



Научная статья  
 УДК 635.21:632.937.651  
 doi: 10.55186/25876740\_2024\_67\_6\_683

## СРАВНЕНИЕ АНТИБИОТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ *XENORHABDUS SPP.* В ОТНОШЕНИИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ГРИБНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ

З.П. Котова<sup>1</sup>, Л.Г. Данилов<sup>2</sup>, Т.А. Данилова<sup>1</sup>, О.А. Борщева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения — обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН, Санкт-Петербург, Россия  
<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** В настоящее время в системе защиты растений от насекомых вредителей и возбудителей заболеваний изучаются возможности использования бактерий *Xenorhabdus spp.* — симбионтов энтомопатогенных нематод (ЭПН) рода *Steinernema*. Особую ценность представляют продукты метаболизма симбиотических бактерий, обладающие широким спектром биологической активности, включая инсектицидную, противогрибковую и антибактериальную. Цель исследований — определить эффективность двух методов оценки (метод «агаровых блоков» и метод «лунок») антимикотической активности продуктов метаболизма видов и штаммов симбиотических бактерий для их дальнейшего практического использования. Исследования были проведены в 2023-2024 гг. на базе лаборатории микробиологической защиты растений Всероссийского института защиты растений. В качестве объектов исследования были взяты штаммы бактерий симбионтов энтомопатогенных нематод, на основе которых созданы и активно используются нематодные препараты, такие как Немабакт, Энтонем-Ф и Протонем. Результаты изучения антибиотической активности трех штаммов бактерий *Xenorhabdus* в отношении грибов *Fusarium culmorum* и *Alternaria solani* позволили установить, что зоны угнетения роста патогенов на поверхности питательной среды при использовании метода «агаровых блоков» значительно превышали таковые при использовании метода «лунок». Антимикотическая активность бактерий — симбионтов разных видов нематод в отношении грибов *F. culmorum* и *A. solani* значительно отличаются. Проведенные лабораторные исследования показали, что антимикотическая активность бактерий — симбионтов разных видов нематод в отношении грибов *F. culmorum* и *A. solani* значительно отличаются. В отношении *F. culmorum* наибольшую активность проявил штамм *X. nematophilus* — симбионт нематод вида *S. carpocapsae*. В отношении *A. solani* более активен был штамм бактерий *X. Bovienii* симбионт нематод вида *S. feltiae protense*. Во всех вариантах опыта метод «агаровых блоков» значительно превосходил по эффективности метод «лунок». Таким образом, полученные результаты могут быть использованы в практической работе при оценке антибиотической активности *Xenorhabdus spp.* в отношении широкого спектра возбудителей грибных заболеваний не только на картофеле, но и других сельскохозяйственных культурах.

**Ключевые слова:** симбиотические бактерии, энтомопатогенные нематоды, продукты метаболизма, антибиотическая активность, методы оценки

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-20029 и Санкт-Петербургского научного фонда.

Original article

## COMPARISON OF ANTIBIOTIC ACTIVITY OF *XENORHABDUS SPP.* AGAINST FUNGAL PLANT DISEASE AGENTS USING VARIOUS ASSESSMENT METHODS

Z.P. Kotova<sup>1</sup>, L.G. Danilov<sup>2</sup>, T.A. Danilova<sup>1</sup>, O.A. Borshcheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The North-Western Center for Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance, Saint-Petersburg, Russia  
<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Plant Protection, Russia

**Abstract.** Currently, the possibilities of using *Xenorhabdus spp.* bacteria — symbionts of entomopathogenic nematodes (EPN) of the genus *Steinernema* — are being studied in the system of plant protection against insect pests and pathogens. Of particular value are the metabolic products of symbiotic bacteria, which have a wide range of biological activity, including insecticidal, antifungal and antibacterial. The aim of the research is to determine the efficiency of two methods of evaluation (the «agar block» method and the «well» method) of antimycotic activity of metabolic products of species and strains of symbiotic bacteria for their further practical use. The studies were conducted in 2023-2024 at the laboratory of microbiological plant protection of the All-Russian Institute of Plant Protection. The objects of the study were strains of bacteria symbionts of entomopathogenic nematodes, on the basis of which nematode preparations such as Nemabact, Entonem-F and Protonem were created and actively used. The results of studying the antibiotic activity of three strains of *Xenorhabdus* bacteria against the fungi *Fusarium culmorum* and *Alternaria solani* made it possible to establish that the zones of inhibition of pathogen growth on the surface of the nutrient medium when using the «agar block» method significantly exceeded those when using the «well» method. Antifungal activity of bacteria — symbionts of different nematode species towards the fungi *F. culmorum* and *A. solani* differs significantly. Laboratory studies have shown that antifungal activity of bacteria — symbionts of different nematode species towards the fungi *F. culmorum* and *A. solani* differs significantly. The strain *X. nematophilus* — a symbiont of the nematode species *S. carpocapsae* — showed the greatest activity towards *F. culmorum*. The strain *X. Bovienii* — a symbiont of the nematode species *S. feltiae protense* — was more active towards *A. solani*. In all variants of the experiment, the «agar blocks» method was significantly more effective than the «wells» method. Thus, the obtained results can be used in practical work when assessing the antibiotic activity of *Xenorhabdus spp.* towards a wide range of pathogens of fungal diseases not only on potatoes, but also on other agricultural crops.

