



Научная статья/Research Article

УДК 579.64

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-3-11

Полина Александровна Аболенцева¹, Софья Владимировна Овсянкина²✉,
Иван Павлович Мучкин³, Сергей Витальевич Хижняк⁴

^{1,2,3,4}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹polina18.ti@gmail.com

²sofi-kras@mail.ru

³vinni2427@gmail.com

⁴skhizhnyak@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМ. *BACILLACEAE* ПРОТИВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ПЛЕСНЕВЕНИЯ СЕМЯН РАПСА

Цель исследования – оценить антибиотическую активность различных представителей семейства *Bacillaceae* в отношении возбудителей плесневения семян рапса *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp. В качестве представителей семейства *Bacillaceae* использованы 23 штамма *Bacillus altitudinis*, *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus simplex*, *Bacillus subtilis*, *Peribacillus simplex*, *Bacillus* sp., которые были выделены из сельскохозяйственных почв Красноярского края и в предыдущих исследованиях продемонстрировали антибиотическую активность в отношении возбудителей болезней рапса *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. и *Sclerotinia sclerotiorum*. Антибиотическую активность штаммов-антагонистов в отношении возбудителей плесневения семян определяли методом встречных культур на чашках Петри, в качестве показателя антибиотической активности использовали зону подавления роста тест-культуры. Из 23 штаммов-антагонистов 20 проявили антибиотическую активность в отношении как минимум одной тест-культуры, 3 штамма не показали антагонизма в отношении ни одной из тест-культур. С помощью дисперсионного анализа выявлено, что антибиотическая активность статистически значимо ($p < 0,001$) зависит от факторов «штамм-антагонист», «тест-культура» и взаимодействия факторов «штамм-антагонист» × «тест-культура» с показателями силы влияния 21,73 %, 17,99 и 42,32 % соответственно. В среднем по тест-культурам максимальный антибиотический эффект проявили штаммы RSA16(1) и RSA20(2), минимальный – штаммы Хч.1 и СХ5. Способность подавлять рост всех без исключения тест-культур продемонстрировали только штаммы RSA16(1) (*B. atrophaeus*), RSA20(1) (*B. subtilis*) и RSA20(2) (*B. subtilis*). С учетом средней по тест-культурам антибиотической активности для биологической борьбы с плесневением семян можно рекомендовать использование штаммов RSA16(1) или RSA20(2).

Ключевые слова: *Brassica napus* L., плесневение семян, *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp., биологическая защита, семейство *Bacillaceae*

Для цитирования: Аболенцева П.А., Овсянкина С.В., Мучкин И.П., и др. Эффективность представителей сем. *Bacillaceae* против возбудителей плесневения семян рапса // Вестник КрасГАУ. 2025. № 12. С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-3-11.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту № 2023030309439 «Разработка биопрепарата для защиты рапса от грибных болезней и стимулирования роста рапса в почвенно-климатических условиях Красноярского края».

Polina Alexandrovna Abolentseva¹, Sofia Vladimirovna Ovsyankina^{2✉}, Ivan Pavlovich Muchkin³, Sergey Vitalievich Khizhnyak⁴

^{1,2,3,4}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹polina18.ti@gmail.com

