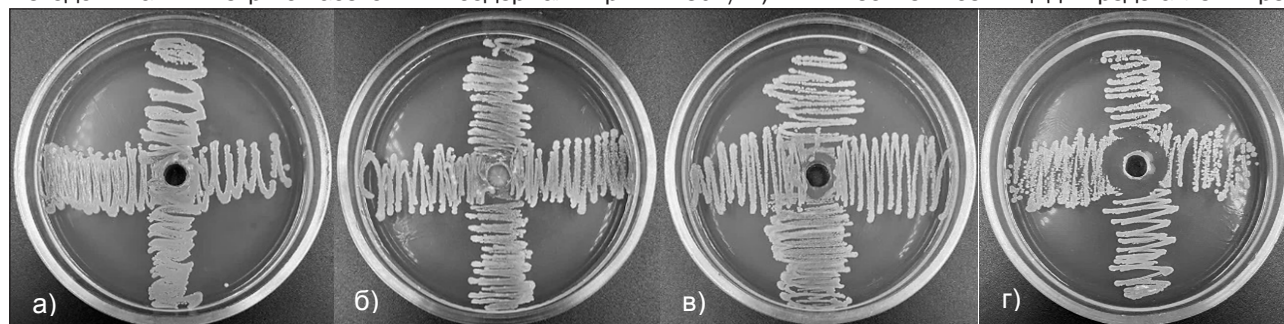


Рис. 1. «Шкала» совместимости с препаратами, рекомендуемыми для использования на яблоне, на примере штамма *Bacillus* spp. BZR 936: а) контроль, штамм без внесения препарата; б) полная совместимость с препаратом Димилин, СП (дифлубензурон 250 г/кг); в) частичная совместимость с препаратом Сумитион, КЭ (фенитротрион 500 г/л); г) несовместимость с препаратом Инсетим, Ж (*Bacillus thuringiensis*, subsp. *thuringiensis*, ИПМ-1140).

Таблица 1. Биологическая эффективность штаммов бактерий в отношении большой восковой моли в сравнении с коммерческими биоинасектицидами, рекомендованными в плодовых ценозах