**Keywords:** symbiotic bacteria, entomopathogenic nematodes, metabolic products, antibiotic activity, assessment methods

**Acknowledgments:** the study was supported by grant No. 24-26-20029 from the Russian Science Foundation and the St. Petersburg Science Foundation.

Исследованиями установлено, что виды рода *Xenorhabdus* семейства *Enterobacteriaceae* мутуалистически связаны с энтомопатогенными нематодами рода *Steinernema* и являются грамтрицательными энтомопатогенными бактериями *Steinernema* [1, 2]. Ассоциация нематода и бактерия очень токсична для многих видов насекомых, и в большинстве случаев бактерии сами

по себе обладают высокой вирулентностью, когда они проникают в гемоцель насекомых [3]. При этом ассоциация нематода и бактерия очень токсична для многих видов насекомых и в большинстве случаев бактерии сами по себе обладают высокой вирулентностью, когда они проникают в гемоцель насекомых вместе с нематодами через естественные отверстия, такие

как рот, задний проход и дыхательные пути. Находясь в гемоцеле нематоды выпускают бактерии (путем дефекации) и начинают продуцировать соединения для подавления иммунной системы насекомого [4]. Такие соединения содержат несколько классов структурно разнообразных вторичных метаболитов с широким спектром биологической активности, включая



инсектицидную, противогрибковую, антибактериальную, нематоцидную [5]. Антимикробные соединения, вырабатываемые *Xenorhabdus* spp., не были исследованы в такой степени, как другие почвенные бактерии, и они могут дать ответ на вопрос о новых антибактериальных и противогрибковых соединениях [6]. Очевидно, что бактерии *Xenorhabdus* являются отличным источником новых антимикробных метаболитов. Многочисленными исследованиями был выявлен значительный потенциал этих биоактивных вторичных метаболитов не только *in vitro*, но и *in vivo* условиях [7-10]. Поэтому, не случайно, использование этих соединений рассматривается как перспективное направление в защите растений от вредителей и болезней в сельскохозяйственном производстве [11-14].

В настоящее время болезни растений представляют собой серьезную угрозу для производства продовольствия и, в частности, оомицеты и грибные заболевания являются основными проблемами для коммерческого производства овощей и фруктов. Наиболее распространенными возбудителями фитозаболеваний растений являются оомицеты из родов *Botrytis* и *Cochliobolus* и фузариозы (*Geotrichum*, *Penicillium*, *Sclerotinia*). Эти патогены контролируются главным образом химическими фунгицидами, большинство из которых высокотоксичны и является основным источником экологического загрязнения и экосистемы. В этой связи нами были проведены исследования и использованы современные эффективные методики по отбору видов и штаммов симбиотических бактерий из природных популяций ЭПН перспективных для возможного их использования в качестве средства борьбы с насекомыми вредителями и возбудителями заболеваний растений. При практическом полифункциональном использовании симбиотических бактерий и продуктов их метаболизма и, особенно, при внесении их в почву в качестве средства защиты растений от насекомых вредителей и возбудителей заболеваний, весьма актуальны сведения о возможном влиянии продуктов их метаболизма на рост и развитие растений, также вопросы, связанные с методиками отбора наиболее эффективных штаммов симбиотических бактерий в зависимости биотических и абиотических факторов окружающей среды.

**Цель исследований** — определить эффективность двух методов оценки (метод «агаровых блоков» и метод «лунок») антимикотической активности продуктов метаболизма видов и штаммов симбиотических бактерий для их дальнейшего практического использования.

**Объекты и методы исследований.** Исследования были проведены в 2023-2024 гг. на базе лаборатории микробиологической защиты растений Всероссийского института защиты растений (ВИЗР). Симбиотических бактерий выделяли с использованием метода живых ловушек из коллекционных видов и штаммов энтомопатогенных нематод, собранных из природных популяций Республики Коми, Республики Беларусь, Республики Саха (Якутия), Псковской, и Ленинградской областей [15]. Изоляцию бактериальных симбионтов проводили из трупов личинок большой вошинной моли (*Galleriamellonella*), зараженных различными штаммами энтомопатогенных нематод, поверхность стерилизовали в 70% спирте в течение 2 мин., затем их переносили на чистую ткань для сушки в ламинарном шкафу с воздушным потоком в течение 3 мин., вскрывали стерильными иглами и наносили каплю гемолимфы на среду дифференцировки (среда NBTA, содержащая 45 г питательного