²sofi-kras@mail.ru

³vinni2427@gmail.com

⁴skhizhnyak@yandex.ru

EFFECTIVENESS OF FAMILY *BACILLACEAE* REPRESENTATIVES AGAINST RAPESEEDS MOLD PATHOGENS

The aim of the study is to evaluate the antibiotic activity of various representatives of the Bacillaceae family against the causative agents of rapeseed mold Fusarium sp., Aspergillus sp., Penicillium sp., and Mucor sp. Twenty-three strains of Bacillaceae family were used as representatives of the Bacillaceae family: Bacillus altitudinis, Bacillus atrophaeus, Bacillus cereus, Bacillus megaterium, Bacillus simplex, Bacillus subtilis, Peribacillus simplex, and Bacillus sp., which were isolated from agricultural soils of the Krasnoyarsk Region and had previously demonstrated antibiotic activity against the causative agents of rapeseed diseases Fusarium spp., Alternaria spp., and Sclerotinia sclerotiorum. The antibiotic activity of antagonist strains against the causative agents of seed mold was determined using the counter culture method on Petri dishes, with the growth inhibition zone of the test culture used as an indicator of antibiotic activity. Of the 23 antagonist strains, 20 showed antibiotic activity against at least one test culture, and 3 strains did not show antagonism against any of the test cultures. Using the analysis of variance, it was revealed that the antibiotic activity statistically significantly ($p < 0.001$) depended on the factors "antagonist strain", "test culture" and the interaction of the factors "antagonist strain" × "test culture" with the influence strength indices of 21.73 %, 17.99 and 42.32 %, respectively. On average, for the test cultures, the maximum antibiotic effect was shown by strains RSA16(1) and RSA20(2), while the minimum was shown by strains X4.1 and CX5. The ability to suppress the growth of all test cultures without exception was demonstrated only by strains RSA16(1) (B. atrophaeus), RSA20(1) (B. subtilis) and RSA20(2) (B. subtilis). Taking into account the average antibiotic activity for the test cultures, the use of strains RSA16(1) or RSA20(2) can be recommended for biological control of seed mold.

Keywords: Brassica napus L., seed mold, Fusarium sp., Aspergillus sp., Penicillium sp., Mucor sp., biological control, Bacillaceae family

For citation: Abolentseva PA, Ovsyankina SV, Muchkin IP, et al. Effectiveness of family *Bacillaceae* representatives against rapeseeds mold pathogens. *Bulletin of KSAU*. 2025;(12):3-11. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-3-11.

Funding: the work was carried out with the financial support of the Krasnoyarsk Regional State Autonomous Institution "Krasnoyarsk Regional Fund for the Support of Scientific and Scientific-Technical Activities" as part of the scientific research and development under project N 2023030309439 "Development of a biological product for protecting rapeseed from fungal diseases and stimulating the growth of rapeseed in the soil and climatic conditions of the Krasnoyarsk Region".

Введение. Рапс (*Brassica napus* L.) широко используется в качестве пищевой, кормовой и технической культуры. При переработке семян рапса получают рапсовое масло, используемое

как в кулинарии, так и в качестве биодизеля, а также высокобелковый жмых, используемый в качестве корма в животноводстве [1]. За последнее десятилетие мировое производство

рапса выросло более чем на 20 %, сделав рапс второй по значимости масличной культурой, на долю которой приходится более 12 % мирового производства растительного масла [2]. В Российской Федерации темпы роста производства рапса значительно превышают общемировые, а лидером среди субъектов федерации по посевным площадям под данной культурой является Красноярский край [3].

Одним из главных факторов, препятствующих полной реализации биологического потенциала рапса в плане урожайности, являются передающиеся через семена фитопатогенные грибы (главным образом представители родов *Fusarium* и *Alternaria*), а также возбудители плесневения семян р.р. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*. При этом возбудители плесневения семян, хотя формально и не являются фитопатогенами, поражают семена при хранении, значительно снижая их посевные качества, что позволяет отнести данные грибы к возбудителям болезней растений [4, 5].

Наиболее распространенным способом борьбы с возбудителями болезней рапса и других культур является предпосевное протравливание семян фунгицидами. Однако данный метод экологически небезопасен и ведет к повышению химической нагрузки на окружающую среду. Кроме того, во всем мире наблюдается неуклонный рост резистентности фитопатогенных микроорганизмов к применяемым химическим препаратам [6, 7]. Перспективной альтернативой химическим протравителям являются биопрепараты на основе штаммов-антагонистов возбудителей болезней [8]. При этом, по мнению ряда авторов, предпочтение следует отдавать биопрепаратам, созданным на основе комбинации штаммов-антагонистов [9, 10]. Ранее нами была продемонстрирована возможность использования выделенных из автохтонных почвенных и ризосферных микробных сообществ штаммов сем. *Bacillaceae* в качестве антагонистов актуальных для Красноярского края возбудителей грибных болезней рапса *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* и предложены комбинации этих штаммов для создания биопрепаратов широкого спектра действия [11].

