

Микроорганизмы сельскохозяйственного назначения из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР

Н. А. ЖЕВНОВА, В. В. АЛЛАХВЕРДЯН, А. М. АСАТУРОВА

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, п/о 39, 350039, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью определения широты спектра антагонистического действия перспективных штаммов бактерий из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР для уточнения их хозяйственно-полезных признаков. В лабораторных условиях тестировали 9 штаммов родов *Bacillus*, *Pseudomonas* и *Rhodobacteriaceae* на наличие антифунгальной активности в отношении возбудителей болезней плодовых, ягодных, овощных и зерновых культур. Выделены несколько групп штаммов наиболее эффективных в отношении следующих патогенов: против *R. solani* F-11 – BZR 187, BZR 854, BZR 519 и BZR 517, которые уменьшают рост патогена на 52,4...57,1 %; в отношении *P. cactorum* F-58 – BZR 517, BZR 854 и BZR 519, ингибирующих рост мицелия патогена на 79,1...82,2 %; против *F. oxysporum* F-6 – BZR 187, BZR 245 F, BZR 519 и BZR 86, которые уменьшают рост мицелия патогена на 50,5...61,4 %; против *P. nodorum* F-13 – BZR 277, BZR 519, BZR 245 F, BZR 517, ингибирующие рост мицелия на 32,9...45,1 %; против *V. alboatrum* F-60 – BZR 523-2, BZR 86, BZR 187, BZR 519, BZR 517, которые уменьшают рост мицелия на 56,2...62,0 %; против *C. herbarum* F-37 – BZR 86, BZR 187, BZR 854, BZR 517, ингибирующие рост мицелия на 53,5...63,2 %; против *A. alternata* F-12 – BZR 86, BZR 187, BZR 277, BZR 854, BZR 519, BZR 517, которые уменьшают рост мицелия на 66,1...72,1 %; против *S. sclerotiorum* F-59 – BZR 187, BZR 277, BZR 517, BZR 854 и BZR 519 с антагонистической активностью 54,8...76,7 %; против *C. beticola* F-29 – BZR 86, BZR 854 и BZR 519, которые ингибируют рост патогенного мицелия на 50,0...54,3 %. Штаммы BZR 854, BZR 519, BZR 517, BZR 277 обладают максимально широким спектром антифунгального действия. Они будут приоритетными при выборе биоагентов в качестве действующего начала биологического препарата.

Ключевые слова: биологическая эффективность, биопрепарат, бактерия-антагонист, фитопатогенные грибы.

Сведения об авторах: Н. А. Жевнова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (e-mail: n.zhevnova@mail.ru); В. В. Аллахвердян, младший научный сотрудник; А. М. Асатунова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Для цитирования: Жевнова Н. А., Аллахвердян В. В., Асатунова А. М. Микроорганизмы сельскохозяйственного назначения из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 7. С. 22–27. doi: 10.53859/02352451_2024_38_7_22

Microorganisms for agricultural purposes from the Bioresource Collection of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection

N. A. Zhevnova, V. V. Allakhverdyan, A. M. Asaturova

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

Abstract. The studies were conducted to determine the breadth of the spectrum of antagonistic action of promising bacterial strains from the Bioresource Collection of the Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection to clarify their economically valuable properties. In laboratory conditions, 9 strains of the genera *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Rhodobacteriaceae* were tested for antifungal activity against pathogens of fruit, berry, vegetable and grain crops. There were identified several groups of strains that were the most effective against pathogens: against *R. solani* F-11 – BZR 187, BZR 854, BZR 519 and BZR 517, which reduced the growth of the pathogen by 52.4-57.1%; against *P. cactorum* F-58 – BZR 517, BZR 854 and BZR 519, which inhibited the growth of the pathogen mycelium by 79.1-82.2%; against *F. oxysporum* F-6 – BZR 187, BZR 245 F, BZR 519 and BZR 86, which reduce mycelial growth by 50.5-61.4%; against *P. nodorum* F-13 – BZR 277, BZR 519, BZR 245 F, BZR 517, inhibiting mycelial growth by 32.9-45.1%; against *V. alboatrum* F-60 – BZR 523-2, BZR 86, BZR 187, BZR 519, BZR 517, which reduce mycelial growth by 56.2-62.0%; against *C. herbarum* F-37 – BZR 86, BZR 187, BZR 854, BZR 517, inhibiting mycelial growth by 53.5-63.2%; against *A. alternata* F-12 – BZR 86, BZR 187, BZR 277, BZR 854, BZR 519, BZR 517, which reduce mycelial growth by 66.1-72.1%; against *S. sclerotiorum* F-59 – BZR 187, BZR 277, BZR 517, BZR 854 and BZR 519 with antagonistic activity of 54.8-76.7%; against *C. beticola* F-29 – BZR 86, BZR 854 and BZR 519, which inhibit the growth of pathogenic mycelium by 50.0-54.3%. Strains BZR 854, BZR 519, BZR 517, BZR 277 have the widest spectrum of antifungal action. They will be a priority when choosing bioagents as the active ingredient of a biological preparation.

Keywords: biological efficiency; biological preparation; antagonist bacterium; phytopathogenic fungi.

Author Details: N. A. Zhevnova, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow (e-mail: n.zhevnova@mail.ru); V. V. Allakhverdyan, junior research fellow; A. M. Asaturova, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow.

