



Научная статья
УДК 632.937.01: 576.895
doi: 10.55186/25876740_2025_68_7_963

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ БАКТЕРИЙ (*XENORHABDUS* SPP.) ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ НЕМАТОД ПРОТИВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАРТОФЕЛЯ (*PHYTOPHTHORA INFESTANS* И *RHIZOCTONIA SOLANI*)

З.П. Котова, Л.Г. Данилов

Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем
продовольственного обеспечения — обособленное структурное подразделение
Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

Аннотация. В 2024-2025 гг. были изучены возможности использования бактерий *Xenorhabdus* spp., симбионтов энтомопатогенных нематод (ЭПН) семейства *Steinernematidae* против возбудителей заболеваний картофеля. В результате проведенной сравнительной оценки были определены штаммы симбиотических бактерий, обладающие наибольшей антибиотической активностью против тестируемых видов фитопатогенов картофеля — *Phytophthora infestans* и *Rhizoctonia solani*. Наибольшей активностью в отношении *P. infestans* обладали штаммы *Xenorhabdus bovienii* 5СПГ и SRP18-91 — симбионты вида нематод *Steinernema feltiae*, 41 и 40% соответственно. В целом, оценка влияния штаммов симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus* на рост мицелия обоих патогенов продемонстрировала, что они подавляли рост мицелия *R. solani* на 8% более эффективно, чем рост мицелия *P. infestans*. В опытах *in vitro* лучшее сдерживание зоны роста *R. solani* на 3-й и 5-й дни учетов наблюдали у бактерий *Xenorhabdus nematophila* штамма «Псков-1» — симбионта нематод *Seinernema carpocapsae* штамм «agriotos». Наибольшую антибиотическую активность против *P. infestans* проявили штаммы *X. bovienii* (SRP18-91, № 42, Псков 15 и VII-погост) — симбионты нематод вида *S. feltia*. В результате лабораторной оценки эффективности различных штаммов симбиотических бактерий против возбудителей заболеваний картофеля определены перспективные штаммы симбиотических бактерий. Работу по изучению возможностей эффективного использования этих штаммов необходимо продолжать в полевых условиях.

Ключевые слова: природные популяции, симбиотические бактерии, энтомопатогенные нематоды, возбудители заболеваний картофеля, антибиотическая активность, биологическая эффективность

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда в рамках научного проекта № 24-26-20029.

Original article

EFFECTIVENESS OF USING SYMBIOTIC BACTERIA (*XENORHABDUS* SPP.) ENTOMAPATHOGENIC NEMATODES AGAINST POTATO DISEASE AGENTS (*PHYTOPHTHORA INFESTANS* AND *RHIZOCTONIA SOLANI*)

Z.P. Kotova, L.G. Danilov

North-West Center for Interdisciplinary Research on Food Security Problems —
a separate structural division of the St. Petersburg Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Pushkin, Russia

Abstract. The potential of using *Xenorhabdus* spp. bacteria, symbionts of entomopathogenic nematodes (EPN) of the *Steinernematidae* family, against potato pathogens was studied. A comparative evaluation revealed the strains of symbiotic bacteria with the highest antibiotic activity against the tested potato phytopathogens, *Phytophthora infestans* and *Rhizoctonia solani*. *Xenorhabdus bovienii* strains 5SPG and SRP18-91, symbionts of the nematode species *Steinernema feltiae*, demonstrated the highest activity against *P. infestans*: 41% and 40%, respectively. Overall, evaluation of the effect of symbiotic bacterial strains of the genus *Xenorhabdus* on the mycelial growth of both pathogens demonstrated that they inhibited the mycelial growth of *R. solani* by 8% more effectively than the mycelial growth of *P. infestans*. In vitro experiments showed the best inhibition of the *R. solani* growth zone on days 3 and 5 of counting in *Xenorhabdus nematophila* strain «Pskov-1», a symbiont of the nematode *Seinernema carpocapsae* strain «agriotos». The highest antibiotic activity against *P. infestans* was demonstrated by *X. bovienii* strains (SRP18-91, No. 42, Pskov 15 and VII-pogost), symbionts of the nematode species *S. feltia*. As a result of laboratory evaluation of the effectiveness of various strains of symbiotic bacteria against potato pathogens, promising strains of symbiotic bacteria were identified. Work on studying the possibilities of effective use of these strains should be continued in the field.