Цель исследования – оценить антибиотическую активность различных представителей семейства *Bacillaceae* в отношении возбудителей плесневения семян рапса *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp.

Объекты и методы. В качестве антагонистов использовали выделенные нами из почвенных и ризосферных сообществ Красноярского края штаммы *Bacillus altitudinis* RSA2, *Bacillus atrophaeus* RSA9, RSA19, CX6, RSA1 (запатентован авторами под номером В-13893), RSA8, RSA16(1), RSA16(2), RSA18, *Bacillus cereus* АЛ3, CX5, *Bacillus megaterium* RSA4, *Bacillus simplex* RSA15, *Bacillus subtilis* RSA17, RSA20(1), RSA20(2), RSA11, *Bacillus* sp. Pa1, Pa2, Pa3, Ал4, Хч.1 и *Peribacillus simplex* RSA12. Выбор данных штаммов обусловлен тем, что в предыдущих исследованиях они показали высокую антибиотическую активность против фитопатогенных грибов – возбудителей болезней ярового рапса *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria* spp. и *Fusarium* spp. [11, 12].

В качестве тест-культур использовали изоляты *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Mucor* sp. и два различающихся на уровне принадлежности к разным видам изолята *Penicillium* sp. Указанные изоляты были выделены нами из пораженных плесневыми грибами семян рапса сорта Надежный 92 производства федерального государственного унитарного предприятия «Михайловское» (Красноярский край, Ужурский район), урожай 2023 г. Проверку антибиотической активности изучаемых штаммов в отношении возбудителей плесневения семян выполняли методом двойных (встречных) культур (dual culture assay) по ширине зоны отсутствия роста тест-культуры в присутствии штамма-антагониста [12, 13] (рис. 1). В качестве питательной среды, хорошо поддерживающей рост как изучаемых штаммов, так и мицелиальных грибов, использовали среду № 2 ГРМ (Сабура) ФБУН ГНЦ ПМБ, разведенную в два раза и дополненную агаром до 20 г/л [12, 14]; время инкубирования составляло 10 сут, температура инкубирования (25 ± 1) °С; повторность трехкратная.

Статистическую обработку результатов проводили двухфакторным дисперсионным анализом, факторами служили тест-культура гриба и штамм бактерий-антагонистов. В качестве post hoc тестов для парного сравнения индивидуальных средних после проведения дисперсионного анализа использовали тесты Шеффе и Тьюки [15]; в качестве программного обеспечения использовали математический пакет StatSoft STATISTICA 8.0.



Рис. 1. Метод встречных культур на примере изолята *Mucor* sp.:

1 – рост гриба в контроле; 2 – в присутствии штамма-антагониста RSA16(2)

Counter-culture method using the *Mucor* sp. isolate as an example:

1 – fungal growth in the control; 2 – in the presence of the antagonist strain RSA16(2)

Результаты и их обсуждение. Из 23 протестированных штаммов 3 не проявили антибиотической активности в отношении тест-культур, остальные 20 ингибировали рост как минимум од-

ной тест-культуры; при этом уровень антибиотической активности зависел как от тест-культуры, так и от штамма (табл. 1, рис. 2, 3).

Таблица 1

Зоны подавления роста тест-культур в присутствии изучаемых штаммов
(представлены данные, усредненные по трем повторностям), мм
Zones of growth inhibition of test cultures within the studied strains
(data are presented, averaged over three repetitions), mm

Штамм	Тест-культура				
	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Penicillium</i>		<i>Mucor</i> sp.
			изолят 1	изолят 2	
RSA1	7,00	7,00	11,33	0,00	10,33
RSA2	10,00	0,00	9,81	21,00	0,00
RSA8	1,33	10,00	14,00	0,00	10,33
RSA9	10,67	4,67	7,00	0,00	9,00
RSA11	9,67	12,00	12,00	0,00	15,33
RSA15	0,00	5,33	10,00	0,00	6,00
RSA16(1)	15,00	12,00	9,33	11,00	13,00
RSA16(2)	13,67	9,33	0,00	0,00	15,67
RSA17	13,00	12,00	13,00	0,00	15,00
RSA18	0,00	9,00	14,00	0,00	4,33
RSA19	12,33	8,33	10,00	0,00	11,33
RSA20(1)	8,00	11,67	11,00	7,00	10,00
RSA20(2)	11,67	10,00	17,33	3,67	13,33
Хч.1	3,00	0,00	4,67	0,00	0,00
CX5	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00
CX6	13,33	0,00	10,33	3,67	11,33
АЛ3	13,67	4,00	12,00	0,00	10,67
АЛ4	12,67	11,00	12,33	0,00	8,33
Ра3	8,67	0,00	8,33	0,00	0,00

