Научная статья/Research Article
УДК 579.64
DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-49-56

Иван Павлович Мучкин[1], **Полина Александровна Аболенцева**[2],
Софья Владимировна Овсянкина[3], **Сергей Витальевич Хижняк**[4]
[1,2,3,4]Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[1]vinni2427@gmail.com
[2]polina18.ti@gmail.com
[3]sofi-kras@mail.ru
[4]skhizhnyak@yandex.ru

АНТИБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМ. BACILLACEAE В ОТНОШЕНИИ *RHIZOPUS STOLONIFER*

Цель исследования – проверка антибиотической активности представителей семейства Bacillaceae в отношении мицелиального гриба Rhizopus stolonifer Vuillemin (1902). Были использованы штаммы Bacillus altitudinis, Bacillus atrophaeus, Bacillus cereus, Bacillus megaterium, Bacillus simplex, Bacillus subtilis, Peribacillus simplex и Bacillus sp., выделенные авторами из сельскохозяйственных почв Красноярского края и в предыдущих исследованиях проявившие антагонизм в отношении фитопатогенных грибов Fusarium spp., Alternaria spp., Sclerotinia sclerotiorum, Geotrichum candidum, а также в отношении возбудителей плесневения семян р.р. Aspergillus, Penicillium и Mucor. Оценку антибиотической активности изучаемых штаммов в отношении R. stolonifer проводили в чашках Петри методом встречных культур. В качестве показателя антибиотической активности использовали площадь колонии R. stolonifer в присутствии штамма-антагониста в процентах от контрольного варианта (без антагониста) после 10 сут инкубирования при температуре (25 ± 1) °С. Из 21 протестированного штамма 4 не проявили антагонизма в отношении R. stolonifer; 16 штаммов показали слабую либо умеренную антибиотическую активность (снижение площади колоний гриба на 29,1 –79,1 % относительно контроля); 1 штамм проявил высокую антибиотическую активность (снижение площади колонии R. stolonifer на 92 % относительно контроля). Не выявлено связи между антибиотической активностью изучаемых штаммов в отношении R. stolonifer и таксономически близкого зигомицета Mucor sp. (коэффициент ранговой корреляции Спирмена Rs = 0,272, статистически незначим). По результатам исследований штамм B. atrophaeus RSA9 можно предложить в качестве агента для биологического метода борьбы с R. stolonifer.

Ключевые слова: *Rhizopus stolonifer, биологический метод, бактерии-антагонисты, сем. Bacillaceae, Bacillus atrophaeus*

Для цитирования*: Мучкин И.П., Аболенцева П.А., Овсянкина С.В.*, и др. Антибиотическая активность представителей сем. *Bacillaceae* в отношении *Rhizopus stolonifer* // Вестник КрасГАУ. 2025. № 1. С. 49–56. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-49-56.

Благодарности: 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».

© Мучкин И.П., Аболенцева П.А., Овсянкина С.В., Хижняк С.В., 2025
Вестник КрасГАУ. 2025. № 1. С. 49–56.
Bulliten KrasSAU. 2025;(1):49–56.

Ivan Pavlovich Muchkin[1], **Polina Aleksandrovna Abolentseva**[2], **Sofia Vladimirovna Ovsyankina**[3], **Sergey Vitalievich Khizhnyak**[4]
[1,2,3,4]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[1]vinni2427@gmail.com
[2]polina18.ti@gmail.com
[3]sofi-kras@mail.ru
[4]skhizhnyak@yandex.ru