Keywords: natural populations, symbiotic bacteria, entomopathogenic nematodes, pathogens of potato diseases, antibiotic activity, biological efficiency

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the St. Petersburg Science Foundation within the framework of scientific project No. 24-26-20029.

Фитопатогены представляют серьезную угрозу сельскому хозяйству во всем мире. В условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства, одним из перспективных подходов для подавления или уничтожения вредных для растений вредителей и возбудителей заболеваний, является применение живых организмов [1-3]. К числу таких перспективных биологических объектов

относятся и бактерии *Xenorhabdus* spp. (*Achromobacteriaceae*: *Eubacteriales*) — симбионты энтомопатогенных нематод (ЭПН) рода *Steinernema* (*Rhabditida*: *Steinernematidae*), которые являются эффективными биологическими агентами в борьбе против возбудителей заболеваний и контроля численности насекомых-вредителей растений [4, 5]. Длительное время считалось, что основной средой обитания бактерий рода

Xenorhabdus являются внутренности тела инвазионных личинок нематод или тела насекомых, зараженных энтомопатогенными нематодами [6]. Но по результатам дальнейших исследований было установлено, что симбиотические бактерии некоторое время способны к выживанию, как на листьях, так и в почве. После обработки почвы водной суспензией симбиотических бактерий через некоторое время живых



бактерий извлекали из трупов куколок насекомых, находящихся в почве. Таким образом, было установлено, что бактериальные клетки могли активно проникнуть в тело куколок только через дыхальце, открытое для связи насекомого с внешней средой. Было также установлено, что жизнеспособность клеток *X. nematophila* сохраняется в течение пяти месяцев после их внесения в почву [7]. В гемоцели насекомых наблюдается быстрая пролиферация бактерий с последующим синтезом разнообразных метаболитов. Обнаружение в продуктах метаболизма симбиотических бактерий *Xenorhabdus* spp. вторичных метаболитов, обладающих антибиотической активностью, предполагает их потенциальное использование в качестве биологических агентов для контроля популяций насекомых-вредителей и патогенов растений [8]. В качестве перспективного направления рассматривается применение как жизнеспособных, так и инактивированных (автоклавированных) культур симбиотических бактерий [9]. Особую значимость приобретает способность этих бактерий выступать в роли биоконтролирующих агентов против возбудителей заболеваний растений [10, 3]. В последние годы отмечается рост вредоносности фитопатогенных заболеваний картофеля, обусловленных меняющимися климатическими условиями, сменой ассортимента выращиваемых сортов картофеля. Наиболее вредоносными патогенами картофеля, являясь возбудитель фитофтороза *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary и ризоктониоза — *Rhizoctonia solani* Kühn [11-13]. В настоящее время не существует полностью эффективных методов борьбы с этими заболеваниями, но есть меры, позволяющие снизить их тяжесть [12, 14]. В связи с этим, проведение исследований по отбору видов и штаммов симбиотических бактерий из природных популяций энтомопатогенных нематод в качестве биологических средств защиты от комплекса патогенов на картофеле, с целью повышения эффективности его производства остается актуальной задачей.

Материалы и методы. Для изучения симбиотических бактерий ранее были отобраны штаммы энтомопатогенных нематод (ЭПН), выделенные из природных популяций, и коллекционные образцы, собранные в садах следующих географических локациях: Республика Коми, Республика Беларусь, Республика Саха (Якутия), Псковская и Ленинградская области (табл.1).

Отбор перспективных штаммов симбиотических бактерий, обладающих потенциалом для контроля фитопатогенов картофеля, был выполнен согласно разработанной нами методике в 2024-2025 гг. Данная методика предусматривает следующие ключевые этапы. Изоляция бактериальных симбионтов осуществлялась из организмов гусениц *Galleria mellonella*, экспериментально инфицированных различными изолятами энтомопатогенных нематод. Предварительная подготовка исследуемого материала включала дезинфекцию гусениц в 70% растворе этанола (2 минуты) с последующей экспозицией в условиях ламинарного воздушного потока (3 минуты) [12].

