

МИКРОБИОЛОГИЯ И ВИРУСОЛОГИЯ

Статья поступила в редакцию: 14.07.2026

Статья принята к публикации: 27.07.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 632.954+579.6

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23267

Отбор перспективных микроорганизмов-антагонистов для биологического контроля фитопатогенных грибов рода *Alternaria*

Азимова Нодира Шойим кизи

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Халилов Илхом Маматкулович

д-р биол. наук, заведующий

лабораторией биоконтроля фитопатогенов, Институт микробиологии Академии наук

Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ilkhom2002@yahoo.com

Хамидова Хуршиде Муминовна

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: khamidovakh@mail.ru

Каримов Хусниддин Холмаматович

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: karimov_h_kh@mail.ru

Алиев Зафар Зокирович

докторант (PhD)

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: aliyevezafar24@gmail.com

Назарова Малика Хусан кизи

студент

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Ноипова Гавхар Боходир кизи

студент

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Равшанов Бахтиёр Актамович

докторант (PhD)

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: baxtiyoraktamovech@gmail.com

Selection of Promising Antagonistic Microorganisms for the Biological Control of Phytopathogenic Fungi of the Genus *Alternaria*

Azimova Nodira

candidate of Biological Sciences

Senior Researcher

Institute of Microbiology

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Khalilov Ilkhom

doctor of Biological Sciences

Head of the Laboratory of Phytopathogen Biocontrol

Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Khamidova Khursheda

candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Karimov Khusniddin

candidate of Biological Sciences

Senior Researcher

Institute of Microbiology

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Aliyev Zafar

PhD student

Institute of Microbiology

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Nazarova Malika

student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Noipova Gavkhar

student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Ravshanov Bakhtiyor

PhD student

Institute of Microbiology

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Библиографическое описание: Отбор перспективных микроорганизмов-антагонистов для биологического контроля фитопатогенных грибов рода *Alternaria* // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Азимова Н.Ш. кизи [и др.]. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23267>

Аннотация

Целью настоящего исследования являлась оценка антагонистической активности перспективных штаммов микроорганизмов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* в условиях *in vitro*. В качестве антагонистов использовали штаммы *Trichoderma asperellum* UzA-4, *Bacillus safensis* FVPP 3/11, *Bacillus licheniformis* sh6.25, а также два штамма рода *Streptomyces*. Объектами исследования служили четыре изолята *Alternaria alternata*, один изолят *A. tenuissima* и один изолят *A. solani*, выделенные из картофеля и овощных культур. Антагонистическую активность определяли методом двойной культуры на картофельно-декстрозном агаре с последующим расчётом процента ингибирования радиального роста фитопатогенов. Установлено, что штамм *T. asperellum* UzA-4 проявил наиболее высокую биоконтрольную активность, обеспечивая 100 %-ное ингибирование роста всех исследованных изолятов *Alternaria*. Степень ингибирования штаммом *B. safensis* FVPP 3/11 составила от 27,0 до 62,0 %, тогда как штамм *B. licheniformis* sh6.25 ингибировал рост фитопатогенов в пределах 12,25–55,0 %. Штаммы *Streptomyces* характеризовались сравнительно низкой антагонистической активностью (0–36,0 %). Полученные результаты свидетельствуют, что среди исследованных микроорганизмов наиболее перспективным кандидатом для дальнейших исследований в качестве агента биологического контроля является штамм *T. asperellum* UzA-4. Вместе с тем его практическая эффективность требует дальнейшей оценки в тепличных и полевых условиях, а также изучения механизмов антагонистического действия.

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the *in vitro* antagonistic activity of promising microbial strains against phytopathogenic fungi of the genus *Alternaria*. The antagonistic microorganisms included *Trichoderma asperellum* UzA-4, *Bacillus safensis* FVPP 3/11, *Bacillus licheniformis* sh6.25, and two *Streptomyces* strains. Four isolates of *Alternaria alternata*, one isolate of *A. tenuissima*, and one isolate of *A. solani*, obtained from potato tubers and vegetable crops, were used as phytopathogenic test organisms. Antagonistic activity was assessed using the dual culture assay on potato dextrose agar, followed by calculation of the percentage inhibition of radial mycelial growth.

The results demonstrated that *T. asperellum* UzA-4 exhibited the highest biocontrol activity, completely inhibiting (100 %) the growth of all tested *Alternaria* isolates. The inhibition rates of *B. safensis* FVPP 3/11 ranged from 27.0 % to 62.0 %, whereas *B. licheniformis* sh6.25 inhibited fungal growth by 12.25–55.0 %. The *Streptomyces* strains showed comparatively low antagonistic activity (0–36.0 %).

The obtained results indicate that *T. asperellum* UzA-4 is the most promising candidate for further investigation as a biological control agent against phytopathogenic fungi of the genus *Alternaria*. However, further studies under greenhouse and field conditions, as well as investigations into its mechanisms of antagonistic activity, are required before its practical application can be recommended.

Ключевые слова: *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, *Alternaria solani*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus safensis*, *Bacillus licheniformis*, *Streptomyces*, антагонизм, биологический контроль.

Keywords: *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, *Alternaria solani*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus safensis*, *Bacillus licheniformis*, *Streptomyces*, antagonism, biological control.

Введение

Непрерывный рост численности населения мира из года в год повышает спрос на сельскохозяйственную продукцию. В связи с этим разработка эффективных и экологически безопасных мер борьбы с заболеваниями, вызываемыми фитопатогенными микроорганизмами, приобретает особую актуальность для сохранения урожайности сельскохозяйственных культур и обеспечения продовольственной безопасности. В настоящее время среди экономически значимых фитопатогенов сельскохозяйственных культур особое место занимают грибы рода *Alternaria*. Представители данного рода вызывают такие заболевания, как ранняя пятнистость, пятнистость листьев, гнили плодов и клубней картофеля, томата, перца, моркови, капусты, лука, подсолнечника, зерновых и многих других сельскохозяйственных культур, а при благоприятных климатических условиях могут приводить к потерям урожая до 20–80 % [22, 12, 20].

Виды рода *Alternaria* являются некротрофными фитопатогенами, которые вызывают гибель растительных клеток в процессе развития заболевания за счёт синтеза фитотоксинов, гидролитических ферментов и других факторов вирулентности. К настоящему времени у грибов данного рода выявлено более 70 вторичных метаболитов и фитотоксинов, большинство из которых являются важными факторами патогенности и агрессивности. Геномные исследования также свидетельствуют о наличии многочисленных генов, связанных с биосинтезом токсинов, адаптацией к факторам окружающей среды и патогенностью, что подтверждает высокую адаптивность видов рода *Alternaria* [9, 18, 10].

Для контроля заболеваний, вызываемых *Alternaria* в сельском хозяйстве, преимущественно применяются химические фунгициды. Однако, длительное использование фунгицидов с одинаковым механизмом действия приводит к появлению резистентности у патогенов, нарушению микробиоценоза почвы, загрязнению окружающей среды, а также накоплению остаточных количеств пестицидов в сельскохозяйственной продукции. В связи с этим разработка экологически безопасных, устойчивых и эффективных средств биологической защиты является одним из приоритетных направлений современной фитопатологии [20].

В биологической борьбе с фитопатогенными грибами наиболее перспективными антагонистами признаны микроорганизмы, относящиеся к родам *Trichoderma*, *Bacillus* и *Streptomyces*. Виды рода *Trichoderma* подавляют рост фитопатогенов посредством микопаразитизма, конкуренции за питательные вещества и среду обитания, синтеза гидролитических ферментов, таких как хитиназа, β -1,3-глюканаза и протеаза, а также вторичных метаболитов, обладающих антибиотическими свойствами. Кроме того, они индуцируют системную устойчивость растений, повышая их сопротивляемость к заболеваниям [13, 12].

Бактерии рода *Bacillus* проявляют высокую антифунгальную активность в отношении многих фитопатогенных грибов благодаря синтезу липопептидных антибиотиков, таких как итурин, фенгидин и сурфактин, гидролитических ферментов, а также летучих органических соединений [23]. Они также успешно колонизируют ризосферу и стимулируют рост и развитие растений [11, 8].

Актиномицеты рода *Streptomyces* относятся к числу наиболее важных микроорганизмов — продуцентов природных антибиотиков. Синтезируемые ими антифунгальные метаболиты, сидерофоры и литические ферменты эффективно ингибируют рост мицелия и спорообразование фитопатогенных грибов. Некоторые штаммы способны активировать защитные реакции растений и обеспечивать стабильность микрофлоры ризосферы [7].

Несмотря на это, антагонистические свойства местных штаммов *Trichoderma*, *Bacillus* и *Streptomyces* в отношении представителей рода *Alternaria*, вызывающих заболевания сельскохозяйственных культур, изучены недостаточно. Отбор микроорганизмов с высокой биологической активностью среди местных штаммов является одним из важных этапов создания экологически безопасных биопрепаратов. В связи с этим целью настоящего исследования являлась оценка антагонистической активности в условиях *in vitro* штаммов *Trichoderma*, *Bacillus* и *Streptomyces*, выделенных в лабораториях биоконтроля фитопатогенов и почвенной микробиологии и биотехнологии Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан, в отношении представителей рода *Alternaria*, а также отбор наиболее перспективных штаммов.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовали шесть фитопатогенных изолятов рода *Alternaria*, включая четыре штамма *Alternaria alternata*, один штамм *A. tenuissima* и один штамм *A. solani*, выделенные из клубней картофеля, листьев томата, сладкого перца и плодов баклажана, собранных на территории Ташкентской и Кашкадарьинской областей Республики Узбекистан. Предварительную идентификацию изолятов проводили по комплексу морфолого-культуральных и микроскопических признаков с использованием определителя Ф.Б. Ганнибала [2] и опубликованных литературных данных [5]. Все культуры поддерживались в коллекции лаборатории биоконтроля фитопатогенов Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан.

В качестве микроорганизмов-антагонистов использовали штаммы *Trichoderma asperellum* UzA-4, *Bacillus safensis* FVPP 3/11, *Bacillus licheniformis* sh6.25 [3, 1], а также два почвенных изолята *Streptomyces* sp. 2.1 и *Streptomyces* sp. 7, выделенных из ризосферной почвы хлопчатника Сырдарьинской области и сохраняемых в лабораторной коллекции.

Антагонистическую активность определяли методом двойной культуры на картофельно-декстрозном агаре (КДА) в соответствии с общепринятой методикой [17]. Среду КДА готовили согласно инструкции производителя, её pH составлял $5,6 \pm 0,2$. Штаммы *Trichoderma* и *Streptomyces* предварительно культивировали на КДА при температуре 28 ± 1 °C и 30 ± 1 °C соответственно в течение 5 суток. Штаммы *Bacillus* выращивали на мясопептонном агаре (МПА, pH $7,0 \pm 0,2$) при 28 ± 1 °C в течение 48 часов. Фитопатогенные грибы

культивировали на КДА при 25 ± 1 °С в течение 5 суток. Перед постановкой эксперимента чистоту всех культур контролировали микроскопически и путём повторного посева на соответствующие питательные среды.

Для постановки опыта из активно растущей периферической зоны колоний вырезали агаровые блоки диаметром 6 мм стерильным пробочным сверлом. В чашках Петри диаметром 90 мм агаровый блок фитопатогенного гриба и блок антагониста размещали на расстоянии около 50 мм друг от друга (от центра до центра) по диаметру чашки. Контрольные варианты содержали только фитопатогенный гриб без антагониста. Все варианты инкубировали при 25 ± 1 °С в течение 7 суток.

После окончания инкубации измеряли радиальный рост колонии фитопатогенного гриба в направлении антагониста. Процент ингибирования рассчитывали по формуле:

$$I (\%) = [(R_1 - R_2) / R_1] \times 100$$

где:

R_1 — радиус колонии фитопатогенного гриба в контрольном варианте (мм);

R_2 — радиус колонии фитопатогенного гриба в присутствии антагониста (мм).

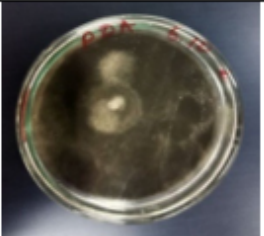
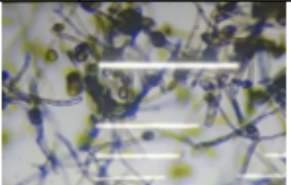
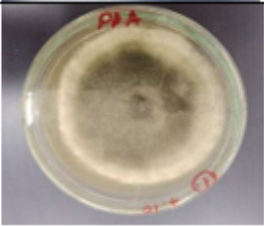
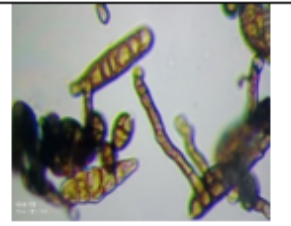
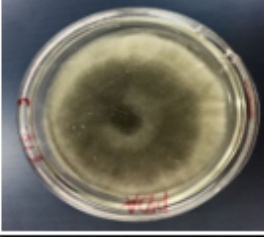
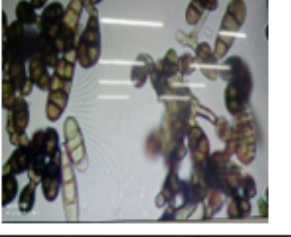
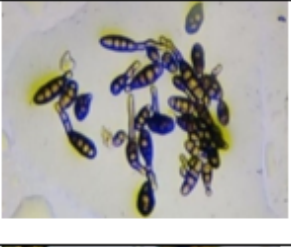
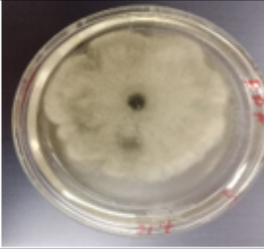
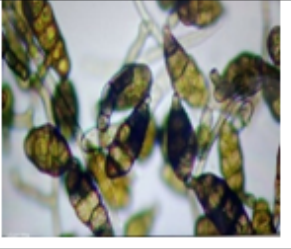
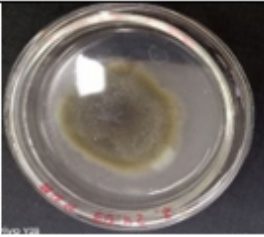
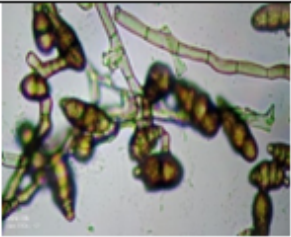
Все эксперименты проводили в трёх независимых повторностях. Полученные результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Статистическую обработку данных выполняли методом однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA) с использованием пакета Microsoft Excel (Analysis ToolPak). Различия между вариантами считали статистически значимыми при уровне вероятности $p < 0,05$.

Результаты исследований

В таблице 1 представлены сведения о представителях рода *Alternaria*, использованных в настоящем исследовании. Вирулентность данных грибов была определена в наших предыдущих исследованиях, согласно которым они проявляли высокую и низкую патогенность [4, 16].

Таблица 1.

Грибы рода *Alternaria*, выделенные на территории Ташкентской и Кашкадарьинской областей

№	Наименование штамма	Источник выделения	Колония (на среде КДА)	Микроскопическая картина (увеличение ×400)
1	<i>A. alternata</i> 5/13	Лист картофеля (Кашкадарьинская область)		
2	<i>A. alternata</i> 5/14	Плод баклажана (Кашкадарьинская область)		
3	<i>A. tenuissima</i> 1/3	Клубень картофеля (Ташкентская область)		
4	<i>A. alternata</i> 1/56	Клубень картофеля (Ташкентская область)		
5	<i>A. solani</i> 1/9	Лист сладкого перца (Ташкентская область)		
6	<i>A. alternata</i> 5/7	Лист томата (Кашкадарьинская область)		

В отношении данных фитопатогенных грибов были проведены исследования по отбору активных штаммов микроорганизмов-антагонистов. Тесты на антагонистическую активность в отношении каждого фитопатогенного гриба проводили, как показано на рисунке 1, а на основании полученных результатов была составлена таблица 2.

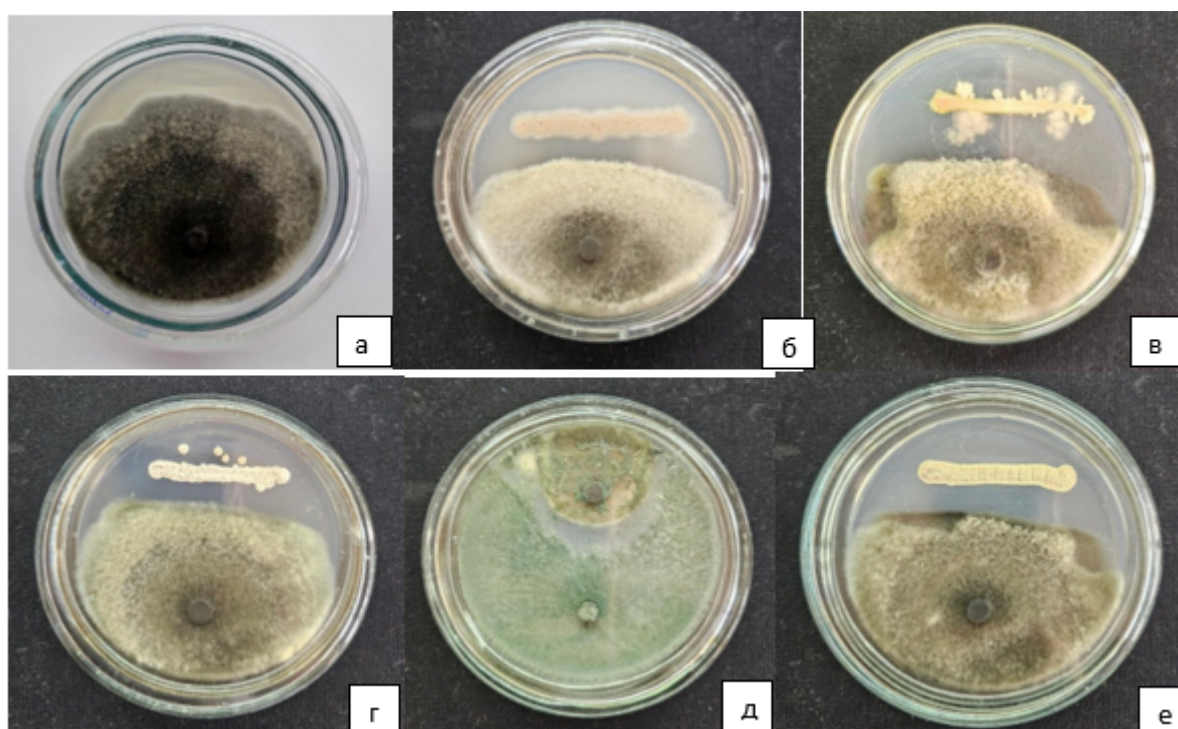


Рисунок 1. Антагонистическое взаимодействие микроорганизмов со штаммом *A. alternata* 5/13: а — контроль; б — *B. safensis* FVPP 3/11; в — *B. licheniformis* sh6.25; г — *Streptomyces* sp. 2.1; д — *T. asperellum* Uza-4; е — *Streptomyces* sp. 7

Таблица 2.

Ингибирующее действие микроорганизмов-антагонистов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* (в %)

№	Фитопатогены Антагонисты	<i>A. alternata</i> 5/13	<i>A. alternata</i> 5/14	<i>A. tenuis-</i> <i>sima</i> 1/3	<i>A. alternata</i> 1/56	<i>A. solani</i> 1/9	<i>A. alternata</i> 5/7
1	<i>B. safensis</i> FVPP 3/11	36,2±1,8	40±2,0	27±1,5	62±2,0	35±2,1	38±1,9
2	<i>B. licheniformis</i> sh 6.25	27,6±2,0	12,2±1,5	32±2,1	55±2,7	43±1,5	30,5±2,2
3	<i>Streptomyces</i> sp. 2.1	23,4±2,1	8,5±0,7	23,5±2,5	36±1,0	18±1,9	10±1,2
4	<i>T. asperellum</i> Uza-4	100±0,0	100±0,0	100±0,0	100±0,0	100±0,0	100±0,0
5	<i>Streptomyces</i> sp. 7	32±1,2	0±0,0	20±1,5	18±1,0	16,8±1,2	20,5±1,5

Примечание. Данные представлены в виде $M \pm SD$ (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение), $n = 3$. Статистическую значимость различий оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (One-way ANOVA) с использованием Microsoft Excel (Analysis ToolPak) при уровне значимости $p < 0,05$.

Проведённый однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA) показал наличие статистически значимых различий в ингибирующей активности исследованных микроорганизмов ($p < 0,05$).

Ингибирующая активность штаммов микроорганизмов-антагонистов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* проявлялась в различной степени. Согласно полученным результатам, среди исследованных штаммов наиболее высокой антагонистической активностью характеризовался штамм *T. asperellum* UzA-4. Он продемонстрировал 100 %-ное ингибирование в отношении всех исследованных фитопатогенных изолятов — *A. alternata* 5/13, *A. alternata* 5/14, *A. tenuissima* 1/3, *A. alternata* 1/56, *A. solani* 1/9 и *A. alternata* 5/7. Это свидетельствует о высокой универсальной антагонистической активности данного штамма против представителей рода *Alternaria*.

Среди бактериальных антагонистов сравнительно более высокую активность проявил *B.safensis* FVPP 3/11. Степень ингибирования данным штаммом варьировала в пределах 27,0–62,0 % в зависимости от фитопатогенного изолята. Наиболее высокий показатель — 62,0 % — был зарегистрирован в отношении изолята *A. alternata* 1/56. Кроме того, в отношении изолятов *A. alternata* 5/14 и *A. alternata* 5/7 было отмечено ингибирование, составившее соответственно 40,0 и 38,0 %. Штамм *B.licheniformis* sh6.25 также проявил выраженную антагонистическую активность в отношении отдельных изолятов. В частности, данный штамм ингибировал изоляты *A. alternata* 1/56 и *A. solani* 1/9 на 55,0 и 43,0 %, соответственно. Однако, активность в отношении *A. alternata* 5/14 была низкой и составила 12,25 %. Это свидетельствует о том, что антагонистическое действие штамма *B. licheniformis* sh6.25 изменяется в зависимости от особенностей фитопатогенного изолята.

Штамм *Streptomyces* sp. 2.1 также проявил сравнительно низкую ингибирующую активность. Степень его воздействия варьировала в пределах 8,5–36,0 %, при этом максимальная активность (36,0 %) была отмечена в отношении изолята *A. alternata* 1/56. В отношении остальных изолятов степень ингибирования составляла 10,0–23,5 %.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях в антагонистической активности исследованных микроорганизмов в отношении представителей рода *Alternaria*. Наиболее выраженный ингибирующий эффект был установлен у штамма *T. asperellum* UzA-4, который полностью подавлял рост всех исследованных фитопатогенных изолятов. Высокая эффективность данного штамма, вероятно, обусловлена комплексным действием нескольких механизмов биоконтроля, включающих микопаразитизм, конкуренцию за питательные вещества и пространство, а также синтез гидролитических ферментов и антифунгальных вторичных метаболитов. Аналогичные механизмы антагонизма для представителей рода *Trichoderma* неоднократно описаны в литературе [13, 6, 17, 21].

Следует отметить, что абсолютное ингибирование роста всех исследованных изолятов *Alternaria* свидетельствует о широком спектре антагонистической активности штамма *T. asperellum* UzA-4. Однако данный результат был получен исключительно в условиях *in vitro*, где взаимодействие микроорганизмов происходит в контролируемой среде и не отражает всей сложности природных экосистем. В почве и ризосфере эффективность биоконтрольных

агентов может зависеть от множества факторов, включая состав микробного сообщества, физико-химические свойства почвы, температуру, влажность и физиологическое состояние растения-хозяина.

Штаммы *B. safensis* FVPP 3/11 и *Bacillus licheniformis* sh6.25 также проявили выраженную антагонистическую активность, однако уровень ингибирования существенно варьировал в зависимости от исследуемого фитопатогенного изолята. Подобные различия могут быть обусловлены неодинаковой чувствительностью отдельных штаммов *Alternaria* к синтезируемым бактериями липопептидам, гидролитическим ферментам и другим биологически активным соединениям [11]. Кроме того, различные изоляты фитопатогенов могут отличаться скоростью роста, толщиной клеточной стенки и интенсивностью образования защитных метаболитов, что также влияет на эффективность антагонистического взаимодействия.