For citation: Zhevnova NA, Allakhverdyan VV, Asaturova AM. [Microorganisms for agricultural purposes from the Bioresource Collection of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(7):22–7. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_7_22

Борьба с болезнями растений – важная задача экономического и социального характера. По различным данным потери урожая от грибных болезней в различных регионах мира могут достигать 20 % [1]. Это особенно актуально на фоне того, что за последние десять лет производство растениеводческой продукции в мире значительно возросло. С 1950 по 2018 гг. производство зерна возросло с 650 млн т до 2350 млн т. Потребление зерна в мире с 2000 по 2017 год возросло в 1,37 раза, с 1894 до 2599,6 млн т [2].

Химический контроль – наиболее распространенный метод защиты сельскохозяйственных культур. Но он имеет ряд негативных последствий: усиление пестицидного пресса на агроценозы, загрязнение водоемов

и грунтовых вод, гибель полезной фауны, нарушение естественного биоценотического регулирования [2, 3]. Практика применения химических средств в борьбе с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур показала, что экономическая эффективность их использования со временем снижается, так как появляются устойчивые к действию пестицидов возбудители болезней растений, возрастают затраты на разработку новых препаратов, что, в конечном итоге, повышает стоимость производства сельскохозяйственной продукции [1].

Биологическую защиту долгое время считали не столь эффективной, более дорогим и трудоёмким методом борьбы с болезнями растений, по сравнению с химическим контролем. Однако в последние годы

она получила широкое распространение благодаря возможности сократить или полностью отказаться от использования химических пестицидов и повысить продуктивность сельскохозяйственных культур без вреда для окружающей среды [3]. Ежегодный экономический ущерб от интенсивного сельского хозяйства в России превышает 3 млрд руб. [4]. Именно резкое возрастание интенсивности загрязнения окружающей среды и снижение качества сельскохозяйственной продукции в результате применения химических пестицидов послужило мощным стимулом внедрения биологических методов в практику защиты растений во всех странах мира [1]. Сегодня все больше компаний осознают потенциал биологических препаратов и активно разрабатывают линейки продуктов на основе микроорганизмов [3]. Их экологичность может удовлетворить заинтересованность производителей и потребителей в безопасной продукции [5].

К преимуществам биологических средств защиты растений следует отнести их безопасность для теплокровных организмов и окружающей среды, избирательность пестицидного действия, безопасность при применении, отсутствие или слабую фитотоксичность, низкую степень вероятности выработки устойчивости при длительном применении. Биологический метод защиты растений основан на использовании микроорганизмов-антагонистов. На сегодняшний день выявлен ряд бактерий, оказывающих антагонистическое действие на возбудителей болезней растений – *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Azobacter*, *Klebsiella*, *Lactobacillus*, *Trichoderma* и др. Наиболее перспективными считают биопестициды, проявляющие активность в отношении грибных болезней [1, 6, 7].

Многочисленные исследования подтверждают эффективность микроорганизмов сельскохозяйственного назначения в борьбе с болезнями растений [5, 8, 9]. Такие микроорганизмы могут положительно влиять на рост и развитие растений с помощью прямых или косвенных (опосредованных) механизмов. При прямом воздействии бактерии стимулируют рост растений, улучшают биодоступность питательных веществ, осуществляют борьбу с патогенами, конкурируя за пространство и питательные вещества или продуцируя комплекс антифунгальных метаболитов. При опосредованном влиянии запускается индуцированная системная резистентность, которая подготавливает весь организм растения к усиленной защите от широкого спектра патогенов [3, 6]. За последние десятилетия было исследовано большое количество микробных биоагентов для контроля болезней растений. Одними из наиболее интенсивно изучаемых считают бактерии родов *Pseudomonas* и *Bacillus*. Тем не менее, все еще необходимы усилия по увеличению количества коммерчески доступных микробных биопестицидов для борьбы с болезнями растений [10].

Применение биопрепаратов не только повышает урожайность сельскохозяйственных культур, но и улучшает качество продукции и ее пищевую и кормовую ценность. Эффективность биопрепаратов на основе живых микроорганизмов во многом зависит от способности штаммов активно конкурировать с патогенными грибами [9]. При этом преимуществом для практического применения обладают микроорганизмы широкого спектра антагонистического действия.

Сохранение и развитие биологических коллекций в Российской Федерации – часть приоритетной межведомственной и междисциплинарной проблемы сохранения биоресурсов, биоразнообразия, укрепления био- и продовольственной безопасности государства [11].

Цель исследования – определение широты спектра антагонистического действия наиболее перспективных штаммов бактерий из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР для уточнения их сельскохозяйственно-полезных признаков.

Условия, материалы и методы. Объектами исследования выступали штаммы бактерий *Bacillus siamensis* BZR 86, *B. amyloliquefaciens* BZR 277, *Bacillus* sp. BZR 187, *B. subtilis* BZR 854, *Rhodobacteriaceae bacterium* BZR 519, *Pseudomonas fulva* BZR 523-2, *P. chlororaphis* BZR 245 F, *B. subtilis* BZR 517, выделенные из природных источников в Краснодарском крае. В качестве целевых патогенов использованы тест-культуры грибов *Verticillium alboatrum* Reinke et Berthold F-60, *Cladosporium herbarum* Pers. F-37, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl F-12, *Sclerotinia sclerotiorum* (Libert 1837) de Bary F-59, *Cercospora beticola* Sacc. F-29, *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn F-11, *Fusarium oxysporum* Schlechtendahl F-6, *Phytophthora cactorum* Lebert et Cohn J. Schroeter F-58, *Parastagonospora nodorum* Berk F-13, полученные из природных источников различных регионов РФ. Все микроорганизмы, задействованные в исследовании, – объекты Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов». Некоторые из исследуемых штаммов уже зарекомендовали себя как стимуляторы роста растений [12], агенты биоконтроля патогенных грибов и их токсинов [13, 14], а также регуляторы численности вредных насекомых [15].