ANTIBIOTIC ACTIVITY OF BACILLACEAE FAMILY REPRESENTATIVES AGAINST *RHIZOPUS STOLONIFER*

The aim of the study is to test the antibiotic activity of representatives of the Bacillaceae family against the mycelial fungus Rhizopus stolonifer Vuillemin (1902). The strains of Bacillus altitudinis, Bacillus atrophaeus, Bacillus cereus, Bacillus megaterium, Bacillus simplex, Bacillus subtilis, Peribacillus simplex and Bacillus sp. were used, isolated by the authors from agricultural soils of the Krasnoyarsk Region and in previous studies showing antagonism against phytopathogenic fungi Fusarium spp., Alternaria spp., Sclerotinia sclerotiorum, Geotrichum candidum, as well as against seed mold pathogens of the genus Aspergillus, Penicillium and Mucor. The antibiotic activity of the studied strains against R. stolonifer was assessed in Petri dishes using the counter culture method. The area of the R. stolonifer colony in the presence of the antagonist strain as a percentage of the control variant (without the antagonist) after 10 days of incubation at a temperature of (25 ± 1) °C was used as an indicator of antibiotic activity. Of the 21 tested strains, 4 did not exhibit antagonism towards R. stolonifer; 16 strains showed weak or moderate antibiotic activity (reduction in the area of fungal colonies by 29.1–79.1 % relative to the control); 1 strain showed high antibiotic activity (reduction in the area of R. stolonifer colonies by 92 % relative to the control). No relationship was found between the antibiotic activity of the studied strains towards R. stolonifer and the taxonomically close zygomycete Mucor sp. (Spearman's rank correlation coefficient Rs = 0.272, statistically insignificant). Based on the results of the studies, the B. atrophaeus RSA9 strain can be proposed as an agent for the biological method of controlling R. stolonifer.

Keywords: *Rhizopus stolonifer, biological method, antagonist bacteria, Bacillaceae family, Bacillus atrophaeus*

For citation*:* Muchkin IP, Abolentseva PA, Ovsyankina SV, et al. Antibiotic activity of *Bacillaceae* family representatives against. *Rhizopus stolonifer. Bulliten KrasSAU*. 2025;(1):49–56 (In Russ.). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-1-49-56.

Acknowledgments: the work has been financially supported by the Krasnoyarsk Regional State Autonomous Institution "Krasnoyarsk Regional Fund for the Support of Scientific and Scientific and Technical Activities" as part of research and development under project № 2023030309439 "Development of a biological product to protect rapeseed from fungal diseases and stimulate the growth of rapeseed in soil and climatic conditions of the Krasnoyarsk Region".

Введение. Мицелиальный гриб *Rhizopus stolonifer* Vuillemin (1902), относящийся к семейству Mucoraceae (порядок Mucorales, отдел Zygomycota), является одним из наиболее вредоносных и распространенных возбудителей гнилей плодоовощной продукции. Его вредоносность обусловлена широкой распространенностью данного гриба практически во всех наземных экосистемах, а также способностью формировать столоны, обеспечивающие очень быструю колонизацию субстратов [1–3]. Гриб также известен как возбудитель плесневения семян, существенно ухудшающих их посевные качества [4–7]. В первые десятилетия XXI века *R. stolonifer* получил распространение в качестве возбудителя текучей гнили земляники садовой Fragaria × ananassa (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier (1785), поражающий плоды непосредственно на растениях еще до их созревания. Болезнь актуальна для всех производящих землянику регионов, при этом потери урожая могут достигать 50–90 % [8, 9]. В качестве одного из наиболее перспективных методов борьбы с *R. stolonifer* в настоящее время рассматривается биологический метод, основанный на использовании микроорганизмов-антагонистов *R. stolonifer* либо их метаболитов [3, 10–13].

Цель исследования – проверка антибиотической активности представителей семейства *Bacillaceae* в отношении мицелиального гриба *Rhizopus stolonifer* Vuillemin (1902).

Объекты и методы. Объектами исследования были штаммы *Bacillus altitudinis, B. Atrophaeus, B. cereus, B. megaterium, B. simplex, B. subtilis, Peribacillus simplex* и *Bacillus* sp. (в общей сложности 21 штамм), выделенные авторами из сельскохозяйственных почв Красноярского края и ризосферы сельскохозяйственных растений (табл. 1). В предыдущих исследованиях данные штаммы продемонстрировали высокую антибиотическую активность в отношении широкого спектра возбудителей грибных болезней сельскохозяйственных растений, а также в отношении возбудителей плесневения семян р.р. *Aspergillus, Penicillium* и *Mucor*.