Вариант	Колониеобразующая единица (КОЕ)/мл	Живые гусеницы, шт. до обработки	Биологическая эффективность, % после обработки, сут.			
			3	5	3	5
<i>Bacillus</i> spp. BZR 588	$(1,9 \pm 0,3) \times 10^{10}$	25	1,7 ^{a*}	1,3 ^a	93,3	94,9
<i>Bacillus</i> spp. BZR 1159	$(3,0 \pm 0,6) \times 10^{11}$	25	3,7 ^{bc}	1,8 ^{ab}	85,3	92,9
<i>Bacillus</i> spp. BZR 920	$(3,3 \pm 0,3) \times 10^9$	25	4,0 ^{cd}	2,5 ^{bc}	84,0	89,9
<i>Bacillus</i> spp. BZR 936	$(3,3 \pm 0,5) \times 10^9$	25	3,7 ^{bcd}	2,5 ^{bc}	85,3	89,9
<i>Bacillus</i> spp. BZR 206	$(4,1 \pm 0,7) \times 10^9$	25	4,7 ^{de}	3,3 ^{cd}	81,3	86,9
<i>Bacillus</i> spp. BZR 926	$(1,6 \pm 0,1) \times 10^{10}$	25	4,3 ^d	3,8 ^d	82,7	84,8
<i>Bacillus velezensis</i> BZR 277	$(1,7 \pm 0,3) \times 10^8$	25	4,0 ^{cd}	3,8 ^d	84,0	84,8
<i>Bacillus</i> spp. BZR 466	$(2,9 \pm 0,4) \times 10^{10}$	25	16,7 ^f	11,0 ^f	33,3	55,6
<i>Bacillus</i> spp. BZR 736	$(3,7 \pm 0,1) \times 10^8$	25	22,0 ^g	21,5 ^g	12,0	13,1
<i>Bacillus</i> spp. BZR 635	$(2,4 \pm 0,8) \times 10^9$	25	24,0 ^{hij}	22,3 ^{gh}	4,0	10,1
<i>Bacillus</i> spp. BZR 762	$(5,3 \pm 0,8) \times 10^9$	25	23,0 ^{gh}	22,5 ^{hi}	8,0	9,1
<i>Bacillus</i> spp. BZR 278	$(4,2 \pm 0,4) \times 10^{10}$	25	23,3 ^{hi}	22,8 ^{hij}	6,7	8,1
<i>Bacillus</i> spp. BZR 201	$(5,3 \pm 0,8) \times 10^9$	25	23,3 ^{hij}	23,0 ^{ij}	6,7	7,1
<i>Bacillus</i> spp. BZR 162	$(1,6 \pm 0,3) \times 10^9$	25	23,7 ^{hij}	23,5 ^{jk}	5,3	5,1
<i>Bacillus</i> spp. BZR 585	$(3,0 \pm 0,4) \times 10^{10}$	25	24,3 ^{ijk}	24,3 ^{kl}	2,7	2,0
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G1	$(2,6 \pm 0,4) \times 10^9$	25	24,7 ^{ijk}	24,3 ^{kl}	1,3	2,0
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G3	$(3,0 \pm 0,7) \times 10^9$	25	25,0 ^{jk}	24,5 ^l	0,0	1,0
Инсетим, Ж (<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>thuringiensis</i> , ИПМ-1140)	$(5,9 \pm 0,3) \times 10^9$	25	1,7 ^a	1,3 ^a	93,3	94,9
Лепидоцид, П (<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> Z-52)	$(2,8 \pm 0,3) \times 10^9$	25	2,3 ^{ab}	2,3 ^{bc}	90,7	90,9
Биостоп, Ж (<i>B. thuringiensis</i> + <i>Streptomyces</i> sp. + <i>Beauveria bassiana</i>)	$(4,2 \pm 0,6) \times 10^9$ $(1,2 \pm 0,4) \times 10^7$ $(1,2 \pm 0,2) \times 10^6$	25	3,7 ^{cd}	3,0 ^{cd}	85,3	87,9
Битоксибациллин, П (<i>B. thuringiensis</i> , var. <i>thuringiensis</i> , 98)	$(3,0 \pm 0,4) \times 10^9$	25	5,3 ^e	5,3 ^e	78,7	78,8
Контроль (обработка водой)	-	25	25,0 ^k	24,8 ^l	-	-

* между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов, нет статистических различий по критерию Дункана при 95 %-ном уровне вероятности.

паратами: Фуфанон (малатион 440 г/л), Данадим Эксперт (диметоат 400 г/л), Сумитион (фенитротрион 500 г/л), Фосбан (хлорпирифос 480 г/л), Крафт (абамектин 36 г/л), Пондус (тиаклоприд 480 г/л), Димилин (дифлубензурон 250 г/кг). В качестве биологических инсектицидов были выбраны Лепидоцид (*Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Z-52), Биостоп (*B. thuringiensis* +

Streptomyces sp. + *Beauveria bassiana*), Инсетим (*B. thuringiensis* subsp. *thuringiensis*, ИПМ-1140), Битоксибациллин (*B. thuringiensis* var. *thuringiensis*, 98).

Оценку совместимости проводили модифицированным методом агаровой диффузии. В чашки Петри вносили мясопептонный агар (МПА) слоем в 1 см. После застывания агара, в среде делали отверстия

Таблица 2. Совместимость перспективных штаммов бактерий с химическими фунгицидами, рекомендованными для применения на культуре яблони

Вариант	Химический класс действующего вещества			
	стробилурины	фталимиды	триазолы	
	название препарата, препаративная форма (действующее вещество, его содержание)			
	Зато, ВДГ (трифлуксистробин, 500 г/кг)	Мерпан, СП (каптан, 500 г/кг)	Скор, КЭ (дифеноконазол, 250 г/л)	Привент, СП (триадимефон, 250 г/кг)
Bacillus spp. BZR 588	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 585	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 201	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 736	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 762	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR926	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 920	+	+	±	+
Bacillus spp. BZR 936	+	+	±	+
Bacillus spp. BZR 206	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 635	+	+	+	+
Bacillus thuringiensis BZR G3	+	+	+	+
Bacillus thuringiensis BZR G1	+	+	+	+
Bacillus velezensis BZR 277	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 1159	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 466	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 278	+	+	+	+
Bacillus spp. BZR 162	+	+	+	+

*здесь и в табл. 3, 4, 5: + – штамм совместим; ± – незначительное ингибирование роста штамма, не препятствующее их совместному применению; – – штамм не совместим, совместное применение не рекомендовано.