Антагонизм к перечисленным патогенам выявляли методом двойных культур [16, 17]. В качестве питательной среды использовали картофельно-глюкозный агар. В чашку Петри (ЧП) с агаризованной питательной средой помещали агаровый блок с грибным мицелием, а бактериальный штамм сеяли штрихом на расстоянии 6 см от блока. ЧП с антагонистом и патогеном инкубировали в течение 15 дней при +28,0 °C. Учеты осуществляли на 5-е, 10-е и 15-е сутки эксперимента.

Ингибирование мицелия патогена определяли по формуле [18]:

$$N = (1 - (A/B)) \times 100 \%,$$

где N – ингибирование роста колонии патогена, %; A – диаметр мицелия в варианте с препаратом, см; B – диаметр мицелия в контроле, см.

Эффективность штаммов условно разделена в зависимости от их способности ингибировать мицелий патогена на низкую (1...19 %), ниже средней (20...29 %), среднюю (30...49 %), высокую (от 50 % и выше). В качестве контроля использовали чистые культуры патогена без антагониста. Повторность во всех опытах трёхкратная.

В исследованиях использована материально-техническая база УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<http://ckp-rf.ru/usu/671367>).

Статистическую обработку данных проводили с применением критерия Дункана многофакторного дисперсионного анализа в программе STATISTICA 13.2 (StatSoft Russia) [19].

Результаты и обсуждение. В большинстве случаев мы отмечали непрерывный рост антифунгальной активности штаммов в отношении ряда патогенов, начиная с пятых суток и до конца эксперимента. При

Таблица 1. Спектр антифунгальной активности бактерий-антагонистов из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР

Штамм фитопатогена	Сутки учета	Диаметр мицелия патогена, см								
		контроль	BZR 86	BZR 277	BZR 187	BZR 854	BZR 519	BZR 523-2	BZR 245 F	BZR 517
<i>V. alboatrum</i>	5	1,3 ^c	1,1	1,2 ^{abc}	1,0 ^a	1,2 ^{bc}	1,1 ^{abc}	0,6 ^d	1,1 ^{ab}	1,1 ^{abc}
F-60	10	2,7 ^d	1,7	1,7 ^{abc}	1,7 ^{abc}	1,8 ^{ac}	1,6 ^{ab}	1,4 ^b	2,0 ^c	1,8 ^{ac}
	15	4,0 ^c	1,8	1,8 ^a	1,6 ^a	1,8 ^a	1,5 ^a	1,7 ^a	2,4 ^b	1,7 ^a
<i>C. herbarum</i>	5	1,2 ^b	1,0	1,2 ^{ab}	1,0 ^a	1,0 ^a	1,1 ^{ab}	0,6 ^{ab}	1,1 ^{ab}	1,1 ^a
F-37	10	2,2 ^d	1,5 ^a	2,5 ^c	1,9 ^b	1,2 ^a	1,6 ^a	1,4 ^{ac}	2,0 ^b	1,8 ^a
	15	2,8 ^b	1,8 ^{ab}	2,1 ^{bc}	1,5 ^{ab}	1,4 ^a	1,5 ^{abc}	1,7 ^d	2,04 ^c	1,7 ^{ab}
<i>A. alternata</i> F-12	5	2,4 ^d	1,7 ^a	1,8 ^a	1,7 ^a	1,6 ^a	1,6 ^a	2,4 ^b	2,4 ^b	1,6 ^a
	10	4,0 ^c	1,9 ^{ab}	1,8 ^{ab}	2,0 ^{ab}	1,7 ^a	1,8 ^{ab}	4,2 ^c	4,0 ^c	1,8 ^{ab}
	15	6,8 ^e	2,2 ^{ab}	2,0 ^{ab}	2,3 ^b	1,9 ^a	2,0 ^{ab}	4,4 ^d	41,2 ^c	2,2 ^{ab}
<i>S. sclerotiorum</i>	5	4,5 ^c	2,6 ^{ab}	2,6 ^{ab}	2,3 ^{ab}	1,8 ^a	2,5 ^{ab}	2,6 ^{ab}	2,8 ^b	2,6 ^{ab}
F-59	10	7,0 ^f	4,1 ^d	3,2 ^{bc}	2,3 ^{ab}	1,9 ^a	2,6 ^{ab}	5,3 ^e	5,2 ^e	2,8 ^{ab}
	15	7,0 ^f	4,1 ^d	3,2 ^{bc}	2,3 ^{ac}	1,6 ^c	2,6 ^{ab}	6,5 ^{ef}	6,2 ^e	2,9 ^{ab}
<i>C. beticola</i> F-29	5	1,1 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a
	10	1,9 ^c	1,3 ^{ab}	1,4 ^{ab}	1,4 ^b	1,3 ^{ab}	1,2 ^a	2,0 ^c	1,7 ^d	1,3 ^{ab}
	15	3,1 ^c	1,5 ^{ab}	1,7 ^a	1,7 ^a	1,4 ^b	1,5 ^{ab}	3,2 ^c	2,4 ^d	1,7 ^a
<i>R. solani</i> F-11	5	6,2 ^f	2,6 ^{ab}	2,8 ^{ac}	2,4 ^b	2,6 ^{ab}	2,8 ^{ac}	4,9 ^d	4,6 ^d	2,0 ^e
	10	7,0 ^{cd}	3,0 ^{ab}	3,2 ^a	3,0 ^{ab}	3,1 ^{ab}	3,3 ^a	7,1 ^d	6,7 ^c	2,9 ^b
	15	7,0 ^d	3,8 ^c	3,7 ^{bc}	3,0 ^a	3,3 ^{ab}	3,3 ^{ab}	7,2 ^d	6,9 ^d	3,2 ^a
<i>F. oxysporum</i> F-6	5	4,1 ^c	3,0 ^a	2,6 ^{ab}	2,5 ^b	2,9 ^a	2,4 ^b	2,6 ^{ab}	2,8 ^{ab}	2,9 ^a
	10	6,4 ^d	3,3 ^{ab}	3,5 ^b	2,9 ^{ab}	3,2 ^{ab}	2,5 ^a	4,7 ^c	2,9 ^{ab}	3,1 ^{ab}
	15	7,0 ^f	3,5 ^{abc}	3,9 ^{bc}	3,3 ^{abcd}	3,9 ^c	2,7 ^d	4,8 ^e	3,1 ^{ad}	3,6 ^{abc}
<i>P. cactorum</i>	5	2,1 ^b	1,3 ^c	0,7 ^a	0,7 ^a	1,0 ^a	0,8 ^a	2,0 ^b	1,8 ^b	0,9 ^a
F-58	10	3,4 ^c	1,8 ^b	1,6 ^{ab}	1,5 ^{ab}	1,3 ^{ac}	1,1 ^c	2,6 ^e	3,6 ^d	1,3 ^{ac}
	15	6,4 ^f	1,9 ^c	1,6 ^{ac}	1,5 ^{abc}	1,3 ^{ab}	1,1 ^b	2,6 ^d	3,6 ^e	1,4 ^{ab}
<i>P. nodorum</i> F-13	5	1,3 ^a	1,1 ^{ab}	1,0 ^{ab}	1,2 ^a	1,1 ^{ab}	1,0 ^{ab}	1,1 ^{ab}	0,8 ^b	1,0 ^{ab}
	10	2,3 ^d	1,3 ^{ab}	1,3 ^{ab}	1,4 ^{abc}	1,3 ^{ab}	1,2 ^a	1,3 ^{ab}	1,4 ^{abc}	1,7 ^c
	15	2,7 ^b	1,9 ^a	1,5 ^a	1,5 ^a	1,5 ^a	1,5 ^a	1,5 ^a	1,6 ^a	1,8 ^a