агара, 25 мг бромтимола синего и 40 мг трифенилтетразолия в 1 л дистиллированной воды) в чашках и инкубировали при 28°C. Фазовый статус (колонии фазы I выделены синим цветом, а колонии фазы II — красным) был выбран на NBTA. Через 48 часов отдельные колонии бактерий из трупов, инфицированных энтомопатогенной нематодой, инокулировали на питательные агаровые пластины и непрерывно субкультивировали до тех пор, пока не были получены колонии однородного размера и морфологии. Чистую культуру фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Alternaria* высевали на среду Чапека в чашки Петри и выращивали при 25°C в течение 5-7 суток, используя водную суспензию спор грибов, взятую в титрах  $10^3$ ,  $10^5$  и  $10^7$  спор в 1 мл воды. Концентрацию конидий подсчитывали в камере Горяева. Для определения антибиотической активности симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus* (*Achromobacteriaceae: Eubacteriales*) — симбионтов нематод вида *S. Carpocapsae* (*Rhabditida: Steinernematidae*), в бульон с титром бактериальных клеток  $1 \times 10^9$  смешивали с охлажденной до 50°C средой NBTA (в соотношении 1 : 9) и полученную смесь выливали в стерильные чашки Петри (10 мл смеси на чашку) [16]. С чашек каждого патогена, растущего на среде Чапека, отбирали мицелиальный диск (0,9 × 0,9 см) и помещали его в центр чашки Петри на питательную среду с симбиотическими бактериями. В качестве контроля использовали среду NBTA без симбиотических бактерий.

В исследованиях были использованы два метода для оценки противомикробной активности симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus*. Для изучения антимикотической активности на посеянный газон грибов вносили изучаемые бактерии как в виде агаровых блоков, так и в виде суспензии (луночный метод) [17]. **Метод агаровых блоков:** стерильным пробочным сверлом диаметром около 8 мм вырезали агаровые блоки из чашек с выросшими микробами-антагонистами рода *Xenorhabdus* и переносили их в чашку Петри на поверхность питательной среды только что засеянной спорами грибов. **Метод лунок:** на поверхности засеянной спорами грибов среды стерильным пробочным сверлом диаметром около 8 мм вырезали лунку, в которую микропипеткой вносили 0,1 мл бактериальной суспензии. Опытные чашки Петри помещали в термостат при температуре +25°C, благоприятной для развития микроорганизмов. Антибиотическую активность оценивали по наличию стерильных зон вокруг блоков и лунок. Диаметр зон угнетения роста фитопатогенных грибов учитывался на 3 сутки опыта. Все варианты опытов и контроля были заложены в 4-х кратной повторности. Антибиотическая активность определялась по результатам замеров зон роста патогена.

**Результаты и обсуждение.** Результаты изучения антибиотической активности бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод вида *S. Carpocapsae* в отношении грибов *Fusarium culmorum* и *Alternaria solani* представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, большая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод вида *S. Carpocapsae* в отношении *F. Culmorum*. Зоны угнетения роста патогенна на поверхности питательной среды при использовании метода «агаровых блоков» составили 23,7-37,4 мм в диаметре. Кроме того, размеры зон угнетения роста очевидно зависят и от титра конидий фузариума, внесенных в чашку Петри. Наибольшие зоны — 37,4 мм регистрировались в чашках с титром  $1 \times 10^3$  конидий. С повышением титра происходило уменьшение зоны угнетения роста,

и при титре  $1 \times 10^7$  конидий, диаметры зон были в среднем на 14 мм меньше, чем при минимальном титре.

Метод «лунок» показал несколько иные результаты. При прочих равных условиях размер зон угнетения роста *F. Culmorum* был меньше в два раза, чем при использовании «агаровых блоков». Активность указанного штамма бактерий *Xenorhabdus* в отношении *A. Solani* была также несравнимо ниже, чем в отношении *F. Culmorum*. Диаметр зон угнетения роста *A. Solani* при использовании метода «агаровых блоков» был 8,1 мм вне зависимости от титра спор гриба. Метод «лунок», в этом случае, не дал результата, так как мицелий *A. Solani* не прорастал в лунку, заполненную бактериальной суспензией (рис.1).

Изучение антибиотической активности бактерий *Xenorhabdus*, выделенных от нематод вида *S. Feltiae* в отношении грибов *F. culmorum* и *A. solani* показало несколько иные результаты (табл. 2).

Антибиотическая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод вида *S. Feltiae* при использовании метода «агаровых блоков» были меньше, чем от *S. Carpocapsae*. Угнетение роста *F. Culmorum* не зависело от титра конидий гриба, диаметр варьировал в пределах 20,2-23,3 мм. Применение метода «лунок» показало, что эффективность изучаемого штамма бактерий *Xenorhabdus* соответствовало уровню действия бактериями *S. Carpocapsae*, и было значительно ниже, чем при использовании метода «агаровых блоков».