Таблица 1

Список изучаемых штаммов
List of studied strains

Штамм	Таксономическая принадлежность	Метод идентификации
RSA2	*Bacillus altitudinis*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
CX6	*Bacillus atrophaeus*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA1	*Bacillus atrophaeus*	По нуклеотидной последовательности гена 16SрРНК
RSA16(1)	*Bacillus atrophaeus*	По нуклеотидной последовательности гена 16SрРНК
RSA16(2)	*Bacillus atrophaeus*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA18	*Bacillus atrophaeus*	По нуклеотидной последовательности гена 16SрРНК
RSA19	*Bacillus atrophaeus*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA8	*Bacillus atrophaeus*	По нуклеотидной последовательности гена 16SрРНК
RSA9	*Bacillus atrophaeus*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
АЛ3	*Bacillus cereus*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA17	*Bacillus cereus group / Bacillus subtilis*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA4	*Bacillus megaterium*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA15	*Bacillus simplex*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
Ра1	*Bacillus sp.*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
Ра2	*Bacillus sp.*	Культурально-морфологический
Ра3	*Bacillus sp.*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
Ал4	*Bacillus sp.*	Культурально-морфологический
RSA20(1)	*Bacillus subtilis*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA20(2)	*Bacillus subtilis*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA11	*Bacillus subtilis / Bacillus atrophaeus*	MALDI-TOF масс-спектрометрия
RSA12	*Peribacillus simplex*	MALDI-TOF масс-спектрометрия

Оценку антибиотической активности изучаемых штаммов в отношении *R. stolonifer* проводили в чашках Петри методом встречных культур [14]. В качестве показателя антибиотической активности использовали площадь колонии *R. stolonifer* в присутствии штамма-антагониста в % от контрольного варианта (без антагониста) после 10 сут инкубирования при температуре (25 ± 1) °С. Измерения площади проводили по фотографиям чашек Петри с помощью программы ImageJ; повторность трехкратная.

Статистическую значимость различий между штаммами по антибиотической активности в отношении *R. stolonifer* проверяли дисперсионным анализом. Связь антибиотической активности изучаемых штаммов с их активностью в отношении родственного *R. stolonifer* гриба *Mucor* sp., также относящегося к сем. *Mucoraceae*, проверяли ранговым коэффициентом корреляции Спирмена. В качестве программного обеспечения использовали пакет StatSoft STATISTICA 8.0.

Результаты и их обсуждение. Влияние изучаемых штаммов на рост *R. stolonifer* варьировало от полного отсутствия антагонизма до почти полного подавления роста гриба. В ряде случаев после первоначального подавления роста *R. stolonifer* впоследствии возобновлял свой рост в присутствии бактериального штамма (рис. 1).

Наибольший антагонистический эффект в отношении *R. stolonifer* проявил штамм RSA9 (рис. 2).

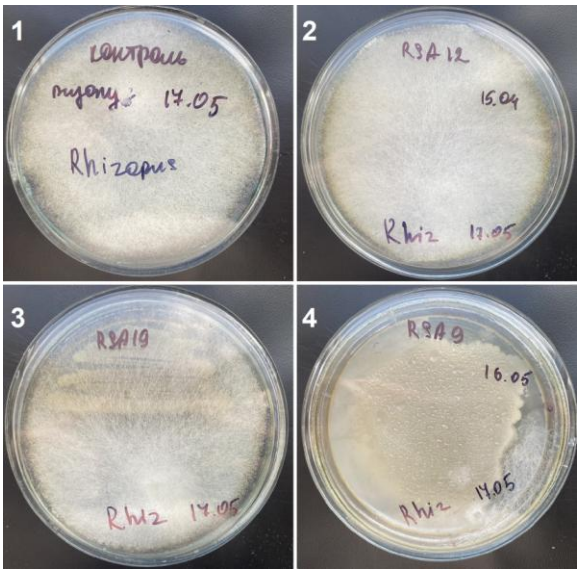

Рис. 1. Примеры воздействия изучаемых штаммов на R. stolonifer: 1 – контроль; 2 – отсутствие антагонизма со стороны изучаемого штамма; 3 – подавление роста R. stolonifer с последующим возобновлением его роста; 4 – практически полное подавление роста R. stolonifer без возобновления его роста

Examples of the effects of the studied strains on R. stolonifer: 1 – control; 2 – absence of antagonism from the studied strain; 3 – suppression of the growth of R. stolonifer followed by the resumption of its growth; 4 – almost complete suppression of the growth of R. stolonifer without the resumption of its growth