*разные буквы указывают на достоверные различия ($p < 0,05$) внутри строк по критерию Дункана.

этом некоторые штаммы уже с пятых суток подавляли рост мицелия патогена на 50 % и более. Так, штамм *B. subtilis* BZR 517 на пятые сутки подавлял развитие *P. cactorum* F-58 на 54,8 %, а на 15-е – на 78,5 %. Антифунгальное действие *B. subtilis* BZR 854 в отношении *S. sclerotiorum* F-59 возросло с 59,3 % до 76,7 %, а против *P. cactorum* F-58 – с 53,2 % до 79,1 %. Ингибирование *P. cactorum* F-58 штаммом *R. bacterium* BZR 519 возросло с 62,9 % на пятые сутки до 82,2 % на 15-е сутки. Это свидетельствует о способности бактерий активно и длительно конкурировать с помощью различных механизмов сразу с несколькими патогенами. Средства защиты на основе таких биоагентов будут обладать широким спектром антифунгального действия (табл. 1, 2).

Стоит отметить, что у исследуемых штаммов рода *Pseudomonas* способность подавлять фитопатогенные грибы менее выражена, чем у других биоагентов. Эту закономерность можно проследить по некоторым значениям антифунгальной активности штаммов BZR 523-2 и BZR 519 в отношении *C. herbarum* F-37 (1,5...3,8 %), *A. alternata* F-12 (2,4...4,3 %), *S. sclerotiorum* F-59 (7,1...11,9 %), *C. beticola* F-29 (1,0...6,3 %), *R. solani* F-11 (0...3,8 %), *P. cactorum* F-58 (0...3,2 %). Однако антифунгальная активность в отношении *F. oxysporum* F-6, *P. nodorum* F-13 и *V. alboatrum* F-60 соответствовала уровню биоагентов родов *Bacillus* и *Rhodobacteriaceae* – 26,0...61,4 %, 17,5...45,6 % и 5,1...65,0 % соответственно.

Величина и динамика антифунгальной активности варьировала в зависимости от объекта антагонизма.