Эффективность подавления роста гриба *A. Solani* бактериями, полученными от нематод вида *S. Feltiae* была, как и в предыдущем случае, очень низкой. Вокруг блоков регистрировались небольшие зоны (10-14 мм). В случае с «лунками», как и в аналогичном опыте с бактериями от *S. Carpocapsae*, «эффект» ограничивался лишь тем, что мицелий гриба лишь не прорастал в лунку, заполненную бактериальной суспензией.

В табл. 3 представлены результаты исследования антибиотической активности штамма бактерий *Xenorhabdus*, полученных от нематод вида *S. feltiae* в отношении грибов *F. culmorum* и *A. solani*.

При использовании метода «агаровых блоков» в определении антибиотической активности бактерий рода *Xenorhabdus* от нематод вида *S. Feltiae* в отношении гриба *F. Culmorum* было выявлено, что зоны угнетения роста патогенна были меньше, чем при взаимодействии его с бактериями-симбионтами *S. Feltiae* и составили 16,6-21,8 мм, при этом размер зоны роста не зависел от титра конидий гриба. При использовании метода «лунок» нами получены результаты несколько ниже, чем при методе «агаровых блоков», причем, чем выше концентрация грибов, тем наблюдается меньший эффект.

Активность бактерий *Xenorhabdus* от нематод вида *S. feltiae* в отношении *A. solani* при использовании метода «агаровых блоков» также сопоставима с активностью бактерий *S. Feltiae*. Метод лунок в данном случае показал традиционную низкую активность подавления роста *A. solani*.

Анализ полученных данных показал, что в отношении *Fusarium culmorum* наибольшую антимикотическую активность проявили бактерии, полученные от нематод вида *Steinernema carpocapsae* (рис.1, А). Зоны подавления роста этого гриба больше, при использовании штаммов *Xenorhabdus*, полученных от остальных двух видов нематод. Это относится к использованию метода «агаровых блоков». Однако активность в этом случае зависит от титра конидий патогенна. Бактерии от нематод *S. Feltiae* и *S. Feltiae*



Таблица 1. Антибиотическая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод вида *S. carpocapsae* в отношении грибов *Fusarium culmorum* и *Alternaria solani*  
 Table 1. Antibiotic activity of bacteria of the genus *Xenorhabdus* — symbionts of nematodes of the species *S. carpocapsae* against the fungi *Fusarium culmorum* and *Alternaria solani*

Титр конидий гриба	Диаметр зон угнетения роста грибов, мм (X±sx)			
	<i>Fusarium culmorum</i>		<i>Alternaria solani</i>	
	Метод «агаровых блоков»	Метод «лунок»	Метод «агаровых блоков»	Метод «лунок»
1×10 <sup>3</sup>	37,4±1,1	22,1±7,6	9,5±1,2	8,1±0,1
1×10 <sup>5</sup>	33,5±0,5	15,2±2,3	9,5±1,1	8,1±0,1
1×10 <sup>7</sup>	23,7±1,8	10,1±3,3	9,1±0,7	8,1±0,1

Таблица 2. Антибиотическая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод вида *S. Feltiae* в отношении грибов *Fusarium culmorum* и *Alternaria solani*  
 Table 2. Antibiotic activity of bacteria of the genus *Xenorhabdus* — symbionts of nematodes of the species *S. Feltiae* against the fungi *Fusarium culmorum* and *Alternaria solani*

Титр конидий гриба	Диаметр зон угнетения роста грибов, мм (X±sx)			
	<i>Fusarium culmorum</i>		<i>Alternaria solani</i>	
	Метод «агаровых блоков»	Метод «лунок»	Метод «агаровых блоков»	Метод «лунок»
1×10 <sup>3</sup>	23,3±1,2	16,8±2,9	10±1,8	8,1±0,1
1×10 <sup>5</sup>	20,2±1,2	14,3±1,5	14,4±1,6	8,1±0,1
1×10 <sup>7</sup>	22,7±0,5	9,5±2	9,1±2,5	8,1±0,1

Таблица 3. Антибиотическая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод вида *S. Feltiae protense* в отношении грибов *Fusarium culmorum* и *Alternaria solani*  
 Table 3. Antibiotic activity of bacteria of the genus *Xenorhabdus* — symbionts of nematodes of the species *S. Feltiae protense* against the fungi *Fusarium culmorum* and *Alternaria solani*

Титр конидий гриба на чашку Петри	Диаметр зон угнетения роста грибов, мм (X±sx)			
	<i>Fusarium culmorum</i>		<i>Alternaria solani</i>	
	Метод «агаровых блоков»	Метод «лунок»	Метод «агаровых блоков»	Метод «лунок»
1×10 <sup>3</sup>	18,9±2,4	18,8±3,9	16,8±2,9	8,1±0,1
1×10 <sup>5</sup>	21,8±0,3	15,6±0,8	14,3±1,5	8,1±0,1
1×10 <sup>7</sup>	16,6±2,1	9,6±2,6	9,5±2,1	8,1±0,1