Статистическая значимость влияния факторов «тест-культура», «штамм бактерий», а также эффекта взаимодействия факторов «тест-культура» × «штамм бактерий» составила $p < 0,001$; соответствующие показатели силы влияния рав-

ны 17,99 %; 21,73; и 42,32 %; на долю случайного варьирования пришлось 17,95 %. Таким образом, основной вклад в варьирование зоны отсутствия роста внесли индивидуальные особенности воздействия штаммов на конкретные тест-культуры.

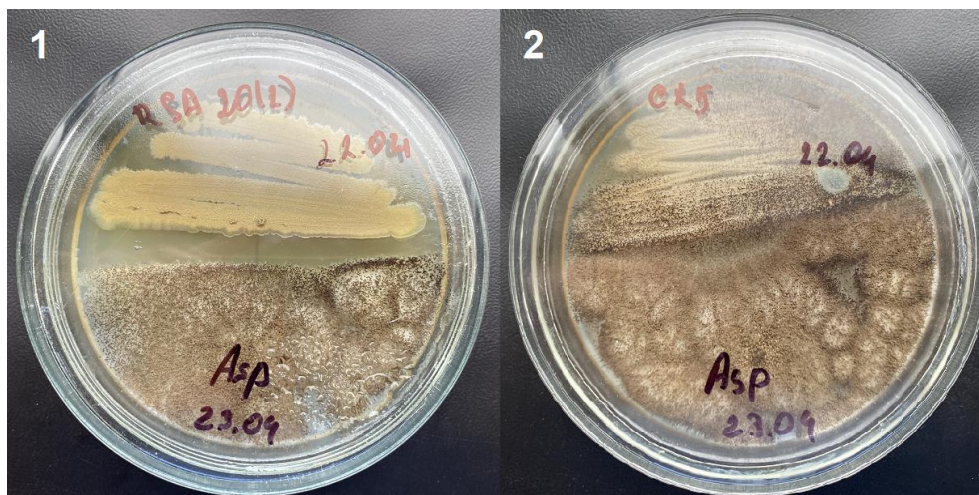


Рис. 2. Зависимость зоны подавления роста тест-культуры (на примере изолята *Aspergillus* sp.) от штамма-антагониста:

- 1 – штамм RSA20(1), видна ярко выраженная зона отсутствия роста тест-культуры;
2 – штамм CX5, зона отсутствия роста тест-культуры не выражена

Dependence of the test culture growth inhibition zone

(using an *Aspergillus* sp. isolate as an example) on the antagonist strain:

- 1 – strain RSA20(1), a clearly visible zone of test culture growth inhibition is visible;
2 – strain CX5, the zone of test culture growth inhibition is not clearly visible