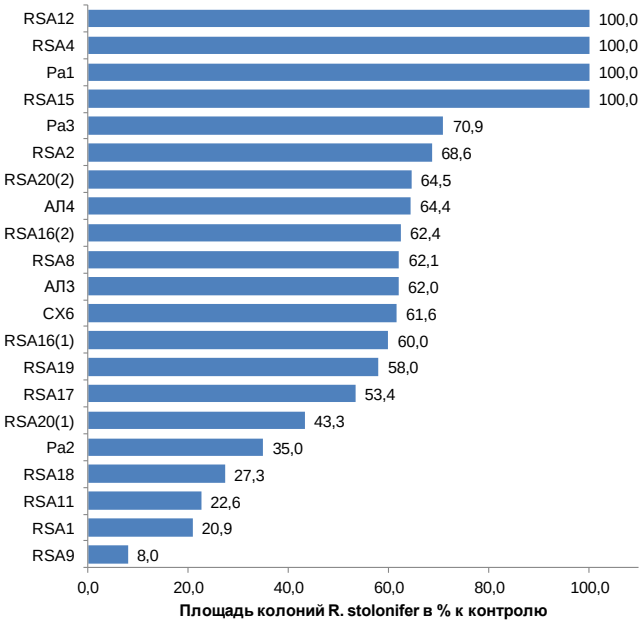

Рис. 2. Площадь колоний R. stolonifer в присутствии изучаемых штаммов, % к контролю

The area of colonies of R. stolonifer in the presence of the studied strains, % of the control

Дисперсионный анализ подтвердил статистическую значимость различий между изучаемыми штаммами по влиянию на *R. stolonifer* на уровне $p < 0,001$ (табл. 2).

Не выявлено связи между антибиотическим действием изучаемых штаммов в отношении *R. stolonifer* и в отношении *Mucor* sp. (рис. 3). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена Rs = 0,272, статистически незначим.

Наибольшую антибиотическую активность в отношении *R. stolonifer* продемонстрировал штамм RSA9, в присутствии которого площадь колонии гриба составила лишь 8 % от контроля (см. рис. 1, 2).

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа различий между штаммами по антагонистической активности в отношении *R. stolonifer*
Results of a variance analysis of differences between strains in antagonistic activity against *R. stolonifer*

Источник варьирования	Показатель силы влияния, %	Статистическая значимость эффекта, p
Все штаммы		
Штамм	99,72	0,000000
Ошибка	0,28	
Только штаммы, проявившие антагонизм		
Штамм	99,35	0,000000
Ошибка	0,65	

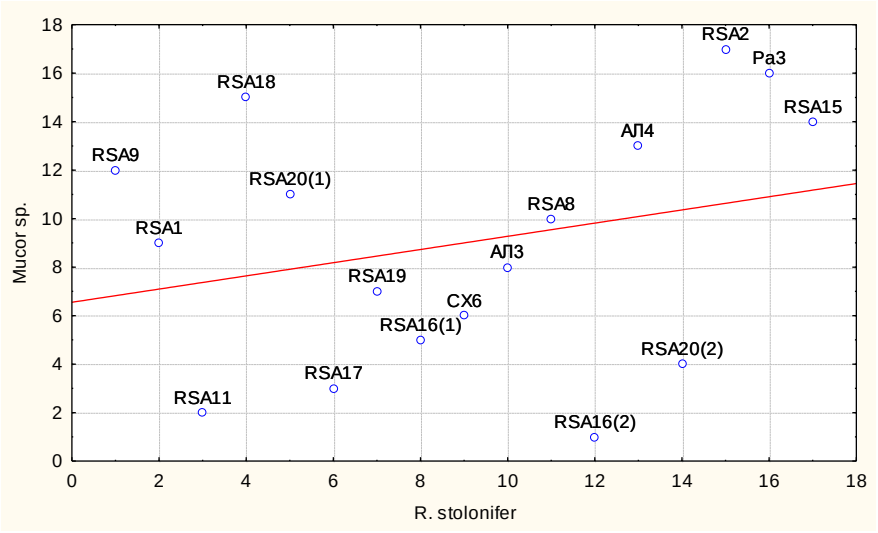

Рис. 3. Результаты сопоставления антибиотической активности изучаемых штаммов в отношении R. stolonifer и в отношении Mucor sp.; числа по осям показывают ранг штамма по антибиотической активности в отношении соответствующего гриба; минимальному значению ранга соответствует максимальная антибиотическая активность

The results of comparing the antibiotic activity of the studied strains against R. stolonifer and against Mucor sp.; the numbers along the axes show the strain's rank in terms of antibiotic activity against the corresponding fungus; the minimum value of the rank corresponds to the maximum antibiotic activity

Штамм RSA9 представлен подвижными палочковидными клетками, способными к образованию спор (эндоспор). В молодой культуре размер клеток 102,4–253,3 × 13,9–17,0 мкм, склонны к образованию цепочек. В зрелой культуре клетки 25,0–83,6 × 11,4–17,0 мкм, одиночные и в парах. Эндоспоры овальные, 16,8–26,4 × 9,6–12,9 мкм, образуются субтерминально; при образовании эндоспоры форма клетки не меняется. Прорастание эндоспоры латеральное (рис. 4).