Таблица 3. Совместимость перспективных штаммов бактерий с химическими инсектицидами на основе фосфорорганических соединений, рекомендованными для применения на культуре яблоны

Вариант	Название препарата, препаративная форма (действующее вещество, его содержание)			
	Фуфанон, ВЭ (малатион, 440 г/л)	Данадим Эксперт, КЭ (диметоат, 400 г/л)	Сумитион, КЭ (фенитроцион, 500 г/л)	Фосбан, КЭ (хлорпирифос, 480 г/л)
<i>Bacillus spp.</i> BZR 588	+	+	+	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 585	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 201	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 736	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 762	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR926	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 920	+	+	+	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 936	+	+	±	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 206	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 635	+	+	+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G3	+	+	+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G1	+	+	+	+
<i>Bacillus velezensis</i> BZR 277	+	+	+	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 1159	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 466	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 278	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 162	+	+	+	+

диаметром 0,8 мм с помощью специального сверла-пробойника, куда добавляли 0,33 мл препарата в рабочей концентрации. В каждой чашке Петри лунку размещали в центре, после чего штамм-продуцент наносили радиальными штрихами от края лунки с препаратом к краю чашки. В контрольном варианте в лунки вносили стерильную дистиллированную воду в объеме 0,33 мл. О совместимости препаратов судили визуально по наличию зон ингибирования (рис. 1), изменению морфологии штамма-продуцента. Учеты проводили спустя 48 ч и 120 ч совместного культивирования. При необходимости делали замеры зон ингибирования штаммов. Повторность опыта трехкратная.

Для анализа экспериментальных данных использовали Microsoft Excel 2019 и пробную версию Statistica 13.3 RU (StatSoft Россия). Проверку соответствия нормальному распределению проводили с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Для определения статистической значимости различий между группами использовали критерий Дункана [9]. Различия считали статистически значимыми при значении $p < 0,05$.

Таблица 4. Совместимость перспективных штаммов бактерий с химическими инсектицидами, рекомендованными для применения на культуре яблоны

Вариант	Химический класс действующего вещества		
	авермектины	неоникотиноиды	ингибиторы синтеза хитина (ИСХ)
	название препарата, препаративная форма (действующее вещество, его содержание)		
	Крафт, ВЭ (абамектин, 36 г/л)	Пондус, КС (тиаклоприд, 480 г/л)	Димилин, СП (дифлубензурон, 250 г/кг)
<i>Bacillus spp.</i> BZR 588	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 585	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 201	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 736	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 762	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR926	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 920	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 936	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 206	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 635	+	+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G3	+	+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G1	+	+	+
<i>Bacillus velezensis</i> BZR 277	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 1159	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 466	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 278	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 162	+	+	+

Результаты и обсуждение. При оценке эффективности 17 перспективных штаммов бактерий *in vitro* у всех коммерческих биоинсектицидов было высокое энтомопатогенное действие в отношении гусениц большой восковой моли. На третьи сутки биологическая эффективность (БЭ) в зависимости от варианта варьировала от 78,7 % до 93,3 % и к пятым суткам оставалась на уровне 78,8...94,9 %. Самая высокая гибель гусениц среди вариантов с применением различных микро-биопрепаратов к пятым суткам была у инсектицида Инсетим, Ж – 94,9 %, а минимальная у Битоксибациллина, П – 78,8 %. Сопоставимо высокое (84,8...94,9 %) инсектицидное действие на гусениц большой восковой моли оказали семь перспективных штаммов бактерий из биоресурсной коллекции ФНЦБЗР: *Bacillus spp.* BZR 588, *Bacillus spp.* BZR 1159, *Bacillus spp.* BZR 920, *Bacillus spp.* BZR 936, *Bacillus spp.* BZR 206, *Bacillus spp.* BZR 926, *B. velezensis* BZR 277 (табл. 1).

Самой высокой биологической эффективностью среди штаммов обладал *Bacillus spp.* BZR 588, которая на третьи сутки составила 93,3 %, на пятые – 94,9 %.