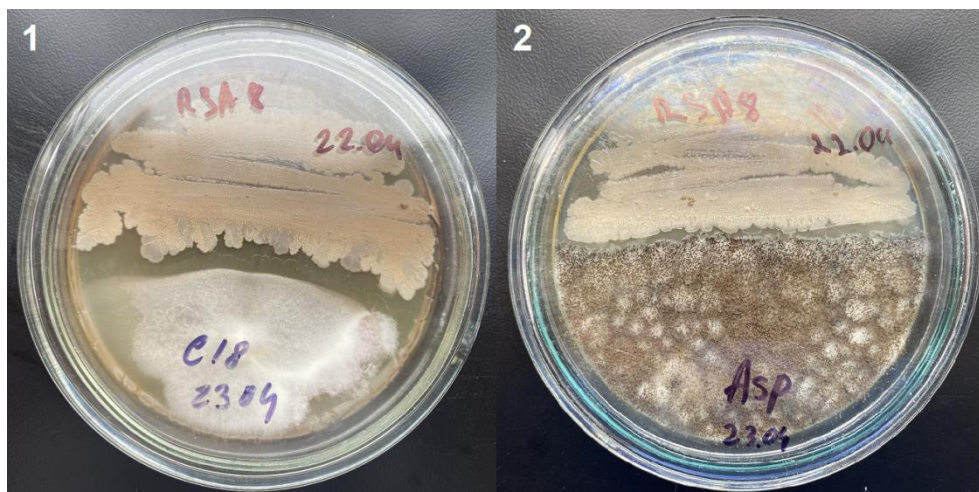


Рис. 3. Зависимость антибиотической активности штаммов-антагонистов (на примере штамма RSA8) от тест-культуры:

- 1 – тест-культура *Fusarium* sp., зона отсутствия роста тест-культуры ярко выражена;
2 – тест-культура *Aspergillus* sp., зона отсутствия роста тест-культуры выражена слабо

Dependence of the antibiotic activity of antagonist strains

(using the RSA8 strain as an example) on the test culture:

- 1 – *Fusarium* sp. test culture, the zone of no growth of the test culture is clearly expressed;
2 – *Aspergillus* sp. test culture, the zone of no growth of the test culture is weakly expressed

В среднем по использованным в работе изолятам возбудителей плесневения семян максимальный антифунгальный эффект показали

штаммы RSA16(1) и RSA20(2), минимальный – штаммы Хч.1 и CX5 (рис. 4).

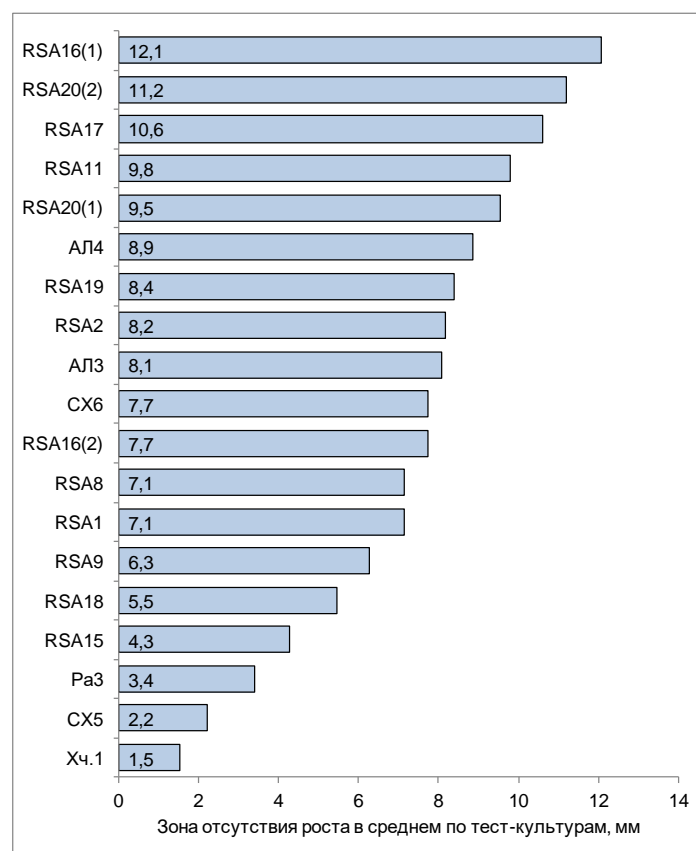


Рис. 4. Средняя по изолятам возбудителей плесневения семян зона отсутствия роста тест-культур в присутствии штаммов-антагонистов, мм
Average zone of no growth of test cultures in the presence of antagonist strains for isolates of seed mold pathogens, mm

При этом способность подавлять рост всех без исключения тест-культур продемонстрировали только штаммы RSA16(1) (*B. atrophaeus*), RSA20(1) (*B. subtilis*) и RSA20(2) (*B. subtilis*).