Процесс выделения симбиотических бактерий начинался с забора гемолимфы из ложноножек гусениц. Полученные образцы наносились на питательную среду NBTA, приготовленную из следующих компонентов: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (0,5 г), K_2HPO_4 (0,5 г), $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (0,2 г), NaCl (5 г), дрожжевой экстракт (5 г), агар (12 г), вода (1 л),

с добавлением бромтимолового синего (25 мг) и диметилтетразолиум хлорида (40 мг). Инкубация проводилась при температуре 26°C на протяжении 72 часов. На следующем этапе отбирались колонии симбиотических бактерий, имеющие однородную зеленую окраску. Первоначальная идентификация выделенных бактерий осуществлялась с использованием метода Аккорста. Затем чистые колонии высевались на косяки со средой NBTA и культивировались в течение 3-4 дней при 26°C. После этого бактериальная биомасса с косяков собиралась и переносилась в колбы, содержащие 100 мл питательного бульона. Культивирование в бульоне проводилось на качалке при 26°C в течение 2 суток [5].

Патогены *P. infestans* и *R. solani* культивировали на соответствующих питательных средах (овсяный агар для *P. infestans* и агаризованная среда Чапека для *R. solani*) в чашках Петри при температуре 25°C на протяжении 5-7 дней. Для изучения влияния симбиотических бактерий на рост патогенов, готовилась среда NBTA,

к которой добавлялся бактериальный бульон (с концентрацией 1×10^9) в соотношении 9:1. Полученная смесь разливалась по чашкам Петри. Затем в центр каждой чашки с NBTA, содержащей симбиотические бактерии, помещался диск мицелия (0,9 × 0,9 см) каждого патогена, предварительно выращенного на среде Чапека. В качестве контроля использовалась среда NBTA без добавления бактерий. Все экспериментальные группы и контроль были выполнены повторно четыре раза. Инкубация чашек проводилась при 25°C. Антибиотическая активность бактерий оценивалась на 5-е и 7-е сутки путем измерения диаметра зоны, где подавлялся рост патогена.

Анализ данных проводился в Statistica 10 (StatSoft, Inc., США). Рассчитаны М и ±SEM. Определена НСР (граница случайных отклонений при $p < 0.05$).

Результаты исследований и обсуждений. Сравнительная оценка антибиотической активности симбиотических бактерий показала, что штаммы бактерий, используемые в опытах, в основном ингибировали рост мицелия патогенов.

Таблица 1. Штаммы симбиотических бактерий, обнаруженные в составе природных популяций энтомопатогенных нематод

Table 1. Strains of symbiotic bacteria found in natural populations of entomopathogenic nematodes

№ штамма симбиотических бактерий	Название изолята нематод	Место выделения нематод
1.	<i>Steinernema feltia</i> (SRP18-91)	п. Пушкинские Горы, Псковская обл., РФ
2.	5 — СПГ	п. Пушкинские Горы, Псковская обл., РФ
3.	<i>S. carpocapsae</i> штамм «agriotos»	с. Погост, Ленинградская обл., РФ
4.	L — 2	п. Пушкинские Горы, Псковская обл., РФ
5.	Бел-2	Республика Беларусь
6.	№ 12	с. Погост, Ленинградская обл., РФ
7.	Псков 1	п. Пушкинские Горы, Псковская обл., РФ
8.	Бел-3	Республика Беларусь
9.	№ 42	Республика Коми, РФ
10.	<i>Steinernema feltiae</i> protense	Республика Саха-Якутия, РФ
11.	Псков 15	п. Пушкинские Горы, Псковская обл., РФ
12.	№ 51	Республика Коми, РФ
13.	№ 1	п. Пушкинские Горы, Псковская обл., РФ
14.	№ 20	с. Погост, Ленинградская обл., РФ
15.	VII-погост	с. Погост, Ленинградская обл., РФ

Таблица 2. Антибиотическая активность *Xenorhabdus* spp. против патогенов

Table 2. Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp. against pathogens