*protense* показали близкие результаты. Диаметр зон подавления роста при этом практически не зависит от титра. При использовании метода «лунок» все три штамма изучаемых бактерий-симбионтов показали примерно одинаково не высокие результаты. Однако, штамм, полученный от нематод *S. carpocapsae*, проявил среди них наибольшую активность. Хорошо известно, что метаболиты, вырабатываемые эндосимбионтами, подавляют рост множества грибов. *X. nematophila* продуцирует циклолипопептид, содержащий богатый лизином остаток, который обладает высокой эффективностью против грибковых патогенов, включая грибковые патогены растений и животных [18].

Использование метода «агаровых блоков» выявило, что в отношении гриба *Alternaria solani* все изучаемые штаммы бактерий-антагонистов проявили меньшую степень активности, чем в отношении *F. Culmorum*. Лучшие результаты показал штамм *Xenorhabdus* от нематод вида *S. Feltiae protense*, однако диаметр зоны угнетения также зависел от титра конидий гриба, посеянного на поверхность питательной среды. Штамм, выделенный от *S. carpocapsae*, проявил самую низкую активность, и он мало зависел от титра конидий гриба (рис.2, Г).

Использование метода «лунок» при изучении антимикотической активности бактерий-симбионтов нематод в отношении *Alternaria solani* выявило его неэффективность. Зоны угнетения роста во всех изученных вариантах опыта отсутствовали.

Таким образом установлено, что антимикотическая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов разных видов нематод в отношении грибов *Fusarium culmorum* и *Alternaria solani* значительно отличаются. В отношении *F. culmorum* наибольшую активность проявил штамм *X. nematophilus*- симбионт нематод вида *S. carpocapsae*. В отношении *A. solani* наибольшую активность проявил штамм бактерий *X. Bovienii* симбионт нематод

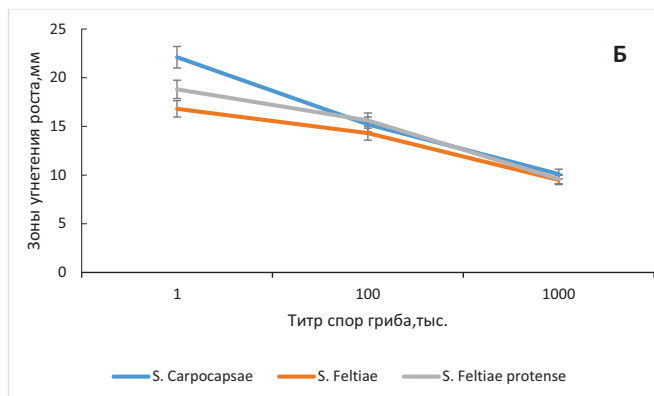
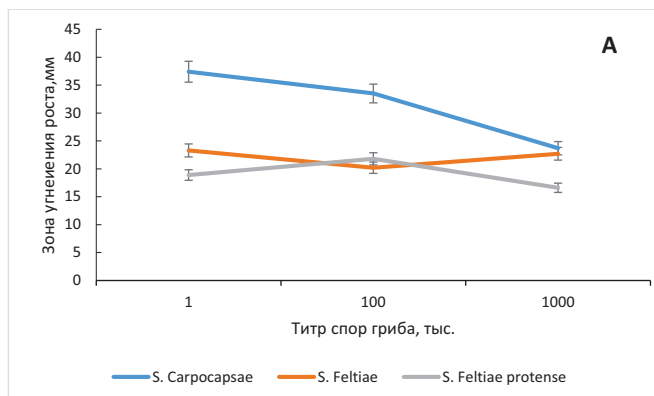


Рисунок 1. Антибиотическая активности бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод различных видов *Steinernema* в отношении гриба *Fusarium culmorum*: А — метод «агаровых блоков»; Б — метод «лунок»  
 Figure 1. Antibiotic activity of bacteria of the genus *Xenorhabdus* — symbionts of nematodes of various species of *Steinernema* against the fungus *Fusarium culmorum*: А — the «agar blocks» method; Б — the «wells» method