Среди тест-культур максимальную чувствительность к набору изученных штаммов проявил *Penicillium* sp. (изолят 1), минимальную – *Penicillium* sp. (изолят 2) (рис. 5).

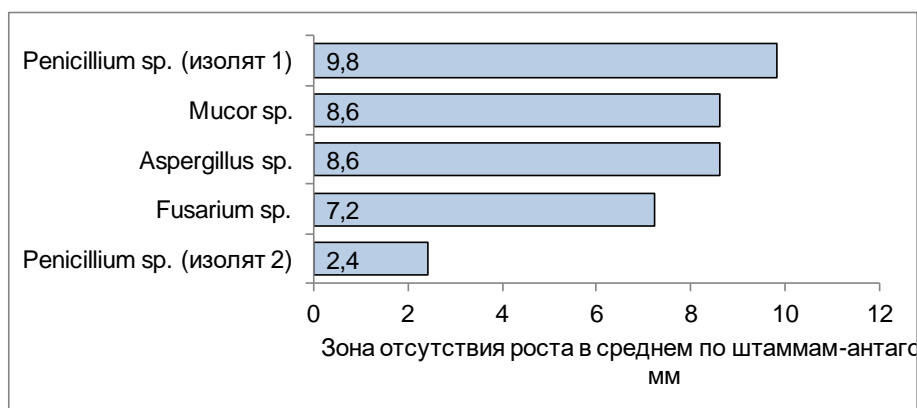


Рис. 5. Средняя по штаммам-антагонистам зона отсутствия роста у разных тест-культур, мм
Average zone of no growth for antagonist strains in different test cultures, mm

Тесты Шеффе и Тьюки показали, что статистически значимые различия по средней чувствительности к штаммам-антагонистам наблюдаются

между *Penicillium* sp. (изолят 2) и всеми остальными тест-культурами, а также между *Penicillium* sp. (изолят 1) и *Fusarium* sp. (табл. 4, 5).

Таблица 4

Результаты проверки индивидуальных различий между тест-культурами по средней чувствительности к набору изучаемых штаммов тестом Шеффе (числа в ячейках показывают статистическую значимость различий (p) с округлением до третьего знака после запятой)
Results of testing individual differences between test cultures for average sensitivity to a set of studied strains using the Scheffe test (numbers in cells indicate the statistical significance of differences (p) rounded to three decimal places)

Тест-культура	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	
			изолят 1	изолят 2
<i>Aspergillus</i> sp.		0,247	0,395	0,000
<i>Fusarium</i> sp.	0,247		0,001	0,000
<i>Penicillium</i> sp. (изолят 1)	0,395	0,001		0,000
<i>Penicillium</i> sp. (изолят 2)	0,000	0,000	0,000	
<i>Mucor</i> sp.	1,000	0,235	0,411	0,000

Таблица 5

Результаты проверки индивидуальных различий между тест-культурами по средней чувствительности к набору изучаемых штаммов тестом Тьюки (числа в ячейках показывают статистическую значимость различий (p) с округлением до третьего знака после запятой)
Results of testing individual differences between test cultures for average sensitivity to a set of studied strains using the Tukey test (numbers in cells indicate the statistical significance of differences (p) rounded to three decimal places)

Тест-культура	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	
			изолят 1	изолят 2
<i>Aspergillus</i> sp.		0,133	0,254	0,000
<i>Fusarium</i> sp.	0,133		0,000	0,000
<i>Penicillium</i> sp. (изолят 1)	0,254	0,000		0,000
<i>Penicillium</i> sp. (изолят 2)	0,000	0,000	0,000	
<i>Mucor</i> sp.	1,000	0,124	0,268	0,000

Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Изученные штаммы-антагонисты выделяют не одно антибиотическое вещество, а набор подобных веществ. При этом конкретный состав набора зависит от штамма. В то же время чувствительность возбудителей плесневения семян к разным антибиотическим веществам из этого набора определяется видовой принадлежностью возбудителя. Данные результаты хорошо согласуются с результатами аналогичного исследования, проведенного нами на наборе фитопатогенных грибов – возбудителей болезней рапса [10].