№ штамма симбиотических бактерий	<i>Rhizoctonia solani</i>		<i>Phytophthora infestans</i>		
	3-и сутки	5-е сутки	3-и сутки	5-е сутки	7-е сутки
1.	20.0±0.50	23.5±0.50	10.2±0.29	14.2±2.36	14.7±2.36
2.	21.2±0.76	25.8±1.04	13.5±1.32	15.0±2.78	20.5±2.78
3.	11.5±1.00	14.3±1.26	11.2±0.76	18.3±2.47	29.2±2.47
4.	19.6±0.76	23.0±1.32	10.7±0.76	17.7±0.76	27.3±0.76
5.	15.3±0.29	34.2±1.44	15.3±0.76	21.8±2.78	28.0±2.78
6.	64.3±4.07	83.5±2.78	20.8±1.26	28.5±2.60	37.5±2.60
7.	13.8±3.62	24.2±1.76	13.5±2.18	16.8±1.73	24.0±1.73
8.	17.0±0.87	23.0±2.18	11.0±0.00	19.5±0.29	25.7±0.29
9.	44.6±0.29	52.7±3.40	14.7±1.26	14.7±1.53	14.8±1.53
10.	20.0±0.87	23.8±0.58	15.0±1.50	19.0±5.63	24.0±5.63
11.	20.5±0.87	24.9±1.63	13.5±1.00	14.7±1.89	14.7±1.89
12.	17.6±1.04	26.5±4.77	14.7±0.58	22.8±0.29	34.3±0.29
13.	64.6±0.58	86.0±1.50	14.3±2.02	23.2±1.26	30.3±1.26
14.	16.8±0.29	22.5±0.50	13.3±1.26	17.2±0.76	24.7±0.76
15.	17.8±1.89	22.7±1.61	10.7±0.58	15.5±0.76	16.2±0.76
16. Контроль	25.6±0.99	42.9±0.07	17.2±0.29	24.2±0.00	30.5±0.00
НСР ₀₅	2.6	3.26	1.86	2,82	3.6



Наибольшей ингибирующей активностью по отношению к *R. solani* обладали штаммы *X. nematophila* — № 3 и *X. bovienii* — № 7 (табл. 2).

При этом, лучшее сдерживание зоны роста гриба *R. solani* на 3-й и 5-й дни учетов отмечено у штаммов *X. nematophila* — «Псков 1» — 11.5 ± 1.00 , 14.3 ± 1.26 мм и 13.8 ± 3.62 , 24.2 ± 1.76 мм, соответственно (рис. 1).

Наибольшую антибиотическую активность против *P. infestans* проявили штаммы *X. bovienii* — SRP18-91-№ 1, № 42-№ 9, Псков 15-№ 9 и VII-погост-№ 15 зоны роста патогена и на 7-й день составляли 14.7 ± 2.36 , 14.8 ± 1.53 , 14.7 ± 1.89 и 16.2 ± 0.76 мм, соответственно (рис. 2). В результате проведенных нами ранее исследований в отношении патогенов заболеваний растений — *Fusarium culmorum*, *Fusarium solani* и *Alternaria solani* было установлено, что наибольшей антибиотической активностью при температуре 20° С обладал штамм бактерий-симбионтов *X. bovienii* симбионт нематод вида *S. feltiae protense*.

Для оценки фунгицидной активности симбиотических бактерий против фитофторы и альтернарии, являющихся одними из наиболее вредоносных грибковых инфекций, использовался показатель биологической эффективности. Как демонстрирует рисунок 3, штаммы *X. bovienii* показали высокую биологическую эффективность в борьбе с *R. solani*, с показателями от 29% (изолат СПГ-5, № 2) до 61%. При этом три из исследованных штаммов *X. bovienii* (№ 1, № 12 и № 42) не продемонстрировали фунгицидных свойств в отношении данного патогена.