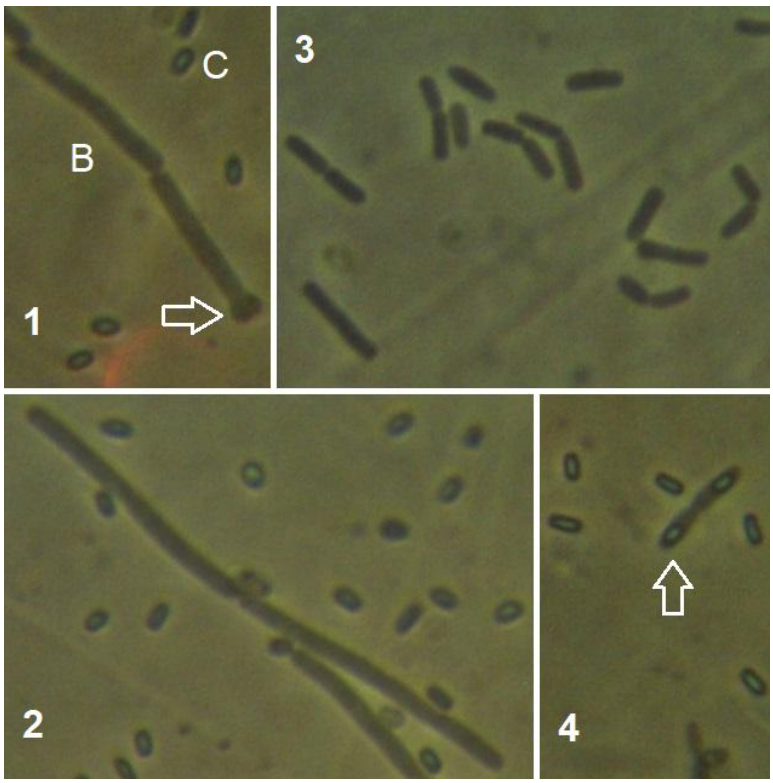

Рис. 4. Штамм RSA9: 1 – прорастание споры (С – спора, В – вегетативная клетка, прорастающая спора показана стрелкой); 2 – клетки в молодой культуре; 3 – клетки в зрелой культуре; 4 – спорулирующие клетки (показаны стрелкой)

Strain RSA9: 1 – spore germination (C – spore, B – vegetative cell, spore germination is shown by arrow); 2 – cells in young culture; 3 – cells in mature culture; 4 – sporulating cells (shown by arrow)

Методом MALDI-TOF масс-спектрометрии штамм идентифицирован как представитель вида *Bacillus atrophaeus* (см. табл. 1). Следует отметить, что другие штаммы того же вида проявили существенно более слабый антагонизм в отношении *R. stolonifer*. Площадь колоний гриба в присутствии этих штаммов варьировала от 20,9 % (штамм RSA1) до 62,4 % (RSA16(2)) от контрольного варианта (см. рис. 2), статистическая значимость различий между штаммами *B. atrophaeus* по антибиотической активности в отношении *R. stolonifer* составила $p < 0,001$.

Заключение. Из 21 штамма сем. *Bacillaceae*, продемонстрировавших в предыдущих исследованиях антагонизм в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Sclerotinia sclerotiorum*, *Geotrichum candidum*, а также в отношении возбудителей плесневения семян р.р. *Aspergillus, Penicillium* и *Mucor*, лишь 1 штамм (RSA9, идентифицированный как представитель вида *B. atrophaeus*) показал высокую антибиотическую активность в отношении гриба *R. stolonifer*. Это проявилось в снижении площади колонии *R. stolonifer* в присутствии данного штамма на 92 % относительно контрольного варианта. Еще 16 штаммов показали слабую либо умеренную антибиотическую активность (снижение площади колоний гриба на 29,1–79,1 %), 4 штамма не показали антибиотической активности в отношении *R. stolonifer*. Не выявлено корреляции между антибиотической активностью изучаемых штаммов в отношении *R. stolonifer* и таксономически близкого представителя р. *Mucor*. Полученные результаты говорят о том, что для поиска бактерий-антагонистов, активных в отношении *R. stolonifer*, необходимо дополнительное тестирование штаммов даже в том случае, если они проявили антибиотическую активность в отношении близкородственных зигомицетов. В качестве практической рекомендации штамм *B. atrophaeus* RSA9 можно предложить в качестве агента для биологического метода борьбы с *R. stolonifer*.