Заключение. На основе изучения антибиотической активности 23 штаммов сем. *Bacilla-*

seae, выделенных из сельскохозяйственных почв Красноярского края, в отношении 4 таксономически различающихся возбудителей плесневения семян рапса установлено, что лишь 3 штамма проявили способность подавлять рост всех без исключения тест-культур. Такую способность продемонстрировали штаммы RSA16(1) (*B. atrophaeus*), RSA20(1) (*B. subtilis*) и RSA20(2) (*B. subtilis*). С учетом средней по тест-культурам антибиотической активности для биологической борьбы с плесневением семян можно рекомендовать использование штаммов RSA16(1) или RSA20(2).

Список источников

1. Raboanatahiry N., Li H., Yu L., et al. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 1776. DOI: 10.3390/agronomy11091776.
2. Zheng Q., Liu K. Worldwide rapeseed (*Brassica napus* L.) research: A bibliometric analysis during 2011–2021 // *Oil Crop Science*. 2022. Vol. 7, is. 4. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.11.004.
3. Росстат – Федеральная служба государственной статистики. Бюллетень «Посевные площади Российской Федерации в 2024 году (весеннего учета)». Доступно по <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>. Ссылка активна на 17.07.2024.
4. Григорьев Е.В., Постовалов А.А. Реакция ярового рапса на обработку посевов жидкими минеральными удобрениями // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 1 (41). С. 60–63. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-60-63.
5. Аболенцева П.А., Хижняк С.В., Халипский А.Н., и др. Таксономический состав и распространность инфекции семян ярового рапса в Красноярском крае // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 12 (201). С. 111–120. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-111-120.
6. Hollomon D.W. Fungicide Resistance: 40 Years on and Still a Major Problem. In: Ishii H., Hollomon D., editors. *Fungicide Resistance in Plant Pathogens*. Springer, Tokyo. 2015. DOI: 10.1007/978-4-431-55642-8_1.
7. Thind T.S. New insights into fungicide resistance: a growing challenge in crop protection // *Indian Phytopathology*. 2022. Vol. 75, N 4. P. 927–939.
8. Butu M., Stef R., Grozea I., et al. Biopesticides: Clean and Viable Technology for Healthy Environment // *Bioremediation and Biotechnology*. 2020. P. 107–151. DOI: 10.1007/978-3-030-35691-0_6.
9. Niu B., Wang W., Yuan Z., et al. Microbial interactions within multiple-strain biological control agents impact soil-borne plant disease // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 585404.
10. Maciag T., Koziel E., Rusin P., et al. Microbial Consortia for Plant Protection against Diseases: More than the Sum of Its Parts // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, N 15. P. 12227.
11. Хижняк С.В., Аболенцева П.А., Овсянкина С.В., и др. Многомерные статистические методы как инструмент при выборе штаммов-антагонистов для биологической защиты растений от болезней // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 4 (205). С. 36–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-36-45.
12. Аболенцева П.А., Хижняк С.В., Овсянкина С.В., и др. Эффективность представителей сем. *Bacillaceae*, выделенных из сельскохозяйственных почв Красноярского края, против возбудителей грибных болезней картофеля // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 3 (204). С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-3-3-10.
13. Kim W.G., Weon H.Y., Seok S.J., et al. In vitro antagonistic characteristics of *Bacilli* isolates against *Trichoderma* spp. and three species of mushrooms // *Mycobiology*. 2008. Vol. 36, N 4. P. 266–269.
14. Родовиков С.А., Чураков А.А., Попова Н.М., и др. Почвенные микробные сообщества как источник штаммов для биологической защиты сои от фузариоза в Приенисейской Сибири // *Вестник Нижневартковского государственного университета*. 2020. № 2. С. 4–11.
15. Midway S., Robertson M.D., Flinn S., et al. Comparing multiple comparisons: practical guidance for choosing the best multiple comparisons test // *PeerJ*. 2020. Vol. 8. P. e10387. DOI: 10.7717/peerj.10387.