Штаммы бактерий *Xenorhabdus* продемонстрировали различную степень биологической эффективности против *R. infestans*. Наилучшие результаты показали штаммы *X. bovienii* «SRP18-91», «VII-погост» и «Псков 15», с показателями биологической эффективности 46%, 41% и 40% соответственно. В то же время штаммы «№ 1» и «Бел-2» продемонстрировали лишь незначительную активность (5-9%), а штаммы «№ 12» и «№ 51» оказались неэффективными. Другими авторами схожие закономерности были выявлены при оценке антагонистической активности гриба *Metarhizium anisopliae* в отношении фитопатогенов *Didymella applanata*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* и *R. solani* [15].

Заключение. В рамках проведенных исследований была изучена антагонистическая активность симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus* в отношении фитопатогенов *R. solani* и *P. infestans* и проведенные исследования выявили их потенциал в борьбе с этими возбудителями болезней картофеля. При оптимальной температуре 25°С, штамм *X. nematophila* «Псков 1» продемонстрировал максимальную ингибирующую активность против *R. solani* (61%), в то время как штаммы *X. bovienii* «Погост-61», «Погост-48» и «Погост-41» показали эффективность на уровне 48%, 41% и 40% соответственно. Наиболее выраженная активность против *P. infestans* была отмечена у штаммов SRP18-91 (46%), «Погост-VII» (41%) и «Псков 15» (40%). По итогам лабораторной оценки симбиотических бактерий *Xenorhabdus spp.* были определены приоритетные направления для дальнейших исследований, направленных на оценку потенциала наиболее эффективных штаммов в качестве биологического средства защиты картофеля от фитопатогенов в полевых условиях.

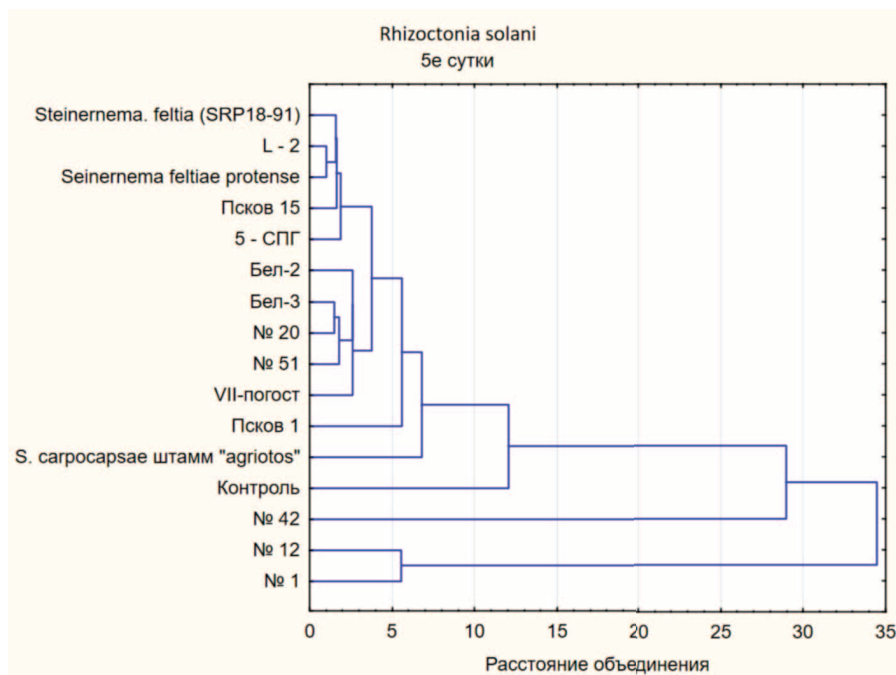


Рисунок 1. Дендрограмма объединения изолятов симбиотических бактерий по антибиотической активности против *Rhizoctonia solani* (5-е сутки)

Figure 1. Dendrogram of the association of symbiotic bacterial isolates by antibiotic activity against *Rhizoctonia solani* (5th day)