Список источников

1. *Baggio J.S., Hau B., Amorim L.* Spatiotemporal analyses of rhizopus rot progress in peach fruit inoculated with *Rhizopus stolonifer. Plant Pathology*. 2017;66(9):1452-1462. https://doi.org/10.1111/ppa.12691.
2. *Feliziani E., Romanazzi G.* Postharvest Decay of Strawberry Fruit: Etiology, Epidemiology, and Disease Management. *Journal of Berry Research*. 2016;6(1):47-63. https://doi.org/10.3233/JBR-150113.
3. *Liu Q., Chen Q., Liu H.*, et al. *Rhizopus stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review. *Heliyon*. 2024;10(8). URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29522.
4. *Abdel-Mallek A.Y.* Seed-borne fungi of five cruciferous vegetables and relative efficacy of aqueous seed extracts against some associated fungi. *Folia microbiologica*. 1995;40:493-498. https://doi.org/10.1007/BF02814730.
5. *Anwar S.A., Riaz S., Ahmad C.A.*, et al. Mycoflora associated with stored seeds of soybean. *Mycopathologia*. 2013;11(2):85-90.
6. *Adongo B.A., Kwoseh C.K., Moses E.* Storage rot fungi and seed-borne pathogens of onion // *Journal of Science and Technology (Ghana)*. 2015;35(2):13-21. https://doi.org/10.4314/just.v35i2.2.
7. *Khatun A., Shamsi S.* Interrelationship Among Seed Quality Parameters and Fungi Associated with Seeds of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). *Bioresearch Communications-(BRC)*. 2022;8(1):1061-1067. https://doi.org/10.3329/brc.v8i1.57045. EDN: WRPUFG.
8. *Холод Н.А.* Болезни земляники на юге России // Защита и карантин растений. 2013. № 10. С. 28–30. EDN: RCJTNT.
9. *Lin C.P., Tsai N., Ann P.J.,* et al. First report of rhizopus rot of straw-berry fruit caused by *Rhizopus stolonifer* in Taiwan. *Plant Disease.* 2017;101(1):254-255. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-16-1033-PDN.
10. *Qing F., Shiping T.* Postharvest biological control of *Rhizopus* rot of nectarine fruits by *Pichia membranefaciens. Plant disease*. 2000;84(11):1212-1216. https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.11.1212.
11. *Bonaterra A., Mari M., Casalini L.*, et al. Biological control of *Monilinia laxa* and *Rhizopus stolonifer* in postharvest of stone fruit by *Pantoea agglomerans* EPS125 and putative mechanisms of antagonism. *International journal of food microbiology*. 2003;84(1):93-104. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00403-8.
12. *Chávez-Díaza I.F., Angoa-Péreza V., López-Díaza S.*, et al. Antagonistic bacteria with potential for biocontrol on *Rhizopus stolonifer* obtained from blackberry fruits. *Fruits*. 2014;69(1):41-46. https://doi.org/10.1051/fruits/2013101.
13. *El Arbi B., El Idrissi S.B.S., Issam M.K.*, et al. Screening of Actinomycete Bacteria Producing Antifungal Metabolites which Could be Used in Biological Control Against a Phytopathogenic Fungus (*Rhizopus Stolonifer*). *American Journal of Biology and Life Sciences*. 2014;2(4):84-89.
14. *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;36(4):266-269. https://doi.org/10.4489/MYCO.2008.36.4.266.