В отношении гриба *V. alboatrum* F-60 антифунгальная активность штаммов в большинстве случаев стабильно возрастала на протяжении всего эксперимента и составляла в среднем 17 % на 5-е сутки, 34 % на 10-е сутки и 56 % на 15-е сутки. Исключение составлял

штамм BZR 523-2 – его антифунгальная активность была высокой уже с пятых суток – 53,8 %, затем снизилась на 5 % и к 15-м суткам возросла до 58,7 %. Все штаммы показали высокую эффективность против этого патогена на 15-е сутки – 55,4...62,0 %, кроме штамма BZR 245 F – 41,3 %. Наиболее эффективные штаммы в отношении *V. alboatrum* F-60 – BZR 523-2, BZR 86, BZR 187, BZR 519, BZR 517.

В отношении *C. herbarum* F-37 следует выделить особо штаммы BZR 86, BZR 187, BZR 854, BZR 517. Их эффективность на пятые сутки была одинаковой – 16,7 %, затем в большинстве случаев выросла до 29,2...44,6 % и к 15-м суткам достигала 53,5...63,2 %. Против этого патогена наиболее эффективными оказались штаммы рода *Bacillus*, антагонистическая активность *P. fulva* BZR 523-2, *P. chlororaphis* BZR 245 F и *R. bacterium* BZR 519 была ниже в среднем на 3...35 %.

Антагонистическая активность штаммов родов *Bacillus* и *Rhodobacteriaceae* против гриба *A. alternata* F-12 была на одном уровне – средняя в большинстве случаев на пятые сутки (30,1...34,2 %), высокая в большинстве случаев на 10-е сутки (52,5...55,0 %) и высокая во всех случаях на 15-е сутки (68,1...72,1 %). Антагонистическая активность штаммов *P. fulva* BZR 523-2, *P. chlororaphis* BZR 245 F была низкой на 5-е и 10-е сутки – 2,4...4,3 % и средней на 15-е – 35,3...41,2 %. Наиболее эффективны штаммы в отношении *A. alternata* F-12 – BZR 86, BZR 187, BZR 277, BZR 854, BZR 519, BZR 517, их антифунгальное действие даже на 15-е сутки было на высоком уровне – 66,7...72,1 %.

В отношении патогена *S. sclerotiorum* F-59 следует выделить в качестве наиболее эффективных штаммы BZR 187, BZR 854 и BZR 519. На 5-е сутки их антагонистическая активность была средней и высокой – 43,0...59,3 %, затем выросла на 13,6...18,5 % и к 15-м

Таблица 2. Антагонистическая активность перспективных бактерий-антагонистов из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР

Штамм фитопатогена	Сутки учета	Ингибирование мицелия патогена, %			
		BZR 277	BZR 854	BZR 519	BZR 517
<i>V. alboatrum</i> F-60	5	10,3	5,1	12,8	12,8
	10	36,6	32,9	41,5	32,9
	15	55,4	55,4	62,0	57,0
<i>C. herbarum</i> F-37	5	2,8	16,7	2,8	16,7
	10	2,5	44,6	29,2	35,4
	15	43,9	63,2	49,1	57,0
<i>A. alternata</i> F-12	5	27,4	34,2	32,9	34,2
	10	55,0	56,7	55,0	53,3
	15	70,6	72,1	70,6	68,1
<i>S. sclerotiorum</i> F-59	5	43,0	59,3	44,4	43,0
	10	54,8	72,9	62,9	60,5
	15	54,8	76,7	62,9	58,6
<i>C. beticola</i> F-29	5	3,1	6,3	3,1	6,3
	10	29,3	32,8	36,2	34,5
	15	44,6	54,3	50,0	45,7
<i>R. solani</i> F-11	5	54,1	58,4	54,6	68,1
	10	53,8	56,2	53,3	58,1
	15	47,6	52,4	52,4	54,8
<i>F. oxysporum</i> F-6	5	36,1	28,7	41,0	27,9
	10	45,3	50,0	60,9	51,6
	15	44,8	43,8	61,4	49,0
<i>P. cactorum</i> F-58	5	66,1	53,2	62,9	54,8
	10	53,9	60,8	67,7	60,8
	15	74,3	79,1	82,2	78,5
<i>P. nodorum</i> F-13	5	22,5	17,5	22,5	22,5
	10	42,6	41,2	45,6	26,5
	15	45,1	43,9	43,9	32,9

суткам достигла 62,9...76,7 %. К этой категории можно отнести и штамм BZR 517, однако при совместном инкубировании штамма с патогеном отмечено снижение антагонистической активности с 10-х до 15-х суток на 2 %. Антагонистическая активность штаммов рода *Pseudomonas* на последние сутки учета была низкой – 7,1...11,9 %.

При взаимодействии исследуемых штаммов с грибом *C. beticola* F-29 отмечен в большинстве случаев рост антифунгальной активности с пятых к 15-м суткам эксперимента. Высокую эффективность к 15-м суткам демонстрировали штаммы BZR 86, BZR 854 и BZR 519, ингибирование роста мицелия патогена составляло 50,0...54,3 %.

Против *R. solani* F-11 уже на пятые сутки штаммы демонстрировали высокие показатели ингибирования роста мицелия патогена – 50,3...68,1 %, исключение составили штаммы псевдомонад, их эффективность была в среднем на 30...40 % ниже и составляла 20,5...25,9 %. Затем антагонистическая активность штаммов родов *Bacillus* и *Rhodobacteriaceae* снижалась к 10-м суткам на 0,3...4,5 %, к 15-м суткам – на 1...12 % и к концу эксперимента была на уровне 42,9...54,8 %. Исключение составлял штамм BZR 187, его эффективность осталась неизменной на 10-е и 15-е сутки – 57,1 %. Антифунгальная активность штаммов р. *Pseudomonas* снизилась к 10-м суткам на 20,5...22,1 % и к 15-м суткам была практически нулевой.