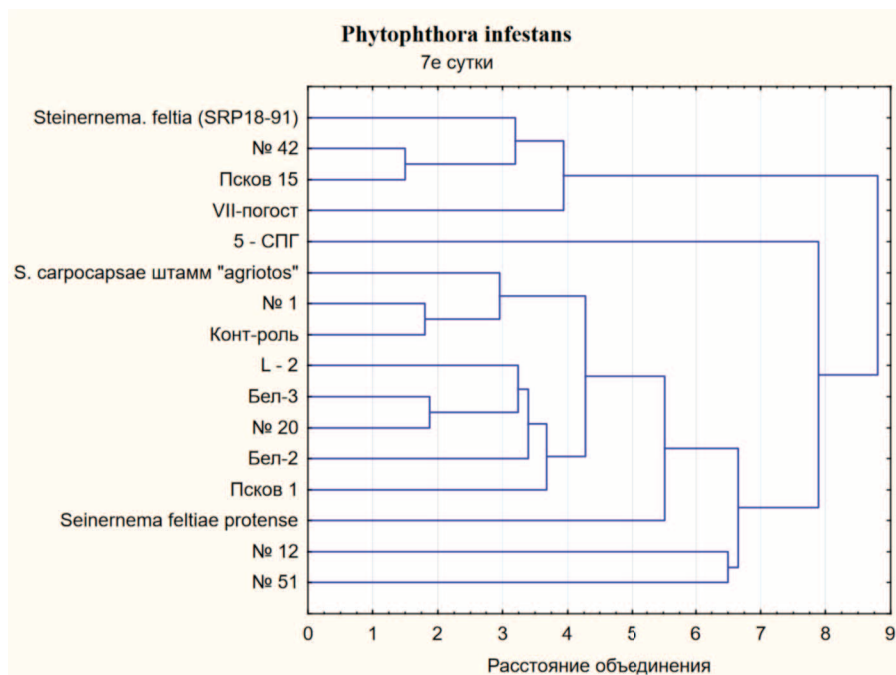


Рисунок 2. Дендрограмма объединения изолятов симбиотических бактерий по антибиотической активности против *Phytophthora infestans* (7-е сутки)

Figure 2. Dendrogram of the association of symbiotic bacterial isolates by antibiotic activity against *Phytophthora infestans* (7th day)

Список источников

- Захаренко В.А. Биотехнологии и защита растений // Защита и карантин растений. 2015. № 11. С. 3-6.
- Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. №. 3. С. 421-438. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus.
- Ayaz M., Li C.H., Ali Q. et al. Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from

Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Molecules*. 2023. vol. 28. no. 18. Pp. 6735. DOI: 10.3390/molecules28186735.

4. Tomar P., Thakur N., Yadav A.N. Endosymbiotic microbes from entomopathogenic nematode (EPNs) and their applications as biocontrol agents for agro-environmental sustainability // *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2022. Vol. 32. Pp. 80. DOI: 10.1186/s41938-022-00579-7.

5. Poinar G.O. Jr. Nematodes for Biological Control of Insects, Boca Raton, Florida: C.R.C. Press; 1979. 289 p. DOI: 10.1201/9781351074957.



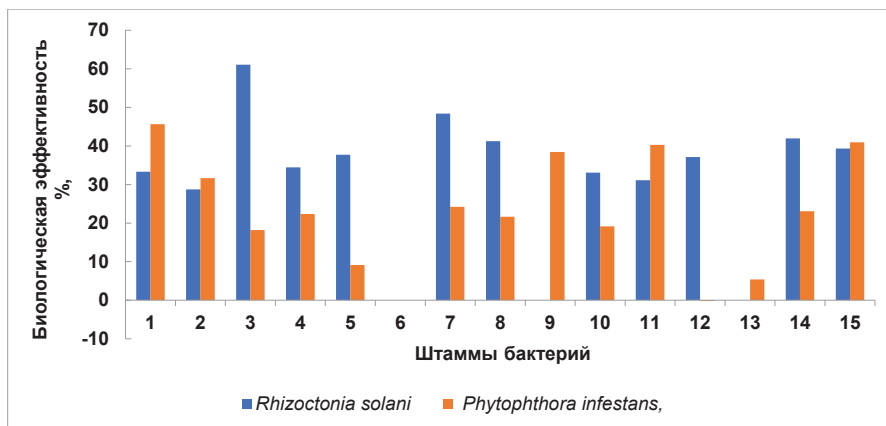


Рисунок 3. Биологическая эффективность штаммов симбиотических бактерий *Xenorhabdus* spp. против возбудителей заболеваний картофеля

Figure 3. Biological efficacy of symbiotic bacterial strains *Xenorhabdus* spp. against potato pathogens

6. Morgan J.A.W., Kuntzelmann V., Tavernor S.M. et al. Survival of *Xenorhabdus nematophilus* and *Photorhabdus luminescens* in water and soil. *J Appl. Microbiol.* 1997. Vol. 83. Pp. 665-70.

7. Dreyer J., Malan A.P., Dicks L.M.T. Bacteria of the Genus *Xenorhabdus*, a Novel Source of Bioactive Compounds. *Front. Microbiol.* 2018. Vol. 9. Pp. 3177. DOI: 10.3389/fmicb.2018.03177.

8. Akhurst R.J. Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp., bacteria symbiotically associated with insect pathogenic nematodes of the families *Heterorhabditidae* and *Steinernematidae*. *J Gen Microbiol.* 1982. Vol. 128. no. 12. Pp. 3061-3065. DOI: 10.1099/00221287-128-12-3061.

9. Хайруллин Р.М., Сорокань А.В., Габдрахманова В.Ф. и др. Перспективные свойства *Bacillus thuringiensis* и направления их использования для защиты растений // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 4. С. 337-354. DOI: 10.31857/S0555109923040074.

10. Lacey L.A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D.I. et al. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology.* 2015. Vol. 132. Pp.1-41. DOI: 10.1016/j.jip.2015.07.009.

11. Еланский С.Н., Кокаева Л.Ю., Стацюк Н.В. и др. Структура и динамика популяций *Phytophthora infestans* — возбудителя фитофтороза картофеля и томата // Защита картофеля. 2017. № 3. С. 3-44. http://www.kartofel.org/zakart/3_2017.pdf.

12. Белов Д.А., Хутти А.В. Современные фитопатогенные комплексы болезней картофеля и меры по предотвращению их распространения в России // Картофель и овощи. 2022. № 5. С. 18-24.

13. Чеботарь В.К., Заплаткин А.Н., Балакина С.В. и др. Урожайность и поражаемость картофеля ризоктониозом и фитофторозом под влиянием эндофитных бактерий *Bacillus thuringiensis* W65 и *Bacillus amyloliquefaciens* P20 // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 3.

C. 429-446. <http://agrobiology.ru/articles/3-2023chebotar-rus.pdf>.

14. Пильщикова Н.С., Ганнибал Ф.Б. Современная систематика грибов рода *Rhizoctonia* sensu lato // Микология и фитопатология. 2016. Т. 50. № 2. С. 75-88. DOI: 10.31857/S0026364821060052.

15. Леляк А.А., Шпатова Т.В., Штерншис М.В. Фунгицидные свойства энтомопатогенного гриба *Metarhizium anisopliae* // Защита и карантин растений. 2014. № 4. С. 21-23.

References

- Zakharenko V.A. (2015). *Biotechnologii i zashchita rastenii* [Biotechnology and plant protection]. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine], no. 11. pp. 3-6.
- Pavlyusin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V. (2020). *Mikrobiologicheskaya zashchita rastenii v tekhnologiyakh fitosanitarnoi optimizatsii agroekosistem: teoriya i praktika (obzor)* [Microbiological control in phytosanitary optimization technologies for agroecosystems: research and practice (review)]. *Selskokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], vol. 55, no. 3, pp. 421-438. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus.
- Ayaz M., Li C.H., Ali Q. et al. (2023). Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Molecules*, vol. 28, no. 18, pp. 6735. DOI: 10.3390/molecules28186735.
- Tomar P., Thakur N., Yadav A.N. (2022). Endosymbiotic microbes from entomopathogenic nematode (EPNs) and their applications as biocontrol agents for agro-environmental sustainability. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, vol. 32, pp. 80. DOI: 10.1186/s41938-022-00579-7.
- Poinar G.O. Jr. (1979). *Nematodes for Biological Control of Insects*, Boca Raton, Florida: C.R.C. Press. 289 p. DOI: 10.1201/9781351074957

6. Morgan J.A.W., Kuntzelmann V., Tavernor S.M. et al. (1997). Survival of *Xenorhabdus nematophilus* and *Photorhabdus luminescens* in water and soil. *J Appl. Microbiol.* vol. 83. pp. 665-70.