References

1. Baggio JS, Hau B, Amorim L. Spatiotemporal analyses of rhizopus rot progress in peach fruit inoculated with *Rhizopus stolonifer. Plant Pathology*. 2017;66(9):1452-1462. https://doi.org/10.1111/ppa.12691.
2. Feliziani E, Romanazzi G. Postharvest Decay of Strawberry Fruit: Etiology, Epidemiology, and Disease Management. *Journal of Berry Research*. 2016;6(1):47-63. https://doi.org/10.3233/JBR-150113.
3. Liu Q, Chen Q, Liu H, et al. *Rhizopus stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review. *Heliyon*. 2024;10(8). URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29522.
4. Abdel-Mallek AY. Seed-borne fungi of five cruciferous vegetables and relative efficacy of aqueous seed extracts against some associated fungi. *Folia microbiologica*. 1995;40:493-498. https://doi.org/10.1007/BF02814730.
5. Anwar SA, Riaz S, Ahmad CA, et al. Mycoflora associated with stored seeds of soybean. *Mycopathologia*. 2013;11(2):85-90.

6. Adongo BA, Kwoseh CK, Moses E. Storage rot fungi and seed-borne pathogens of onion // *Journal of Science and Technology (Ghana)*. 2015;35(2):13-21. https://doi.org/10.4314/just.v35i2.2.
7. Khatun A, Shamsi S. Interrelationship Among Seed Quality Parameters and Fungi Associated with Seeds of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). *Bioresearch Communications-(BRC)*. 2022;8(1):1061-1067. https://doi.org/10.3329/brc.v8i1.57045 EDN: WRPUFG.
8. Holod NA. Diseases of strawberries in the south of Russia. *Zashchita i karantin rastenij*. 2013;(10);28-30. (In Rus.). EDN: RCJTNT.
9. Lin CP, Tsai N, Ann PJ, et al. First report of rhizopus rot of straw-berry fruit caused by *Rhizopus stolonifer* in Taiwan. *Plant Disease.* 2017;101(1):254-255. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-16-1033-PDN.
10. Qing F, Shiping T. Postharvest biological control of *Rhizopus* rot of nectarine fruits by *Pichia membranefaciens. Plant disease*. 2000;84(11):1212-1216. https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.11.1212.
11. Bonaterra A, Mari M, Casalini L, et al. Biological control of *Monilinia laxa* and *Rhizopus stolonifer* in postharvest of stone fruit by *Pantoea agglomerans* EPS125 and putative mechanisms of antagonism. *International journal of food microbiology*. 2003;84(1):93-104. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00403-8.
12. Chávez-Díaza IF, Angoa-Péreza V, López-Díaza S, et al. Antagonistic bacteria with potential for biocontrol on *Rhizopus stolonifer* obtained from blackberry fruits. *Fruits*. 2014;69(1):41-46. https://doi.org/10.1051/fruits/2013101.
13. El Arbi B, El Idrissi SBS, Issam MK, et al. Screening of Actinomycete Bacteria Producing Antifungal Metabolites which Could be Used in Biological Control Against a Phytopathogenic Fungus (*Rhizopus Stolonifer*). *American Journal of Biology and Life Sciences*. 2014;2(4):84-89.
14. Kim WG, Weon HY, Seok SJ, et al. In vitro antagonistic characteristics of bacilli isolates against *Trichoderma* spp. and three species of mushrooms. *Mycobiology*. 2008;36(4):266-269. https://doi.org/10.4489/MYCO.2008.36.4.266.

Статья принята к публикации 11.09.2024 / The article accepted for publication 11.09.2024.

Информация об авторах:

Иван Павлович Мучкин[1], аспирант кафедры экологии и природопользования ИАЭТ
Полина Александровна Аболенцева[2], научный сотрудник межкафедральной научно-инновационной лаборатории сельскохозяйственной и экологической биотехнологии ИАЭТ
Софья Владимировна Овсянкина[3], заведующая межкафедральной научно-инновационной лабораторией сельскохозяйственной и экологической биотехнологии ИАЭТ, кандидат биологических наук
Сергей Витальевич Хижняк[4], профессор кафедры экологии и природопользования ИАЭТ, доктор биологических наук, доцент

Information about the authors:

Ivan Pavlovich Muchkin[1], Postgraduate student at the Department of Ecology and Nature Management of the IAET
Polina Aleksandrovna Abolentseva[2], Researcher at the Interdepartmental Scientific and Innovative Laboratory of Agricultural and Environmental Biotechnology of the IAET
Sofia Vladimirovna Ovsyankina[3], Head of the Interdepartmental Scientific and Innovative Laboratory of Agricultural and Environmental Biotechnology of the IAET, Candidate of Biological Sciences
Sergey Vitalievich Khizhnyak[4], Professor at the Department of Ecology and Nature Management of the IAET, Doctor of Biological Sciences, Docent