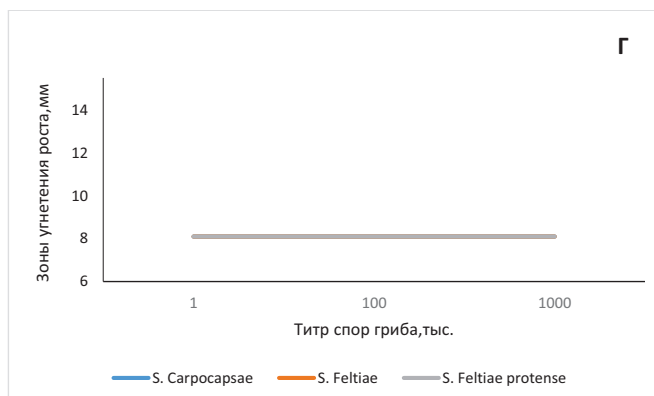
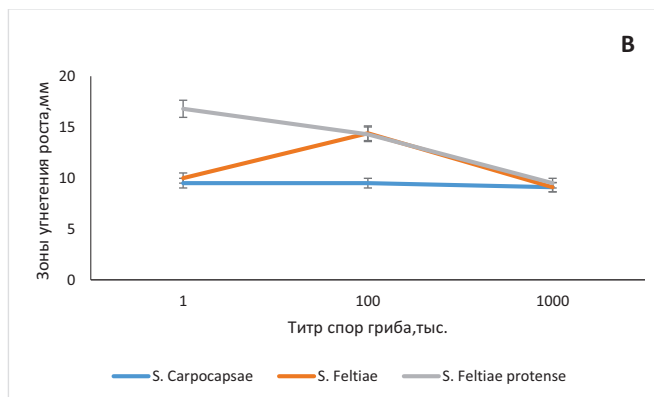


Рисунок 2. Антибиотическая активность бактерий рода *Xenorhabdus* — симбионтов нематод различных видов *Steinernema* в отношении гриба *Alternaria solani*: В — метод «агаровых блоков»; Г — метод «лунок»  
 Figure 2. Antibiotic activity of bacteria of the genus *Xenorhabdus* — symbionts of nematodes of various species of *Steinernema* in relation to the fungus *Alternaria solani*: В — the «agar blocks» method; Г — the «wells» method



вида *S. feltiae* против *Xenorhabdus*. Во всех вариантах опыта метод «агаровых блоков» значительно превосходил по эффективности метод «лунок».

#### Выводы:

1. При первичной оценке перспективности использования продуктов метаболита различных штаммов симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus* против определенных видов возбудителей грибных заболеваний растений рекомендуется использование метода «агаровых блоков».
2. Эффективность использования продуктов метаболита симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus*, в качестве эффективного средства защиты растений против определенных видов возбудителей грибных заболеваний, базируется на результатах сравнительной оценки патогенности отдельных штаммов симбиотических бактерий против конкретного вида фитопатогена.

#### Список источников

1. Voemare, N., (2002). Biology, Taxonomy and Systematics of *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. In: Gaugler, R. (ed.), *Entomopathogenic Nematology*, pp. 35-56. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon OX10 8DE, <http://doi.org/10.1079/9780851995670.0035>.
2. Navon, A.S. Keren, L., Salame, Glazer I. (1998). An Edible-to-insects Calcium Alginate gel as a Carrier for Entomopathogenic Nematodes. *Biocontrol Science Technology*, no. 8(3), pp. 429-437. DOI: 10.1080/09583159830225.
3. Forst S., Nealson K. (1996). Molecular biology of the symbiotic-pathogenic bacteria *Xenorhabdus* spp. and *Photorhabdus* spp. *Microbiological Reviews*, Vol. 60, No. 1 P.21-43. DOI: 10.1128/MMBR.60.1.21-43.1996.
4. Webster J.M., Chen G., Hu K. and Li J. (2002). Bacterial metabolites, in *Entomopathogenic Nematology* ed. Gaugler R. (London: CABI Publishing, Wallingford,) pp. 99-114. DOI: 10.1079/9780851995670.0099.
5. Brachmann, A.O., Bode, H.B. (2013). Identification and bioanalysis of natural products from insect symbionts and pathogens. *Part of the Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology book series (ABE)*, vol. 135, pp. 123-155. DOI: 10.1007/10\_2013\_192.
6. Dreyer J., Malan A.P. and Dicks L.M.T. (2018). Bacteria of the Genus *Xenorhabdus*, a Novel Source of Bioactive Compounds / *Frontiers in Microbiology*. 9:3177. DOI: 10.3389/fmicb.2018.03177
7. Barkai-Golan, R. (2001). Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables: Development and Control, 1st Edn. Amsterdam: Elsevier, 442 p. eBook ISBN: 9780080539294.
8. Böszörményi E., Érsek T., Fodor A.M., Fodor A.M., Földes L.S., Hevesi M., et al. (2009). Isolation and activity of *Xenorhabdus* antimicrobial compounds against the plant pathogens *Erwinia amylovora* and *Phytophthora nicotianae*. *Journal of Applied Microbiology* 107(3):746-59. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2009.04249.x.
9. Shapiro-Ilan D.I., Reilly C.C., Hotchkiss M.W. (2009). Suppressive effects of metabolites from *Photorhabdus* and *Xenorhabdus* spp. on phytopathogens of peach and pecan. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 42(8):715-728. DOI: 10.1080/03235400701390539.