Наиболее эффективными биоагентами против *R. solani* F-11, сохранившими способность ингибировать более 50 % площади мицелия патогена, оказались штаммы BZR 187, BZR 854, BZR 519 и BZR 517.

Самыми эффективными штаммами в отношении *F. oxysporum* F-6 оказались BZR 245 F, BZR 519 и BZR 86. Их антагонистическая активность возрастала с первых дней эксперимента и к 15-м суткам была на уровне 50,5...61,4 %. Это свидетельствует о способности штаммов активно конкурировать с патогеном за

территорию и/или питательные вещества. Штамм BZR 187 тоже показал высокую антагонистическую активность к 15-м суткам – 52,9 %, но так как это значение ниже предыдущей точки учета на 1,3 %, вероятно, штамм в дальнейшем будет терять способность сопротивляться патогену. Стоит отметить, что в отношении *F. oxysporum* F-6 отмечена высокая и средняя (31,0...56,2 %) антифунгальная активность штаммов р. *Pseudomonas* – BZR 523-2 и BZR 245 F к 15-м суткам.

По динамике эффективности в отношении *P. cactorum* F-58 штаммы можно разделить на две группы – со снижением активности в середине исследования и с постоянно растущей активностью на протяжении всего эксперимента. Антагонистическая активность штаммов BZR 86, BZR 854, BZR 519, BZR 517 и BZR 523-2 постоянно возрастала – к 10-м суткам на 4,8...21,3 %, к 15-м – на 14,6...35,2 % и к концу эксперимента была максимально высокой – 70,7...82,2 %. В вариантах с использованием штаммов BZR 277 и BZR 187 отмечено снижение способности ингибировать мицелий патогена на 10-е сутки на 11...17 %, которое было преодолено к 15-м суткам, где антагонистическая активность была на уровне 74,3...76,4 %. Наибольшую эффективность в отношении *P. cactorum* F-58 показали штаммы BZR 517, BZR 854 и BZR 519. Антифунгальная активность штаммов р. *Pseudomonas* была на 11...39 % ниже, чем у штаммов *Bacillus* и *Rhodobacteriaceae*.

Штаммы подавляли рост мицелия *P. nodorum* F-13 в среднем на 21 % на пятые сутки и на 40 % на 15-е сутки. В большинстве случаев наблюдали постепенный рост антифунгальной активности, кроме штаммов BZR 86 и BZR 519, чья активность снижалась на 1,7 и 12 % от 10-х к 15-м суткам. Наиболее эффективными против этого патогена можно считать штаммы BZR 277, BZR 519, BZR 245 F, BZR 517.

Микробные биоагенты используют разнообразные прямые и косвенные механизмы и их комбинации

для защиты растений от инфекций. Бактерии-антагонисты могут напрямую взаимодействовать с возбудителем посредством секреции антифунгальных метаболитов, конкурируя за питательные вещества и пространство. Многие бактерии синтезируют и высвобождают метаболиты, такие как липопептиды, бактериоцины, антибиотики, биосурфактанты, ферменты, разрушающие клеточную стенку и снижающие рост или метаболическую активность патогенов. Они также могут влиять на систему кворума патогенов, ферментативно разрушая или ингибируя синтез сигнальных молекул, используемых для инициации инфекционного процесса. Высококонкурентные штаммы бактерий-антагонистов могут колонизироваться и выживать в очаге инфекции и иметь более эффективную систему поглощения питательных веществ. Помимо прямого воздействия, биоагенты могут защищать растения косвенно, запуская защитную реакцию или способствуя росту растений [10, 20, 21]. Полученные результаты позволят в будущем использовать биоагенты для дальнейших исследований с целью разработки биологических препаратов для защиты растений в зависимости от цели и способа применения.

Выводы. По результатам проведенных испытаний были выделены группы штаммов наиболее эффективных в отношении различных патогенов:

против *R. solani* F-11 – BZR 187, BZR 854, BZR 519 и BZR 517, антагонистическая активность составляла 52,4...57,1 %;

в отношении *P. cactorum* F-58 – BZR 517, BZR 854 и BZR 519, вызывали ингибирование 79,1...82,2 % мицелия патогена;

в отношении *F. oxysporum* F-6 – BZR 187, BZR 245 F, BZR 519 и BZR 86, которые обеспечили уменьшение диаметра мицелия на 50,5...61,4 %;

против *P. nodorum* F-13 – BZR 277, BZR 519, BZR 245 F, BZR 517, ингибировавшие мицелий на 32,9...45,1 %;

в отношении гриба *V. alboatrum* F-60 – BZR 523-2, BZR 86, BZR 187, BZR 519, BZR 517 с антагонистической активностью 56,2...62,0 %;

в отношении *C. herbarum* F-37 – BZR 86, BZR 187, BZR 854, BZR 517, ингибирование роста мицелия этими штаммами достигало 53,5...63,2 %;

против гриба *A. alternata* F-12 – BZR 86, BZR 187, BZR 277, BZR 854, BZR 519, BZR 517, ингибирование мицелия патогена составляло 66,1...72,1 %;

в отношении патогена *S. sclerotiorum* F-59 – BZR 187, BZR 277, BZR 517, BZR 854 и BZR 519 с антагонистической активностью на уровне 54,8...76,7 %;

против *C. beticola* F-29 – BZR 86, BZR 854 и BZR 519, ингибирующие 50,0...54,3 % патогенного мицелия.