7. Dreyer J., Malan A.P., Dicks L.M.T. (2018). Bacteria of the Genus *Xenorhabdus*, a Novel Source of Bioactive Compounds. *Front. Microbiol.* vol. 9, pp. 3177. DOI: 10.3389/fmicb.2018.03177.

8. Akhurst R.J. (1982). Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp., bacteria symbiotically associated with insect pathogenic nematodes of the families *Heterorhabditidae* and *Steinernematidae*. *J Gen Microbiol.* vol. 128, no. 12, pp. 3061-3065. DOI: 10.1099/00221287-128-12-3061.

9. Khairullin R.M., Sorokana A.V., Gabdrakhmanova V.F. et al. (2023). *Perspektivnye svoystva Bacillus thuringiensis i napravleniya ikh ispol'zovaniya dlya zashchity rastenii* [Perspective Properties and the Directions of Bacillus thuringiensis Use for Plant Protection]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Mycology and phytopathology], vol. 59, no. 4, pp. 337-354. DOI: 10.31857/S0555109923040074.

10. Lacey L.A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D.I. et al. (2015) Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *J of Invertebrate Pathology.* vol. 132. pp.1-41. DOI: 10.1016/j.jip.2015.07.009.

11. Elansky S.N., Kokaeva L.Yu., Statsyuk N.V. et al. (2017). *Struktura i dinamika populyatsii Phytophthora infestans — vozбудitelya fitoflorozo kartofelya i tomata* [The structure and dynamics of *Phytophthora infestans* populations, the causative agent of late blight in potatoes and tomatoes]. *Zashchita kartofelya* [Potato protection], vol. 3, pp. 3-44. http://www.kartofel.org/zakart/3_2017.pdf.

12. Belov D.A., Khutti A.V. (2022). *Sovremennyye fitopatogennyye komplekсы boleznei kartofelya i mery po predotvrashcheniyu ikh rasprostraneniya v Rossii* [Modern phytopathogenic complexes of potato diseases and measures to prevent their spread in Russia]. *Kartofel' i ovoshchi*. [Potatoes and vegetables], vol. 5, pp. 18-24.

13. Chebotar V.K., Zaplatkin A.N., Balakina S.V. et al. (2023). *Urozhainost' i porazhaemost' kartofelya rizoktoniozom i fitoflorozom pod vliyaniem ehndofitnykh bakterii Bacillus thuringiensis W65 i Bacillus amyloliquefaciens R20* [Potato yield and susceptibility to rhizoctoniosis and late blight under the influence of endophytic bacteria *Bacillus thuringiensis* W65 and *Bacillus amyloliquefaciens* P20]. *Selskokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], vol. 58, no. 3, pp. 429-446. <http://agrobiology.ru/articles/3-2023chebotar-rus.pdf>.

14. Pilshchikova N.S., Hannibal F.B. (2016). *Sovremennaya sistematika gribov roda Rhizoctonia sensu lato*. [Modern systematics of fungi of the genus *Rhizoctonia sensu lato*]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], vol. 50, no. 2, pp. 75-88. DOI: 10.31857/S0026364821060052.

15. Lelyak A.A., Shpatova T.V., Sternshis M.V. (2014). *Fungitsidnyye svoystva ehntomopatogennogo griba Metarhizium anisopliae* [Fungicidal properties of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*]. *Zashchita i karantin rastenii* [Protection and quarantine of plants], vol. 4, pp. 21-23.

Информация об авторах:

Котова Зинаида Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и растениеводства, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9770-0809>, zinaida_kotova@mail.ru

Данилов Леонид Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и растениеводства, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3623-1081>, biodanlg@mail.ru

Information about the author (authors):

Zinaida P. Kotova, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the department of agriculture and crop production, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9770-0809>, zinaida_kotova@mail.ru

Leonid G. Danilov, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the department of agriculture and crop production, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3623-1081>, biodanlg@mail.ru