#### Информация об авторах:

**Котова Зинаида Петровна**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и растениеводства, Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9770-0809>, [zinaida\\_kotova@mail.ru](mailto:zinaida_kotova@mail.ru)

**Данилов Леонид Григорьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений, Всероссийский институт защиты растений, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3623-1081>, [biodanlg@mail.ru](mailto:biodanlg@mail.ru)

**Данилова Татьяна Алексеевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и растениеводства, Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1919-0695>, [danilovata2@bk.ru](mailto:danilovata2@bk.ru)

**Борщева Оксана Алексеевна**, микробиолог I категории лаборатории микробиологической защиты растений, Всероссийский институт защиты растений, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-9223-7289>, [oksbor-18@mail.ru](mailto:oksbor-18@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Zinaida P. Kotova**, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the department of agriculture and crop production, The North-Western Center for Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9770-0809>, [zinaida\\_kotova@mail.ru](mailto:zinaida_kotova@mail.ru)

**Leonid G. Danilov**, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of microbiological plant protection, All-Russian Institute of Plant Protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3623-1081>, [biodanlg@mail.ru](mailto:biodanlg@mail.ru)

**Tatyana A. Danilova**, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the department of agriculture and crop production, The North-Western Center for Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1919-0695>, [danilovata2@bk.ru](mailto:danilovata2@bk.ru)

**Oksana A. Borshcheva**, microbiologist of the 1st category of the laboratory of microbiological plant protection, All-Russian Institute of Plant Protection, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-9223-7289>, [oksbor-18@mail.ru](mailto:oksbor-18@mail.ru)

10. Fang X.L., Li Z.Z., Wang Y.H., Zhang X. (2011). *In vitro* and *in vivo* antimicrobial activity of *Xenorhabdus bovienii* YL002 against *Phytophthora capsici* and *Botrytis cinerea*. *Journal of Applied Microbiology* 111(1):145-54 DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.05033.x.

11. Hussa, E.A., Casanova-Torres, A.M., and Goodrich-Blair, H. (2015). The global transcription factor Lrp controls virulence modulation in *Xenorhabdus nematophila*. *J. Bacteriol.* 197, 3015-3025. DOI: 10.1128/JB.00272-15.

12. Tomar, P., Thakur, N. & Yadav, A.N. (2022). Endosymbiotic microbes from entomopathogenic nematode (EPNs) and their applications as biocontrol agents for agro-environmental sustainability. *Egypt J. Biol Pest Control* 32, 80 <http://doi.org/10.1186/s41938-022-00579-7>.

13. Danilov, L.G., Ivanova, G.P., Kaplin, V.G., Varfolomeeva, E.A. (2023). Acaricidal activity of entomopathogenic nematode-symbiotic bacteria *Xenorhabdus bovienii* and *X. nematophila* against spider mite *Tetranychus urticae*. *Паразитология*. Том 57. № 1. С. 64-76. DOI: 10.31857/S0031184723010064.

14. Котова З.П., Данилов Л.Г., Данилова Т.А., Тюкалов Ю.А. (2023). Оценка возможности использования продуктов метаболита симбиотических бактерий (*Xenorhabdus bovienii*) энтомопатогенных нематод в защите картофеля от возбудителей заболеваний. *Международный сельскохозяйственный журнал*, № 6(396), С. 619-623. DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_6\_619.

15. Danilov, L.G., Kaplin, V.G. (2020). Nematicidal activity of nematode — symbiotic bacteria *Xenorhabdus bovienii* and *X. nematophila* against root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Паразитология*. том 54. № 5. С. 413-422. DOI: 10.31857/S1234567806050041.

16. Данилов Л.Г., Зорина Е.А., Нащекина Т.Ю. (2017). Антибиотическая активность *Xenorhabdus* sp. (Enterobacteriaceae) симбионтов энтомопатогенных нематод (Rhabditida: Steinernematidae). *Вестник защиты растений*. № 3(93). С. 33-38.

17. Ежов Г.И. (1981). Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии. Москва: Высшая школа. 271 с.

18. Gualtieri M., Villain-Guillot P, Givaudan A., Pages S. (2012). Nemaucin, an antibiotic produced by entomopathogenic *Xenorhabdus cabanillasii*. Google Patents WO2012085177 A1. World Intellectual Property Organization, Geneva, pp 1-39. DOI: 10.1186/s41938-022-00579-7.

#### References

1. Voemare, N., (2002). Biology, Taxonomy and Systematics of *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. In: Gaugler, R. (ed.), *Entomopathogenic Nematology*, pp. 35-56. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon OX10 8DE, <http://doi.org/10.1079/9780851995670.0035>.
2. Navon, A.S. Keren, L., Salame, Glazer I. (1998). An Edible-to-insects Calcium Alginate gel as a Carrier for Entomopathogenic Nematodes. *Biocontrol Science Technology*, no. 8(3), pp. 429-437. DOI: 10.1080/09583159830225.
3. Forst S., Nealson K. (1996). Molecular biology of the symbiotic-pathogenic bacteria *Xenorhabdus* spp. and *Photorhabdus* spp. *Microbiological Reviews*, vol. 60, no. 1, P.21-43. DOI: 10.1128/MMBR.60.1.21-43.
4. Webster J.M., Chen G., Hu K. and Li J. (2002). Bacterial metabolites, in *Entomopathogenic Nematology* ed. Gaugler R. (London: CABI Publishing, Wallingford,) pp. 99-114. DOI: 10.1079/9780851995670.0099.

5. Brachmann, A.O., Bode, H.B. (2013). Identification and bioanalysis of natural products from insect symbionts and pathogens. *Part of the Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology book series (ABE)*, vol. 135, pp. 123-155. DOI: 10.1007/10\_2013\_192.

6. Dreyer J., Malan A.P. and Dicks L.M.T. (2018). Bacteria of the Genus *Xenorhabdus*, a Novel Source of Bioactive Compounds. *Frontiers in Microbiology*. 9:3177. DOI: 10.3389/fmicb.2018.03177.

7. Barkai-Golan, R. (2001). Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables: Development and Control, 1st Edn. Amsterdam: Elsevier, 442 p. eBook ISBN: 9780080539294.

8. Böszörményi E., Érsek T., Fodor A.M., Fodor A.M., Földes L.S., Hevesi M., et al. (2009). Isolation and activity of *Xenorhabdus* antimicrobial compounds against the plant pathogens *Erwinia amylovora* and *Phytophthora nicotianae*. *Journal of Applied Microbiology* 107(3):746-59 DOI: 10.1111/j.1365-2672.2009.04249.x.

9. Shapiro-Ilan D.I., Reilly C.C., Hotchkiss M.W. (2009). Suppressive effects of metabolites from *Photorhabdus* and *Xenorhabdus* spp. on phytopathogens of peach and pecan. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, no.42(8):715-728. DOI: 10.1080/03235400701390539.

10. Fang X.L., Li Z.Z., Wang Y.H., Zhang X. (2011). *In vitro* and *in vivo* antimicrobial activity of *Xenorhabdus bovienii* YL002 against *Phytophthora capsici* and *Botrytis cinerea*. *Journal of Applied Microbiology* 111(1):145-54 DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.05033.x.

11. Hussa, E.A., Casanova-Torres, A.M., and Goodrich-Blair, H. (2015). The global transcription factor Lrp controls virulence modulation in *Xenorhabdus nematophila*. *J. Bacteriol.* 197, 3015-3025. DOI: 10.1128/JB.00272-15.

12. Tomar, P., Thakur, N. & Yadav, A.N. (2022). Endosymbiotic microbes from entomopathogenic nematode (EPNs) and their applications as biocontrol agents for agro-environmental sustainability. *Egypt J. Biol Pest Control* no. 32, pp. 80 <http://doi.org/10.1186/s41938-022-00579-7>.

13. Danilov, L.G., Ivanova, G.P., Kaplin, V.G., & Varfolomeeva, E.A. (2023). Acaricidal activity of entomopathogenic nematode-symbiotic bacteria *Xenorhabdus bovienii* and *X. nematophila* against spider mite *Tetranychus urticae*. *Parazitologiya*, vol. 57, no.1, pp. 64-76. DOI: 10.31857/S0031184723010064.

14. Kotoва З.П., Данилов Л.Г., Данилова Т.А., Тюкалов Ю.А. (2023). Evaluation of the possibility of using the metabolic products of symbiotic bacteria (*Xenorhabdus bovienii*) of entomopathogenic nematodes in potato protection from pathogens. *International agricultural journal*, no. 6(396), pp. 619-623. DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_6\_619.

15. Danilov, L.G., Kaplin, V.G. (2020). Nematicidal activity of nematode — symbiotic bacteria *Xenorhabdus bovienii* and *X. nematophila* against root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Parazitologiya*, vol. 54, no. 5, pp. 413-422. DOI: 10.31857/S1234567806050041.

16. Danilov L.G., Zorina E.A., Nashekina T.Yu. (2017). Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp. (*Enterobacteriaceae*) symbiont of entomopathogenic nematodes (*Rhabditida: Steinernematidae*). *Plant protection news*, no. 3(93), pp. 33-38.

17. Yezhov G.I. (1981). Guide to practical classes in agricultural microbiology, Moscow, *Vyshshaya shkola*, 271 p.

18. Gualtieri M., Villain-Guillot P, Givaudan A, Pages S (2012). Nemaucin, an antibiotic produced by entomopathogenic *Xenorhabdus cabanillasii*. Google Patents WO2012085177 A1. World Intellectual Property Organization, Geneva, pp 1-39. DOI: 10.1186/s41938-022-00579-7.