Таблица 5. Совместимость перспективных штаммов бактерий с биологическими инсектицидами, рекомендованными для защиты яблони

Вариант	Название препарата, препаративная форма (действующее вещество)			
	Лепидоцид, П (<i>B. thuringiensis</i> <i>subsp. kurstaki</i> Z-52)	Биостоп, Ж (<i>B. thuringiensis</i> + <i>Streptomyces</i> <i>sp.</i> + <i>Beauveria</i> <i>bassiana</i>)	Инсетим, Ж (<i>B. thuringiensis</i> <i>subsp.</i> <i>thuringiensis</i> , ИПМ-1140)	Битоксибациллин, П (<i>B. thuringiensis</i> , <i>var.</i> <i>thuringiensis</i> , 98)
	Титр, КОЕ мл/г			
	$2,8 \pm 0,3 \times 10^8$	$4,2 \pm 0,6 \times 10^8$ $1,2 \pm 0,4 \times 10^6$ $1,1 \pm 0,2 \times 10^6$	$5,9 \pm 0,2 \times 10^8$	$3,0 \pm 0,3 \times 10^8$
<i>Bacillus spp.</i> BZR 588	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 585	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 201	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 736	+	+	±	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 762	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR926	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 920	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 936	+	+	-	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 206	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 635	+	+	+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G3	+	+	±	±
<i>Bacillus thuringiensis</i> BZR G1	+	+	±	±
<i>Bacillus velezensis</i> BZR 277	+	±	-	±
<i>Bacillus spp.</i> BZR 1159	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 466	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 278	+	+	+	+
<i>Bacillus spp.</i> BZR 162	+	+	+	+

Аналогичное действие на гусениц оказал биоинсектицид Инсетим, Ж, – эти варианты находятся в одной статистической группе и достоверно отличаются от контроля. Стоит выделить штаммы *Bacillus spp.* BZR 1159, *Bacillus spp.* BZR 920, *Bacillus spp.* BZR 936, *Bacillus spp.* BZR 206, *Bacillus spp.* BZR 926, *B. velezensis* BZR 277, которые достоверно снижали численность в опытных вариантах (БЭ=84,8...92,9 %) к пятым суткам. При этом были выявлены штаммы, которые в целом не оказывали негативного влияния на тест-объекты, их биологическая эффективность была сопоставима с гибелью гусениц в контроле – *Bacillus spp.* BZR 585, *B. thuringiensis* BZR G1, *B. thuringiensis* BZR G3 – 0...2,9 %.

Согласно результатам оценки установлена полная совместимость перспективных штаммов бактерий с фунгицидами, относящимися к химическим классам стробилуринов и фталимидов. С препаратом Привент, СП (триадимефон 250 г/кг), относящимся к триазолам, также отмечена полная совместимость всех исследуемых штаммов. При совместном инкубировании перспективных агентов с фунгицидом Скор, КЭ (дифеноконазол

250 г/л), у штаммов *Bacillus spp.* BZR 920 и *Bacillus spp.* BZR 936 наблюдали незначительную зону задержки роста (до 2,0 мм), что свидетельствует о частичной совместимости и возможном совместном применении. В вариантах с другими штаммами, в результате взаимодействия с препаратом Скор, КЭ, зон ингибирования или изменения морфологии колоний не отмечали (табл. 2).

Большая часть перспективных штаммов бактерий полностью совместимы с инсектицидами на основе фосфорорганических соединений. Выявлены штаммы с частичной совместимостью с препаратом Фосбан, КЭ (Хлорпирифос 480 г/л) – *Bacillus spp.* BZR 588, *Bacillus spp.* BZR920, *B. velezensis* BZR277. Стоит выделить, штамм BZR936, который был частично совместим как с препаратом Фосбан, КЭ (Хлорпирифос 480 г/л), так и с препаратом Сумитион, КЭ (Фенитротрион 500 г/л) (табл. 3, см. рис. 1).

При оценке совместимости перспективных штаммов с такими классами химических соединений, как авермектины, неоникотиноиды, ингибиторы синтеза хитина, негативного влияния на рост штамма-продуцента не отмечено (табл. 4).