References

1. Raboanatahiry N, Li H, Yu L, et al. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement. *Agronomy*. 2021;11:1776. DOI: 10.3390/agronomy11091776.
2. Zheng Q, Liu K. Worldwide rapeseed (*Brassica napus* L.) research: A bibliometric analysis during 2011–2021. *Oil Crop Science*. 2022;7(4):157-165, DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.11.004.
3. Rosstat – Federal State Statistics Service. Bulletin “Cultivated areas of the Russian Federation in 2024 (spring accounting).” Available at: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>. Accessed: 17.07.2024.
4. Grigoriev EV, Postovalov AA. Reaction of spring rapeseed to the treatment of crops with liquid mineral fertilizers. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;1:60-63. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-60-63.

5. Abolentseva PA, Khizhnyak SV, Khalipsky AN, et al. Taxonomic composition and prevalence of infection of spring rape seeds in the Krasnoyarsk territory. *Bulletin of KSAU*. 2023;12:111-120. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-111-120
6. Hollomon DW. Fungicide Resistance: 40 Years on and Still a Major Problem. In: Ishii H, Hollomon D, editors. *Fungicide Resistance in Plant Pathogens*. 2015. Springer, Tokyo. DOI: 10.1007/978-4-431-55642-8_1
7. Thind TS. New insights into fungicide resistance: a growing challenge in crop protection. *Indian Phytopathology*. 2022;75(4):927-939.
8. Butu M, Stef R, Grozea I, et al. Biopesticides: Clean and Viable Technology for Healthy Environment. *Bioremediation and Biotechnology*. 2020:107-151. DOI: 10.1007/978-3-030-35691-0_6.
9. Niu B, Wang W, Yuan Z, et al. Microbial interactions within multiple-strain biological control agents impact soil-borne plant disease. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:585404.
10. Maciag T, Koziel E, Rusin P, et al. Microbial Consortia for Plant Protection against Diseases: More than the Sum of Its Parts. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(15):12227.
11. Khizhnyak SV, Abolentseva PA, Ovsyankina SV, et al. Multidimensional statistical methods as a tool in the selection of antagonist strains for biological protection of plants from diseases. *Bulletin of KSAU*. 2024;4:36-45. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-36-45.
12. Abolentseva PA, Khizhnyak SV, Ovsyankina SV, et al. Effectiveness of representatives of the family. Bacillaceae isolated from agricultural soils of the Krasnoyarsk territory, against pathogens of fungal diseases of potatoes. *Bulletin of KSAU*. 2024;3:3-10. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-3-3-10.
13. Kim WG, Weon HY, Seok SJ, et al. In vitro antagonistic characteristics of bacilli isolates against *Trichoderma* sp. and three species of mushrooms. *Mycobiology*. 2008;36(4):266-269.
14. Rodovikov SA, Churakov AA, Popova NM, et al. Soil microbial communities as a source of strains for biological protection of soybeans from fusarium in Yenisei Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2020;2:4-11.
15. Midway S, Robertson MD, Flinn S, et al. Comparing multiple comparisons: practical guidance for choosing the best multiple comparisons test. *PeerJ*. 2020;8:e10387. DOI: 10.7717/peerj.10387.

Статья принята к публикации 17.10.2025 / The article accepted for publication 17.10.2025.

Информация об авторах:

Полина Александровна Аболенцева, научный сотрудник межкафедральной научно-инновационной лаборатории сельского хозяйства и экологической биотехнологии
Софья Владимировна Овсянкина, заведующая межкафедральной научно-инновационной лабораторией сельского хозяйства и экологической биотехнологии, кандидат биологических наук
Иван Павлович Мучкин, аспирант кафедры экологии и природопользования
Сергей Витальевич Хижняк, профессор кафедры экологии и природопользования, доктор биологических наук, доцент

Information about the authors:

Polina Alexandrovna Abolentseva, Researcher at the Interdepartmental Scientific and Innovative Laboratory of Agriculture and Environmental Biotechnology
Sofia Vladimirovna Ovsyankina, Head of the Interdepartmental Scientific and Innovative Laboratory of Agriculture and Environmental Biotechnology, Candidate of Biological Sciences
Ivan Pavlovich Muchkin, Postgraduate student at the Department of Ecology and Nature Management
Sergey Vitalievich Khizhnyak, Professor at the Department of Ecology and Nature Management, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor