



Защита растений Plant protection



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-96-107

EDN FTHYNE

УДК 632.4:634.75:632.937

Научная статья / Research article

Перспективы применения штаммов-антагонистов для подавления возбудителя антракноза земляники

Ю.В. Цветкова^{1,2}, А.В. Смирнова¹  , А.А. Петрухина¹ ,Д.А. Доморацкая¹, А.Б. Яремко¹ ¹Всероссийский центр карантина растений, пгт. Быково, Российская Федерация²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация anna.smirnova2328@yandex.ru

Аннотация. Антракноз земляники, вызываемый грибами комплекса *Colletotrichum acutatum*, — одна из наиболее агрессивных болезней этой культуры во всем мире. В условиях интенсификации производства и растущего спроса на свежие ягоды особую актуальность приобретает разработка методов защиты, обеспечивающих получение качественной и экологически безопасной продукции с сохранением высокой рентабельности. Биопрепараты являются перспективным решением для земляники, учитывая ее короткий вегетационный период до плодоношения и потребление ягод преимущественно в свежем виде. Цель исследования — получить штаммы бактерий, которые являются потенциальными биоагентами в борьбе с возбудителями антракноза земляники рода *Colletotrichum*. Виды комплекса *C. acutatum* выделили из посадочного материала классическими биологическими методами. Бактерии — потенциальные антагонисты — получены из коллекции Всероссийского центра карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»). Идентификация патогенов проводилась культурально-морфологическим методом с определением нуклеотидных последовательностей по Сенгеру. Антагонистическую активность оценивали методом встречных культур, а биохимическую характеристику бактерий — с помощью тест-системы API 20 E (bioMérieux, Франция). Наибольшую активность показали изоляты: 0075-*Alcaligenes faecalis*, 0076-*Bacillus subtilis*, 0084-*Ochrobactrum* sp., 0089-*Bacillus subtilis*, 0552-*Bacillus australimaris* / *Bacillus safensis*, 0585-*Bacillus tequilensis* / *Bacillus subtilis*, 0739-*Bacillus velezensis*. Анализ литературных данных указывает на отсутствие фитотоксичности у отобранных штаммов. Биохимическое тестирование

© Цветкова Ю.В., Смирнова А.В., Петрухина А.А., Доморацкая Д.А., Яремко А.Б., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

выявило отсутствие у них пути синтеза индол-3-уксусной кислоты из триптофана, характерного для патогенов, а также продемонстрировало высокую адаптивность за счет способности утилизировать широкий спектр субстратов. Полученные данные свидетельствуют о наличии у изолятов свойства, способствующих росту растений и повышению их стрессоустойчивости. Высокая антагонистическая активность, потенциальное отсутствие фитотоксичности, адаптивность и ростстимулирующий потенциал позволяют рассматривать эти штаммы как перспективную основу для разработки биопрепарата против антракноза земляники.

Ключевые слова: фитопатогены, биологическая защита растений, биопрепараты, биофунгициды, земляника садовая, *Colletotrichum*

Вклад авторов: Ю.В. Цветкова — концепция и дизайн исследования, проведение опытов, анализ данных, редактирование статьи; А.В. Смирнова — концепция, анализ полученных данных, написание статьи; А.А. Петрухина — проведение опытов и фиксация результатов; Д.А. Доморацкая, А.Б. Яремко — проведение опытов и описание полученных результатов. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер 225013004755-0.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 7 октября 2025 г., принята к публикации 21 ноября 2025 г.


Для цитирования: Цветкова Ю.В., Смирнова А.В., Петрухина А.А., Доморацкая Д.А., Яремко А.Б. Перспективы применения штаммов-антагонистов для подавления возбудителя антракноза земляники // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронмия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 96–107. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-96-107 EDN: FTHYNE

Prospects of using antagonist strains for suppression of strawberry anthracnose pathogen

Yulia V. Tsvetkova^{1, 2}, Anna V. Smirnova¹  , Anastasia A. Petrukhina¹ ,
Dana A. Domoratskaya¹, Anastasia B. Yaremko¹ 

¹All-Russian Plant Quarantine Center, Bykovo, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

 anna.smirnova2328@yandex.ru

Abstract. Strawberry anthracnose, caused by fungi of the *Colletotrichum acutatum* species complex, is one of the most aggressive diseases affecting this crop worldwide. With the intensification of production and growing demand for fresh berries, the development of control methods that ensure high quality and environmentally safe production while maintaining cost-effectiveness is becoming increasingly urgent. Bioagents represent a promising solution for strawberries, given their short vegetative period until fruit bearing and the fact that berries are primarily consumed fresh. The aim of this study was to identify bacterial strains as potential biocontrol agents against anthracnose pathogens. Fungi of the *C. acutatum* complex were isolated from planting material using a moist chamber technique and plating on nutrient medium. Bacterial potential antagonists were obtained from the collection of All-Russian Plant Quarantine Center. Pathogen identification was carried out using cultural and morphological methods, with confirmation by Sanger sequencing. Antagonistic activity was assessed using the dual-culture method, and the biochemical profile of the bacteria was determined using the API 20 E test system (bioMérieux, France). The most active isolates were: 0739-*Bacillus velezensis*, 0084-*Bacillus halotolerans/mojavensis*, 0075-*Bacillus stercoris/subtilis*, 0585-*Bacillus subtilis*, 0089-*Bacillus subtilis/Azohydromonas sediminis*, 0076-*Azohydromonas sediminis/Bacillus subtilis*, and 0552-*Bacillus pumilus*. Analysis of literature

data indicates the absence of phytotoxicity in the selected strains. Biochemical testing revealed the absence of tryptophan-dependent indole-3-acetic acid synthesis pathway, which is characteristic of pathogens, and demonstrated high adaptability through the ability to utilize a wide range of substrates. The obtained data suggest that the isolates possess plant growth-promoting and stress tolerance-enhancing properties. High antagonistic activity, potential absence of phytotoxicity, adaptability, and growth-stimulating potential make these strains a promising basis for developing a biocontrol agent against strawberry anthracnose.

Keywords: phytopathogens, biological plant protection, bioagents, biofungicides, garden strawberry, *Fragaria ananassa*, anthracnose, *Colletotrichum*

Author contributions: Tsvetkova Y.V. — study concept and design, experimental work, data analysis, and manuscript editing; Smirnova A.V. — study concept, data analysis, manuscript writing; Petrukhina A.A. — experimental work and data collection; Domoratskaya D.A. and Yaremko A.B. — experimental work and results analysis. All authors read and approved the final manuscript.

Funding. This work was supported by a state assignment (no. 225013004755–0).

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 7 October 2025; accepted 21 November 2025.

For citation: Tsvetkova YV, Smirnova AV, Petrukhina AA, Domoratskaya DA, Yaremko AB. Prospects of using antagonist strains for suppression of strawberry anthracnose pathogen. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):96–107. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-96-107 EDN: FTHYNE

Введение

Антракноз земляники, вызываемый грибами комплекса *Colletotrichum acutatum*, представляет собой одну из наиболее агрессивных болезней культуры во всем мире. Патоген поражает все части растения, приводя к появлению некрозов, язв, пятен на вегетативных частях, а также к загниванию и мумификации ягод, что делает продукцию непригодной для реализации и потребления.

Основные методы борьбы с антракнозом — это выведение новых сортов земляники садовой и применение фунгицидов. Сорта, широко представленные в ассортименте, не устойчивы к возбудителям антракноза.

Применение химических средств на землянике садовой имеет свои ограничения: короткий вегетационный период, использование ягод в свежем виде, развитие резистентности патогенов.

При интенсификации производства и увеличении потребности населения в свежих ягодах¹ все более актуальными становятся разработка и внедрение альтернативных подходов в защите растений. Биопрепараты позволяют не только подавлять развитие фитопатогенов, но, как правило, опосредованно влиять на устойчивость растений, через индукцию системной резистентности. Несмотря на распространенность антракноза земляники, на рынке пестицидов и биофунгицидов отсутствуют специализированные препараты².

¹ FAO // Food and Agriculture Organization of the United Nations. Режим доступа: <https://www.fao.org/home/en> (дата обращения: 12.11.2025).

² Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации и дополнения к нему // Министерство сельского хозяйства РФ. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/> (дата обращения: 12.11.2025).

Цель исследования — получить штаммы бактерий, которые являются потенциальными биоагентами в борьбе с возбудителями антракноза земляники рода *Colletotrichum*.

Материалы и методы исследования

Возбудителя антракноза выявили в посадочном материале земляники. Выделение проводили в соответствии со стандартной методикой работы с грибными патогенами: закладка образцов растений во влажную камеру и на питательную среду (картофельно-глюкозный агар 2%). Бактериальные штаммы получены из коллекции Всероссийского центра карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»).

Видовую принадлежность патогена подтверждали культурально-морфологическим и молекулярным методами. Для определения нуклеотидных последовательностей методом Сэнгера использовали базовый участок внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS1–5,8S-ITS2) с праймерами ITS4/ITS5 и участок гена глицеральдег-3-фосфатдегидрогеназы (GAPDH) праймерами GDF/GDR, маркерный для данного комплекса видов локус.

Для идентификации бактерий колонии отбирали с питательной среды R2A, а затем выделяли ДНК. Далее проводили секвенирование по Сэнгеру с праймерами 27F/907R на участок гена 16S рРНК.

Результаты секвенирования обрабатывали с помощью программы BioEdit³. Расшифрованные нуклеотидные последовательности сравнивали с помощью сервиса BLAST с последовательностями, размещенными в базе данных NCBI GenBank⁴. Результатом идентификации считали организм с максимальным сходством (Max score), автоматически вычисленным сервисом BLAST на основании расчета показателей Query coverage и Percent identity [1].

Антагонистическую активность определяли методом встречных культур на пептонно-дрожжевом глюкозном агаре (YPGA). Мицелиальную высечку патогена помещали в центр чашки, бактерии высевали параллельными штрихами на расстоянии 2,5 см от центра. Чашки инкубировали при 25 ± 1 °C в течение 14 суток. Измерение радиуса роста мицелия проводили на 5-, 7- и 14-е сутки. Повторность опыта трехкратная. Для оценки результатов рассчитывали показатель ингибирования мицелиального роста гриба бактерией по формуле

$$P = (K - A) / K \times 100 \%,$$

где P — показатель ингибирования (ПИ), %; K — рост гриба в контроле, мм; A — рост гриба в опыте, мм.

Биохимические свойства изучали с помощью тест-системы API 20 E (bioMérieux, Франция), оценивая ферментативную активность по 20 субстратам, включая ферментацию углеводов, декарбоксилирование аминокислот, продукцию сероводорода, индола и ацетоина, активность уреазы и желатиназы.

Экспериментальные данные обрабатывали в RStudio (v4.3.1).

³ BioEdit. Режим доступа: <https://bioedit.software.informer.com/>

⁴ NCBI GenBank. Режим доступа: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>

Результаты исследования и обсуждение

Морфологический и генетический анализ подтвердил принадлежность изолята к виду *C. nymphaeae* (комплекс *C. acutatum*) — основному и наиболее агрессивному возбудителю болезни садовой земляники. Выравнивание по участку GAPDH показало 100%-ю идентичность с эталонным штаммом (GenBankID = JQ948527.1) (типовой образец) *C. nymphaeae*.

Для оценки антагонистической активности протестировали 43 бактериальных изолята из коллекции ФГБУ «ВНИИКР» (табл. 1). В ходе опыта 22 изолята бактерий значимо подавляли рост мицелия *C. Nymphaeae*, из них 7 изолятов имели показатель ингибирования больше или равный 60 %. Получены результаты — показатель ингибирования роста мицелия патогена изучаемыми штаммами бактерий и показатель p-value, отображающий достоверность различий в росте мицелия патогена в контроле и опыте. Значительная вариабельность антагонистической активности среди штаммов обусловлена их таксономическим разнообразием. Изоляты с уровнем ингибирования больше или равным 60 % выделены зеленым цветом.

Таблица 1 / Table 1

Влияние исследуемых изолятов на рост *C. Nymphaeae* / Effect of the studied bacterial isolates on the growth of *C. nymphaeae*

№ п/п / No.	№ изолята / Isolate No.	Видовая принадлежность / Species	Показатель ингибирования, % / Inhibition index, %	p-value
1.	0070	<i>Pseudomonas bohemica</i>	36,53	0,1644
2.	0071	<i>Priestia aryabhattai</i>	25,17	0,3684
3.	0073	<i>Priestia aryabhattai</i>	53,86	0,0402
4.	0074	<i>Pantoea agglomerans</i>	30,48	0,2586
5.	0075	<i>Alcaligenes faecalis</i>	67,89	0,0073
6.	0076	<i>Bacillus subtilis</i>	62,60	0,0090
7.	0077	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	19,47	0,4824
8.	0078	<i>Azohydromonas sediminis/ Bacillus subtilis/ Bacillus stercoris</i>	57,74	0,0204
9.	0080	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	48,23	0,0861
10.	0081	<i>Priestia aryabhattai</i>	40,26	0,0371
11.	0082	<i>Priestia aryabhattai</i>	52,85	0,0530
12.	0084	<i>Ochrobactrum</i> sp	73,39	0,0057
13.	0085	<i>Priestia aryabhattai</i>	33,99	0,1956
14.	0086	<i>Priestia aryabhattai</i>	42,95	0,0261
15.	0087	<i>Priestia aryabhattai/ Priestia megaterium</i>	32,60	0,2287
16.	0089	<i>Bacillus subtilis</i>	66,34	0,0060
17.	0359	<i>Pseudomonas azotoformans</i>	55,28	0,0082
18.	0469	<i>Achromobacter</i> sp.	45,11	0,0265
19.	0483	<i>Priestia aryabhattai</i>	49,32	0,0112
20.	0484	<i>Priestia aryabhattai</i>	58,19	0,0086

Окончание табл. 1

№ п/п / No.	№ изолята / Isolate No.	Видовая принадлежность / Species	Показатель ингибирования, % / Inhibition index, %	p-value
21.	0485	<i>Priestia aryabhattai</i> / <i>Priestia megaterium</i>	19,25	0,4904
22.	0486	<i>Chryseobacterium soldanellicola</i>	21,19	0,4603
23.	0488	<i>Pantoea agglomerans</i>	51,26	0,0114
24.	0489	<i>Microbacterium paraoxydans</i>	21,80	0,3840
25.	0537	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	50,46	0,0131
26.	0541	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	43,39	0,0346
27.	0548	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	53,40	0,0108
28.	0552	<i>Bacillus australimaris</i> / <i>Bacillus safensis</i>	60,95	0,0094
29.	0579	<i>Priestia aryabhattai</i>	25,67	0,0541
30.	0582	<i>Ralstonia insidiosa</i>	30,49	0,1340
31.	0583	<i>Ralstonia insidiosa</i>	28,72	0,0632
32.	0584	<i>Priestia aryabhattai</i>	41,62	0,1125
33.	0585	<i>Bacillus tequilensis</i> / <i>Bacillus subtilis</i>	67,36	0,0091
34.	0587	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> / <i>Bacillus velezensis</i>	51,91	0,0543
35.	0590	<i>Moraxella tetraodonis</i>	22,33	0,4437
36.	0591	<i>Ralstonia insidiosa</i>	18,98	0,5931
37.	0592	<i>Bacillus siamensis</i> / <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> / <i>Bacillus velezensis</i>	49,68	0,0748
38.	0593	<i>Rurimicrobium arvi</i> / <i>Rhodococcus cercidiphylli</i> / <i>Staphylococcus hominis</i>	25,80	0,3558
39.	0699	<i>Bacillus pumilus</i>	48,23	0,0153
40.	0701	<i>Achromobacter</i> sp.	45,77	0,0235
41.	0708	<i>Bacillus pumilus</i>	57,52	0,0076
42.	0739	<i>Bacillus velezensis</i>	86,82	0,0066
43.	0756	<i>Pseudomonas putida</i>	45,44	0,0239

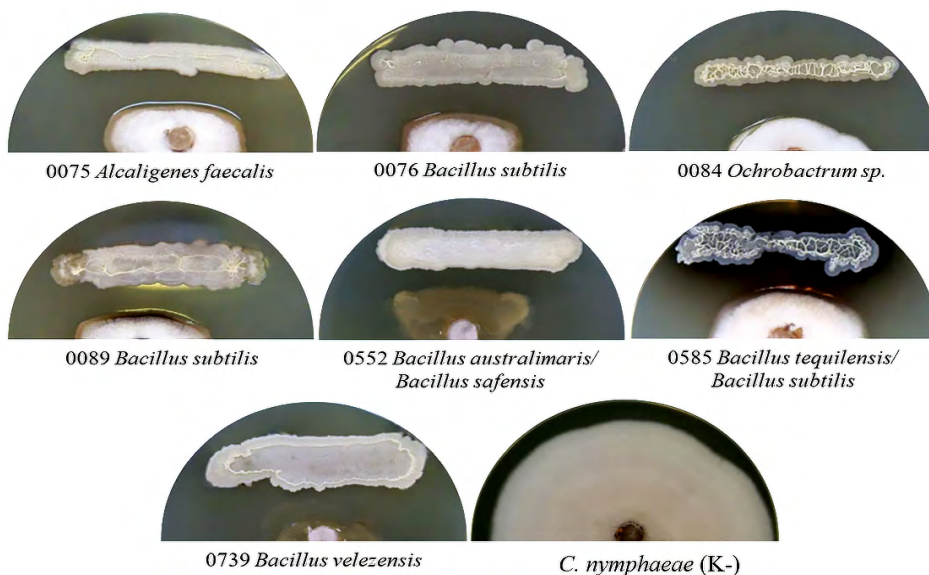
Примечание. Зеленым цветом выделен показатель ингибирования больше или равный 60 %, желтым цветом – значение p-value < 0,05, что указывает на достоверность различий в росте мицелия в контроле и в опыте. Подсчет проводился по тесту Краскела – Уоллиса с пост-хок тестом Данна с поправкой Бенджамини – Хохберга.

Источник: составлено А.В. Смирновой, Ю.В. Цветковой.

Note. Inhibition values greater than or equal to 60% are highlighted in green, while p-values < 0.05 are highlighted in yellow, indicating significant differences in mycelial growth between the control and experimental samples. Calculations were performed using the Kruskal-Wallis test with Dunn's post-hoc test and the Benjamini – Hochberg correction.

Source: compiled by A.V. Smirnova, Y.V. Tsvetkova.

На 7 сутки наибольшую антагонистическую активность в отношении *S. nuyphaeae* (ПИ > 60 %) показали следующие 7 изолятов (в скобках приведен показатель ингибирования): 0075 — *Alcaligenes faecalis* (67,89 %), 0076 — *Bacillus subtilis* (62,60 %), 0084 — *Ochrobactrum* sp. (73,39 %), 0089 — *Bacillus subtilis* (66,34 %), 0552 — *Bacillus australimaris*/ *Bacillus safensis* (60,95 %), 0585 — *Bacillus tequilensis* / *Bacillus subtilis* (67,36 %), 0739 — *Bacillus velezensis* (86,82 %) (рис.).



Скрининг бактериальных изолятов в отношении *C. nymphaeae*

Источник: выполнено А.А. Петрухиной.

Screening of bacterial isolates against *C. nymphaeae*

Source: compiled by A.A. Petrukina.

Изоляты 0076 и 0089 относятся к *Bacillus subtilis*. Вид проявляет антибиотическую активность против фитопатогенов, а также повышает иммунитет растений. Эти изоляты используются в сельском хозяйстве в качестве основы для биопрепаратов, в т.ч. против возбудителей антракноза [1–3].

Изолят 0739 — *Bacillus velezensis* — обладает антагонистическими свойствами в отношении: *Botrytis cinerea*, *Pythium* sp., *Phytophthora* sp., *Sclerotinia* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria alternate*, *Macrophomina phaseolina* и *Rhizoctonia solani* [4].

Изолят 0585 с идентичностью в 99,41 % был определен как *Bacillus tequilensis* или *Bacillus subtilis*. Изоляты *B. tequilensis* обладают антагонистической активностью против грибных патогенов на пшенице, бананах и ряде других культур, в т.ч. в отношении *C. acutatum* на красном перце [5].

Изолят 0552 с идентичностью в 98,45 % определили как *Bacillus australimaris* или *Bacillus safensis*. Вид *B. australimaris* используется для биоконтроля, например, против *Alternaria alternata* [6]. Некоторые изоляты вида *B. safensis* проявляют антибиотическую активность и отмечаются как перспективные агенты биоконтроля в отношении ряда патогенных бактерий и грибов [7].

Изолят 0075 — *Alcaligenes faecali*. Метаболиты *A. faecalis* обладают противогрибной и антибактериальной активностью, в т.ч. подавляют рост грибов *Colletotrichum gloeosporioides* [8].

Изолят 0084 — *Ochrobactrum* sp. Отдельные виды рода эффективны в биоконтроле фитопатогенов. *O. intermedium* показал высокую эффективность против

Colletotrichum falcatum на растениях сахарного тростника, сравнимую с действием карбендазима [9]. В другом исследовании показано, что культуральный фильтрат *O. anthropi* полностью подавил рост грибов рода *Colletotrichum* [10].

Биохимические свойства отобранных перспективных бактериальных изолятов исследовали с помощью тест-системы API 20E. Анализ их метаболических особенностей позволяет косвенно оценить потенциальную фитотоксичность и адаптивную способность штаммов. Результаты приведены в табл. 2.

У всех семи изолятов отмечена высокая активность углеводного метаболизма (3 и более положительных теста 12–20; GLU–ARA), что свидетельствует о метаболической пластичности и способности к эффективной колонизации филлосферы и ризосферы растений. Отсутствие утилизации амигдалина (AMY) изолятами 0075, 0076, 0089 и D-мелибиозы (MEL) изолятом 0084 существенно не снижает их метаболического потенциала, поскольку штаммы способны утилизировать большое количество других субстратов [11].

Метаболизм ароматических аминокислот оценивали по тестам TDA, IND и VP. Все исследуемые изоляты проявляли триптофандеаминазную активность (TDA), характерную для ризосферных и эпифитных бактерий, и не синтезировали индол-3-уксусную кислоту (отрицательный IND), что исключает путь, типичный для фитопатогенов [11]. Положительная VP-активность (синтез ацетоина) указывает на потенциальную способность стимулировать рост растений и индуцировать устойчивость к патогенам [12]. Например, ацетоин и 2,3-бутандиол, продуцируемые бактериями рода *Bacillus*, способны усиливать устойчивость растений к *Pectobacterium carotovorum* и *Pseudomonas syringae*, а также стимулировать рост растений и увеличивать урожайность семян у *Arabidopsis* [12]. Однако способность к синтезу ацетоина не исключает возможности проявления фитотоксичности некоторых штаммов в стрессовых для них условиях.

Отрицательные результаты тестов ADH, LDC и ODC свидетельствуют об отсутствии у изолятов ферментов деградации аргинина, лизина и орнитина. Положительная активность ADH (аргининдигидролаза) могла бы указывать на способность регулировать pH ризосферы через выделение аммиака [13]. Активность LDC (лизиндекарбоксилаза) связана с синтезом кадаверина, который участвует в развитии корневой системы, способствует стрессоустойчивости и прорастанию семян [14]. ODC-активность (орнитиндекарбоксилаза) связана с продукцией путресцина, который увеличивает стрессоустойчивость растений, а также стимулирует рост корней и побегов [15]. Отсутствие этих активностей ограничивает потенциальное положительное влияние изолятов на растения через данные метаболические пути.

Положительный результат теста CIT у изолята 0084 свидетельствует о способности к утилизации цитрата, что указывает на альтернативный энергетический метаболизм при дефиците углеводов [16]. Отрицательные результаты теста H₂S у всех изолятов исключают продукцию сероводорода, который, по последним данным, участвует в регуляции стрессоустойчивости, роста растений и симбиотической фиксации азота [17].

Таблица 2 / Table 2

Результаты оценки биохимических свойств изолятов с помощью системы тестов API 20 E / The results of evaluation of biochemical properties of isolates using the API 20 E test system

Шифр	Название	Субстрат																			
		ONPG	ADH	LDC	ODC	CIT	H ₂ S	URE	TDA	IND	VP	GEL	GLU	MAN	INO	SOR	RHA	SAC	MEL	AMY	ARA
0075	<i>Alcaligenes faecalis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
0076	<i>Bacillus subtilis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
0084	<i>Ochrobactrum sp.</i>	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
0089	<i>Bacillus subtilis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
0552	<i>Bacillus australimaris/ Bacillus safensis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0585	<i>Bacillus tequilensis/ Bacillus subtilis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0739	<i>Bacillus velezensis</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: Субстраты, представленные в системе тестов: 2-нитрофенил-β-D-галактопиранозид (ONPG), L-аргинин (ADH), L-лизин (LDC), L-омитин (ODC), цитрат натрия (CIT), тиосульфат натрия (H₂S), мочевины (URE), L-триптофан (TDA), индол (IND), пируват натрия (VP), желатин (GEL), D-глюкоза (GLU), D-маннит (MAN), инозит (INO), D-сорбит (SOR), L-рамноза (RHA), D-сахароза (SAC), D-мелибиоза (MEL), амигдалин (AMY), L-арабиноза (ARA).

Note: Substrates included in the test system: 2-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside (ONPG), L-arginine (ADH), L-lysine (LDC), L-ornithin (ODC), sodium thiosulfate (H₂S), urea (URE), L-tryptophan (TDA), indole (IND), sodium pyruvate (VP), gelatin (GEL), D-glucose (GLU), D-mannitol (MAN), inositol (INO), D-sorbitol (SOR), L-rhamnose (RHA), D-sucrose (SAC), D-melibiose (MEL), amygdalin (AMY), L-arabinose (ARA).

Источник: составлено Д.А. Доморацкой.

Source: compiled by D.A. Domoratskaya.

Положительные результаты теста ONPG для всех изолятов кроме 0739 указывают на их способность расщеплять лактозоподобные субстраты, что повышает их адаптивный потенциал. Отрицательные результаты теста URE исключают продукцию уреазы и связанное с ней подщелачивание ризосферы, предотвращая потенциальную аммиачную токсичность для растений [18].

Отсутствие желатиназной активности (GEL) свидетельствует о низком протеолитическом потенциале, что снижает риски повреждения растительных тканей, характерных для фитопатогенов [19].

Заключение

В ходе исследования идентифицировано и отобрано для дальнейшего исследования семь штаммов бактерий, проявляющих высокую антагонистическую активность в отношении патогена *S. nymphaeae*, входящего в видовой комплекс *Colletotrichum acutatum*. Наиболее эффективными оказались следующие: 0075 — *Alcaligenes faecalis*, 0076 — *Bacillus subtilis*, 0084 — *Ochrobactrum sp.*, 0089 — *Bacillus subtilis*, 0552 — *Bacillus australimaris/ Bacillus safensis*, 0585 — *Bacillus tequilensis / Bacillus subtilis*, 0739 — *Bacillus velezensis*.

На основании литературных данных и анализа биохимических профилей можно предположить, что отобранные изоляты не являются фитотоксичными и обладают высоким адаптивным потенциалом к колонизации растений. Данные штаммы представляются перспективными для разработки нового биопрепарата против антракноза земляники. Внедрение такого биологического средства защиты обеспечит экологическую безопасность сельскохозяйственной продукции и эффективный контроль над патогеном.

Список литературы / References

1. Ali A, Iftikhar Y, Mubeen M., Haider A, Zeshan M, Asad Z, et al. Antagonistic potential of bacterial species against fungal plant pathogens (FPP) and their role in plant growth promotion (PGP): a review. *Phyton — International Journal of Experimental Botany*. 2022;91(9):1859–1877. doi: 10.32604/phyton.2022.021734 EDN: FGJASQ
2. Nikel PI, Martínez-García E, de Lorenzo V. Biotechnological domestication of pseudomonads using synthetic biology. *Nature Reviews Microbiology*. 2014;12:368–379. doi: 10.1038/nrmicro3253
3. Kim H-M, Lee K-J, Chae J-C. Postharvest biological control of *Colletotrichum acutatum* on apple by *Bacillus subtilis* HM1 and the structural identification of antagonists. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2015;25(11):1954–1959. doi: 10.4014/jmb.1507.07100
4. Basalaeva DL, Nikelshparg MI, Evstigneeva SS, Glinskaya EV. Antagonistic activity of *Bacillus velezensis*. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2022;22(1):57–63. (In Russ.). doi: 10.18500/1816-9775-2022-22-1-57-63 EDN: EPRBMZ
Басалаева Д.Л., Никельшпарг М.И., Евстигнеева С.С., Глинская Е.В. Антагонистическая активность бактерий *Bacillus velezensis* // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22. № 1. С. 57–63. doi: 10.18500/1816-9775-2022-22-1-57-63 EDN: EPRBMZ
5. Bernstein B, Zehr EI, Dean RA, Shabi E. Characteristics of *Colletotrichum* from peach, apple, pecan, and other hosts. *Plant Disease*. 1995;79(5):478–483. doi: 10.1094/pd-79-0478
6. Semwal P, Mishra SK, Majhi B, Mishra A, Joshi H, Misra S, et al. *Bacillus australimaris* protect *Gloriosa superba* L. against *Alternaria alternata* infestation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2024;40(11):354. doi: 10.1007/s11274-024-04156-y EDN: YPYTWO

7. Kamilari E, O'Connor PM, Farias FMD, Johnson CN, Buttimer C, Deliephan A, et al. *Bacillus safensis* APC 4099 has broad-spectrum antimicrobial activity against both bacteria and fungi and produces several antimicrobial peptides, including the novel circular bacteriocin safencin E. *Applied and Environmental Microbiology*. 2025;91(1):e01942–24. doi: 10.1128/aem.01942-24 EDN: GBUIHQ
8. Yokoyama SI, Adachi Y, Asakura S, Kohyama E. Characterization of *Alcaligenes faecalis* strain AD15 indicating biocontrol activity against plant pathogens. *Journal of General and Applied Microbiology*. 2013;59(2):89–95. doi: 10.2323/jgam.59.089 EDN: YCOTFJ
9. Patel P, Shah R, Joshi B, Ramar K, Natarajan A. Molecular identification and biocontrol activity of sugarcane rhizosphere bacteria against red rot pathogen *Colletotrichum falcatum*. *Biotechnology Reports*. 2019;21:e00317. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00317
10. Soumyamol VB, Nejumunnisa PN, Roy CB. Biocontrol adeptness of bacterial endophytes antagonistic to *Colletotrichum* spp. causing *Colletotrichum* leaf disease in rubber (*Hevea brasiliensis*) and harnessing its plant growth-promoting traits. *South African Journal of Botany*. 2023;161:151–160. doi: 10.1016/j.sajb.2023.08.009 EDN: JNVCIW
11. Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*. 2007;31(4):425–448. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x EDN: MHQDER
12. Xie X, Zhang H, Pare PW. Sustained growth promotion in *Arabidopsis* with long-term exposure to the beneficial soil bacterium *Bacillus subtilis* (GB03). *Plant Signaling and Behavior*. 2009;4(10):948–953. doi: 10.4161/psb.4.10.9709
13. Liu Y, Wilson AJ, Han J, Hui A, O'Sullivan L, Huan T, Haney CH. Amino acid availability determines plant immune homeostasis in the Rhizosphere microbiome. *mBio*. 2023;14(2):e03424–22. doi: 10.1128/mbio.03424-22
14. Jancewicz AL, Gibbs NM, Masson PH. Cadaverine's functional role in plant development and environmental response. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:870. doi: 10.3389/fpls.2016.00870
15. González-Hernández AI, Scalschi L, Vicedo B, Marcos-Barbero EL, Morcuende R, Camañes G. Putrescine: A key metabolite involved in plant development, tolerance and resistance responses to stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(6):2971. doi: 10.3390/ijms23062971 EDN: ETSNWO
16. Hendry TL. *The role of citrate in plant-pathogen interactions*. University of Cape Town; 2016.
17. Gökdemir FŞ, Eyidoğan F. The role of H₂S in plant defense against pathogens and herbivores. In: *H&S in Plants. Past, Present and Beyond. Plant Gasotransmitters and Molecules with Hormonal Activity*. 2024. p.231–244. doi: 10.1016/b978-0-323-99035-6.00006-3
18. Britto DT, Kronzucker HJ. NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*. 2002;159(6):567–584. doi: 10.1078/0176-1617-0774 EDN: MCIYBR
19. Olivieri FP, Maldonado S, Tonon CV, Casalongue CA. Hydrolytic activities of *Fusarium solani* and *Fusarium solani* f. sp. *eumartii* associated with the infection process of potato tubers. *Journal of Phytopathology*. 2004;152(6):337–344. doi: 10.1111/j.1439-0434.2004.00851.x EDN: FPHLMT

Об авторах:

Цветкова Юлия Владиславовна — научный сотрудник лаборатории микологии испытательного лабораторного центра, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; аспирант кафедры микологии и альгологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; e-mail: yutska@mail.ru

Смирнова Анна Владимировна — младший научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru
ORCID: 0009-0001-4827-1980 SPIN-код: 5449-5330

Петрухина Анастасия Алексеевна — младший научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: anast.suglobova@gmail.com
ORCID: 0009-0002-2951-9386 SPIN-код: 4281-8197

Доморацкая Дана Алексеевна — младший научный сотрудник лаборатории бактериологии и анализа генетически модифицированных организмов испытательного лабораторного центра, Всероссийский

центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: danadomoratskaya@mail.ru

ORCID: 0009-0005-9362-6655 SPIN-код: 8506-7534

Яремко Анастасия Богдановна — младший научный сотрудник центра коллективного пользования «Молекулярная генетика», Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: an_ya94@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3295-8080 SPIN-код: 4456-1312

About authors:

Tsvetkova Yulia Vladislavovna — Researcher, Mycology Laboratory, Testing Laboratory Center, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; postgraduate student, Mycology and Algology Department, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: yutska@mail.ru

Smirnova Anna Vladimirovna — Junior Researcher, Mycology and Helminthology Department, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru

ORCID: 0009-0001-4827-1980 SPIN-code: 5449-5330

Petrukhina Anastasia Alekseevna — Junior Researcher, Scientific and Methodological Department of Mycology and Helminthology, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: anast.suglobova@gmail.com

ORCID: 0009-0002-2951-9386 SPIN-coide: 4281-8197

Domoratskaya Dana Alekseevna — Junior Researcher, Laboratory of Bacteriology and Analysis of Genetically Modified Organisms, Testing Laboratory Center, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: danadomoratskaya@mail.ru

ORCID: 0009-0005-9362-6655 SPIN-code: 8506-7534

Yaremko Anastasia Bogdanovna — Junior Researcher, Molecular Genetics Shared Use Center, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: an_ya94@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3295-8080 SPIN-code: 4456-1312