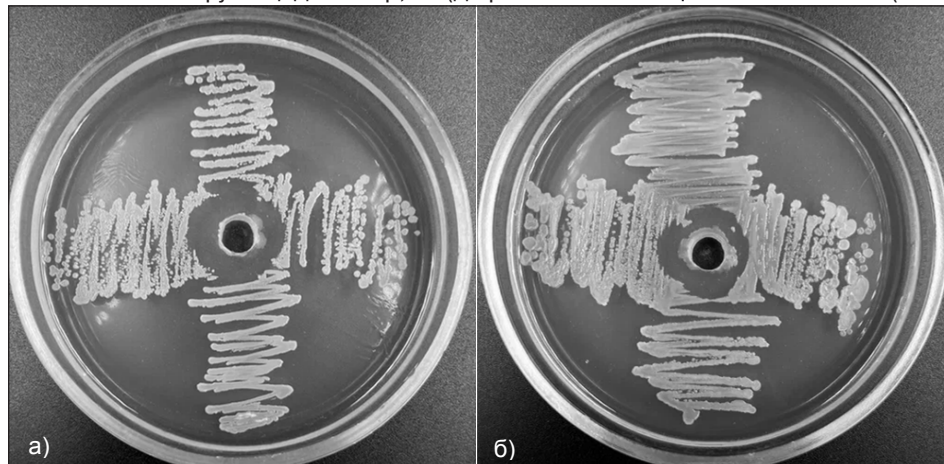


Рис. 2. Антагонистическое действие биоинсектицида Инсетим, Ж (*B. thuringiensis* subsp. *thuringiensis*, ИПМ-1140) на рост изучаемых штаммов бактерий: а) штамм *Bacillus spp.* BZR 936; б) штамм *B. velezensis* BZR 277.

Все изучаемые штаммы совместимы с биоинсектицидом Лепидоцид, П. В отношении микробиопрепарата Биостоп, Ж, у одного штамма *B. velezensis* BZR277 отмечена частичная совместимость, а у других агентов зон ингибирования не наблюдали. Штаммы *Bacillus spp.* BZR 736, *Bacillus spp.* BZR 936, *B. thuringiensis* BZR G3, *B. thuringiensis* BZR G1, *B. velezensis* BZR 277 были частично совместимы с инсектицидом Битоксибациллин, П (табл. 5).

В отношении препарата Инсетим, Ж отмечена частичная совместимость трех

штаммов бактерий – *Bacillus* spp. BZR 736, *B. thuringiensis* BZR G1, *B. thuringiensis* BZR G3 и значительное ингибирование двух штаммов бактерий. В вариантах со штаммами *Bacillus* spp. BZR 936 и *B. velezensis* BZR 277, где в лунку добавляли препарат Инсетим, Ж присутствует обширная стерильная зона (5...7 мм), что свидетельствует об их антагонизме (рис. 2).

Выводы. Перспективные штаммы бактерий продемонстрировали высокую биологическую эффективность против вредителей, сопоставимую с коммерческими биопрепаратами. Данные, полученные в отношении тест-объекта большой восковой моли *Galleria mellonella* L., подтверждают эффективность таких штаммов, как *Bacillus* spp. BZR 588, *Bacillus* spp. BZR 1159 и *Bacillus* spp BZR 920, которая варьировала в интервале 84,0...94,9 % уже на третьи-пятые сутки после обработки.

Изучение совместимости перспективных штаммов бактерий с различными классами химических фунгицидов и инсектицидов выявило возможность их интеграции в существующие системы защиты растений. Совместимость с препаратами на основе стробилуринов, фосфорорганических соединений, а также с авермектинами и неоникотиноидами открывает перспективы для их применения в баковых смесях. Такие смеси позволяют не только повысить эффективность защиты растений, но и

снизить пестицидную нагрузку на окружающую среду, что особенно актуально в условиях усиленного внимания к экологической безопасности сельскохозяйственного производства.

В результате проведенных исследований показана потенциальная перспективность использования штаммов бактерий из биоресурсной коллекции ФНЦБЗР в качестве штаммов-продуцентов биопрепаратов для защиты плодовых культур в отношении фитофагов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Исследования по оценке эффективности энтомопатогенных штаммов бактерий выполнены за счет гранта Российского научного фонда в рамках №23-16-00260, <https://rscf.ru/project/23-16-00260/>. Исследования по оценке совместимости энтомопатогенных штаммов бактерий выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0005.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. The evolutionary origins of pesticide resistance / N. Hawkins, C. Bass, A. Dixon, et al. // *Biological Reviews*. 2019. Vol. 94. No. 1. P. 135–155. doi: 10.1111/brv.12440.
2. Insecticide resistance in the *Cydia pomonella* (L): Global status, mechanisms, and research directions / D. Ju, D. Mota-Sanchez, E. Fuentes-Contreras, et al. // *Pesticide biochemistry and physiology*. 2021. Vol. 178. Article 104925. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048357521001565> (дата обращения: 28.07.2024). doi: 10.1016/j.pestbp.2021.104925.
3. Assessment of pesticide residues in waters and soils of a vineyard region and its temporal evolution / D. P. Manjarres-Lopez, M. S. Andrades, S. Sanchez-Gonzalez, et al. // *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 284. Article 117463. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121010459> (дата обращения: 28.07.2024). doi: 10.1016/j.envpol.2021.117463.
4. Соколянская М. П. Кросс-резистентность устойчивых к битоксибациллину линий комнатной мухи *Musca domestica* // *Вестник защиты растений*. 2018. № 1 (95). С. 57–60.
5. Восприимчивость разных видов чешуекрылых насекомых к штамму *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* / И. В. Андреева, Е. И. Шаталова, Г. В. Калмыкова и др. // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 49. № 6. С. 44–52. doi: 10.26898/0370-8799-2019-6-5.
6. Jurat-Fuentes J. L., Heckel D. G., Ferre J. Mechanisms of resistance to insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* // *Annual Review of Entomology*. 2021. Vol. 66. P. 121–140.
7. Перспективы применения бактерий–продуцентов липопептидов для защиты растений (обзор) / И. В. Максимов, Б. П. Сингх, Е. А. Черепанова и др. // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. Т. 56. № 1. С. 19–34. doi: 10.31857/S0555109920010134.
8. Папсуев А. В., Миренков Ю. А. Совместимость некоторых пестицидов, применяемых в посевах кукурузы в баковых смесях // *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2022. № 50. С. 84–91.
9. Баврина А. П. Современные правила применения параметрических и непараметрических критериев в статистическом анализе медико-биологических данных // *Медицинский альманах*. 2021. № 1 (66). С. 64–73.

References

1. Hawkins N, Bass C, Dixon A, et al. The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews*. 2019;94(1):135-55. doi: 10.1111/brv.12440.
2. Ju D, Mota-Sanchez D, Fuentes-Contreras E, et al. Insecticide resistance in the *Cydia pomonella* (L): Global status, mechanisms, and research directions. *Pesticide biochemistry and physiology* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jul 28];178: Article 104925. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048357521001565>. doi: 10.1016/j.pestbp.2021.104925.
3. Manjarres-Lopez DP, Andrades MS, Sanchez-Gonzalez S, et al. Assessment of pesticide residues in waters and soils of a vineyard region and its temporal evolution. *Environmental Pollution* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jul 28];284: Article 117463. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121010459>. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117463.
4. Sokolyanskaya MP. [Cross-resistance of bitoxibacillin-resistant strains of the housefly *Musca domestica*]. *Vestnik zashchity rastenii*. 2018;(1):57-60. Russian.
5. Andreeva IV, Shatalova EI, Kalmykova GV, et al. [Susceptibility of different species of lepidopteran insects to the strain *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai*]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2020;49(6):44-52. Russian. doi: 10.26898/0370-8799-2019-6-5.
6. Jurat-Fuentes JL, Heckel DG, Ferre J. Mechanisms of resistance to insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*. 2021;66:121-40.
7. Maksimov IV, Singkh BP, Cherepanova EA, et al. [Prospects for the use of lipopeptide-producing bacteria for plant protection (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2020;56(1):19-34. Russian. doi: 10.31857/S0555109920010134.
8. Papsuev AV, Mirenkov YuA. [Compatibility of some pesticides used in corn crops in tank mixtures]. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi*. 2022;(50):84-91. Russian.
9. Bavrina AP. [Modern rules for the application of parametric and nonparametric criteria in statistical analysis of medical and biological data]. *Meditinskii al'manakh*. 2021;(1):64-73. Russian.

Поступила в редакцию 02.08.2024 После доработки 22.08.2024 Принята к публикации 11.09.2024