Проведенные исследования позволили выделить штаммы из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР, обладающие максимально широким спектром антифунгального действия, – BZR 854, BZR 519, BZR 517, BZR 277. Они будут приоритетными при выборе биоагентов в качестве действующего начала биологического препарата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0006.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов

Литература.

1. Азизбекян Р. Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений (обзор) // Биотехнология. 2018. Т. 34. № 5. С. 37–47. doi: 10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47.
2. Клименко Ю. И., Сердюк Н. С. Биологическое земледелие: за и против // Экономика сельского хозяйства России. 2018. № 9. С. 29–33.
3. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases / E. Dutilloy, F. E. Oni, Q. Esmaeel, et al. // Journal of fungi. 2022. Vol. 8. No. 6. Article 632. URL: <https://www.mdpi.com/2309-608X/8/6/632> (дата обращения: 14.05.2024). doi: 10.3390/jof8060632.
4. Полушкина Т. М. Органическое сельское хозяйство в мире // АПК: экономика, управление. 2017. № 3. С. 81–88.
5. Эндифитные бактерии как агенты для биопестицидов нового поколения (обзор) / И. В. Максимов, Т. И. Максимова, Е. Р. Сарварова и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 2. С. 134–148. doi: 10.7868/S0555109918020034.
6. Соболева О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 19–22. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10504.
7. Каримова Л. З., Нижегородцева Л. С., Колесар В. А. Продуктивность сельскохозяйственных культур при применении биопрепаратов на основе ризосферных бактерий (PGPR) // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № S4-1 (55). С. 52–58. doi: 10.12737/2073-0462-2020-53-58.
8. Штаммы PGPR *Pseudomonas*, перспективные для создания биопрепаратов для защиты и стимуляции роста растений / Т. В. Сиунова, Т. О. Анохина, О. И. Сизова и др. // Биотехнология. 2017. Т. 33. № 2. С. 56–67. doi: 10.21519/0234-2758-2017-33-2-56-67.
9. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas* в современных агробиотехнологиях / Т. О. Анохина, Т. В. Сиунова, О. И. Сизова и др. // Агрохимия. 2018. № 10. С. 54–66. doi: 10.1134/S0002188118100034.
10. Bacteria as biological control agents of plant diseases / A. Bonaterra, E. Badosa, N. Daranas, et al. // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 9. Article 1759. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/9/1759> (дата обращения 14.05.2024). doi: 10.3390/microorganisms10091759.
11. Турковская О. В., Голубев С. Н. Коллекция ризосферных микроорганизмов: значение для исследования растительно-бактериальной ассоциативности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 3. С. 315–325. doi: 10.18699/VJ20.623.
12. Штаммы бактерий из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР, обладающие ростстимулирующей активностью в отношении растений озимой пшеницы / А. М. Асатурова, Н. С. Томашевич, В. М. Дубяга и др. // Достижения науки и техники АПК. 2023. № 5. С. 21–27. doi: 10.53859/02352451_2023_37_5_21.
13. Evaluation of *Bacillus velezensis* biocontrol potential against *fusarium fungi* on winter wheat / A. M. Asaturova, N. A. Zhevnova, N. S. Tomashevich, et al. // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 8. Article 1956. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/8/1956> (дата обращения: 14.05.2024). doi: 10.3390/agronomy12081956.

14. Аллахвердян В. В., Сидорова Т. М., Асатурова А. М. Перспективные штаммы бактерий рода *Bacillus* в защите растений от возбудителей фузариоза и контаминации микотоксинами // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 2. С. 91–101. doi: 10.18470/1992-1098-2022-2-91-101.
15. Гырнец (Бондарчук) Е. Ю., Асатурова А. М. Скрининг штаммов бактерий по критерию энтомопатогенной активности в отношении *Galleria mellonella* L. и *Tenebrio molitor* L. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 53–60. doi: 0.53859/02352451_2022_36_3_53.
16. Ваксман З. А. Антагонизм микробов и антибиотические вещества. М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1947. 391 с.
17. Егоров Н. С. Выделение микробов-антагонистов и биологические методы учета их антибиотической активности. М.: Московский университет, 1957. 78 с.
18. Montealegre J. R., Reyes R., Perez L. M. Selection of bioantagonistic bacteria to be used in biological control of *Risotonia solani* in tomato // *Electronic Journal of Biotechnology*. 2003. Vol. 6. No. 2. P. 116–127. doi: 10.4067/S0717-34582003000200006.
19. Баерина А. П. Современные правила применения параметрических и непараметрических критериев в статистическом анализе медико-биологических данных // Медицинский альманах. 2021. № 1 (66). С. 64–73.
20. Barone G. D., Cernava T. Implications of bacteria–bacteria interactions within the plant microbiota for plant health and productivity // *Journal of Zhejiang university science B*. 2024. URL: <https://link.springer.com/article/10.1631/jzus.B2300914> (дата обращения: 14.05.2024). doi: 10.1631/jzus.B2300914.
21. Ramirez-Pool, B. Calderon-Perez, R. Ruiz-Medrano, et al. // *Microbial Ecology*. 2024. Vol. 87. Article 76. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-024-02384-1> (дата обращения: 14.05.2024). doi: 10.1007/s00248-024-02384-1.

References

1. Azizbekyan RR. [Biological preparations for crop protection (review)]. *Biotechnologiya*. 2018;34(5):37-47. Russian. doi: 10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47.
2. Klimenko Yul, Serdyuk NS. *Biologicheskoe zemledelie: za i protiv. Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii*. 2018;(9):29-33. Russian.
3. Dutilloy E, Oni FE, Esmaeel Q, et al. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases. *Journal of fungi* [Internet]. 2022 [cited 2024 May 14];8(6): Article 632. Available from: <https://www.mdpi.com/2309-608X/8/6/632>. doi: 10.3390/jof8060632.
4. Polushkina TM. [Organic farming in the world]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2017;(3):81-8. Russian.
5. Maksimov IV, Maksimova TI, Sarvarova ER, et al. [Endophytic bacteria as agents for new generation biopesticides (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2018;54(2):134-48. Russian. doi: 10.7868/S0555109918020034.
6. Soboleva OM. [Role of rhizosphere bacteria in improving the ecologization of agrocenoses]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018;32(5):19-22. Russian. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10504.
7. Karimova LZ, Nizhegorodtseva LS, Kolesar VA. [Crop productivity when using biopreparations based on rhizosphere bacteria (PGPR)]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;14(S4-1):52-8. Russian. doi: 10.12737/2073-0462-2020-53-58.
8. Siunova TV, Anokhina TO, Sizova OI, et al. [PGPR *Pseudomonas* strains promising for the development of biopreparations for plant protection and growth stimulation]. *Biotechnologiya*. 2017;33(2):56-67. Russian. doi: 10.21519/0234-2758-2017-33-2-56-67.
9. Anokhina TO, Siunova TV, Sizova OI, et al. [Rhizospheric bacteria of *Pseudomonas* genus in modern agrobiotechnology]. *Agrokhiimiya*. 2018;(10):54-66. Russian. doi: 10.1134/S0002188118100034.
10. Bonaterra A, Badosa E, Daranas N, et al. Bacteria as biological control agents of plant diseases. *Microorganisms* [Internet]. 2022 [cited 2024 May 14];10(9): Article 1759. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/9/1759>. doi: 10.3390/microorganisms10091759.
11. Turkovskaya OV, Golubev SN. [Collection of rhizospheric microorganisms: Implications for the study of plant-bacteria association]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2020;24(3):315-25. Russian. doi: 10.18699/VJ20.623.
12. Asaturova AM, Tomashevich NS, Dubyaga VM, et al. [Bacterial strains from the Bioresource Collection of the Federal Scientific Center for Biological Plant Protection, possessing growth-stimulating activity in relation to winter wheat plants]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023;(5):21-7. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_5_21.
13. Asaturova AM, Zhevnova NA, Tomashevich NS, et al. Evaluation of *Bacillus velezensis* biocontrol potential against fusarium fungi on winter wheat. *Agronomy* [Internet]. 2022 [cited 2024 May 14];12(8): Article 1956. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/8/1956>. doi: 10.3390/agronomy12081956.
14. Allahverdyan VV, Sidorova TM, Asaturova AM. [Promising strains of *Bacillus* bacteria in plant protection against Fusarium pathogens and mycotoxin contamination]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2022;17(2):91-101. Russian. doi: 10.18470/1992-1098-2022-2-91-101.
15. Gyrnets (Bondarchuk) EYu, Asaturova AM. [Screening of bacterial strains according to the criterion of entomopathogenic activity against *Galleria mellonella* L. and *Tenebrio molitor* L.]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(3):53-60. Russian. doi: 0.53859/02352451_2022_36_3_53.
16. Vaksman ZA. *Antagonizm mikrobov i antibioticheskie veshchestva* [Microbial antagonism and antibiotic substances]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo inostrannoi literatury; 1947. 391 p. Russian.
17. Egorov NS. *Vydelenie mikrobov-antagonistov i biologicheskie metody ucheta ikh antibioticheskoi aktivnosti* [Isolation of antagonist microbes and biological methods for recording their antibiotic activity]. Moscow: Moskovskii universitet; 1957. 78 p. Russian.
18. Montealegre JR, Reyes R, Perez LM. Selection of bioantagonistic bacteria to be used in biological control of *Risotonia solani* in tomato. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2003;6(2):116-27. doi: 10.4067/S0717-34582003000200006.
19. 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.
20. Barone GD, Cernava T. Implications of bacteria–bacteria interactions within the plant microbiota for plant health and productivity. *Journal of Zhejiang university science B* [Internet]. 2024 [cited 2024 May 14]. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1631/jzus.B2300914>. doi: 10.1631/jzus.B2300914.
21. Ramirez-Pool J, Calderon-Perez B, Ruiz-Medrano R, et al. *Bacillus* strains as effective biocontrol agents against phytopathogenic bacteria and promoters of plant growth. *Microbial Ecology* [Internet]. 2024 [cited 2024 May 14];87: Article 76. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-024-02384-1>. doi: 10.1007/s00248-024-02384-1.

Поступила в редакцию 24.05.2024 После доработки 21.06.2024 Принята к публикации 09.07.2024