Штаммы *Streptomyces* sp. 2.1 и *Streptomyces* sp. 7 характеризовались значительно более низкой антифунгальной активностью. Несмотря на то, что представители рода *Streptomyces* являются известными продуцентами антибиотиков и других антимикробных соединений, эффективность отдельных штаммов существенно зависит от условий культивирования, состава питательной среды, продолжительности инкубации и особенностей синтеза вторичных метаболитов [7, 14, 24]. Поэтому полученные результаты не свидетельствуют об отсутствии биоконтрольного потенциала данных изолятов, а указывают на необходимость дальнейшей оптимизации условий их культивирования и дополнительного изучения механизмов антагонистического действия. Полученные результаты согласуются с опубликованными данными других исследователей, согласно которым представители родов *Trichoderma* и *Bacillus* являются одними из наиболее эффективных агентов биологического контроля фитопатогенных грибов, включая представителей рода *Alternaria* [6, 11, 15, 17, 19, 23]. Вместе с тем научная ценность настоящего исследования заключается в сравнительной оценке антагонистической активности местных штаммов микроорганизмов, выделенных на территории Республики Узбекистан, что позволяет определить наиболее перспективные культуры для последующего создания отечественных биологических препаратов.

Следует учитывать, что настоящее исследование представляет собой первичный скрининг антагонистической активности *in vitro*. Поэтому полученные результаты следует рассматривать как первый этап отбора перспективных штаммов. Для окончательной оценки их практической эффективности необходимы дальнейшие исследования, включающие молекулярную идентификацию наиболее чувствительных изолятов *Alternaria*, изучение механизмов антагонизма, определение способности продуцировать биологически активные соединения, оценку фитотоксичности, а также испытания в тепличных и полевых условиях.

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что антагонистическая активность исследованных микроорганизмов в отношении фитопатогенных грибов рода *Alternaria* существенно различалась. Среди всех испытанных штаммов наиболее высокой биологической активностью характеризовался *T. asperellum* UzA-4, который обеспечивал полное ингибирование роста всех исследованных изолятов *Alternaria* в условиях *in vitro*.

Штаммы *B. safensis* FVPP 3/11 и *B. licheniformis* sh6.25 проявили умеренную антагонистическую активность, тогда как исследованные представители рода *Streptomyces* характеризовались сравнительно низкой эффективностью.

Полученные результаты позволяют рассматривать штамм *T. asperellum* UzA-4 как наиболее перспективный кандидат для дальнейших исследований в качестве биологического агента защиты растений против фитопатогенных грибов рода *Alternaria*. Вместе с тем следует учитывать, что настоящая работа выполнена исключительно в условиях *in vitro*, поэтому полученные данные отражают только начальный этап отбора перспективных микроорганизмов.

Для подтверждения практической эффективности исследуемых штаммов необходимы дальнейшие исследования, включающие изучение механизмов антагонистического действия, определение способности к синтезу биологически активных соединений, оценку безопасности и фитотоксичности, а также проведение тепличных и полевых испытаний. Выполнение указанных исследований позволит объективно оценить возможность практического применения наиболее активных штаммов при разработке отечественных биологических препаратов для защиты сельскохозяйственных культур.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Институту микробиологии Академии наук Республики Узбекистан за предоставленную возможность проведения исследований и создание необходимых условий для выполнения экспериментальной работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственной бюджетной программы научных исследований Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан.

Список литературы

1. Азимова Н.Ш. Штамм *Bacillus safensis* FVPP 3/11 для защиты сельскохозяйственных растений от фитопатогенных грибов / Н.Ш. Азимова, Х.М. Хамидова, Х.Х. Каримов, И.М. Халилов, Н.С. Хайтбаева, Ф.Б. Кобилов, М.М. Назиров, И.Х. Мардонов // Патент на изобретение. – 2026.
2. Ганнибал Ф.Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*: методическое пособие / Ф.Б. Ганнибал; под ред. М.М. Левитина. – Санкт-Петербург: ГНУ ВИЗР Россельхозакадемии, 2011. – 70 с.
3. Н.Ш. Азимова, Х.М. Хамидова, И.М. Халилов, С.Н. Еланский, Е.М. Чудинова, Х.Х. Каримов, К.С. Маманазарова, Ф.Б. Кобилов. Антагонистический потенциал выделенных в Узбекистане бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas* и грибов рода *Trichoderma* в отношении *Phytophthora infestans* // Микология и фитопатология. – 2024. – Т. 58, № 1. – DOI: 10.31857/S0026364824010049.
4. Равшанов Б. Выделение фитопатогенных грибов из клубней картофеля и оценка антагонистической активности микроорганизмов в отношении выделенных фитопатогенов / Б. Равшанов, Х. Каримов, Х. Хамидова, Н. Азимова // Вестник Национального университета Узбекистана. – 2025. – № 3.

5. Халмуминова Г.К. Виды рода *Alternaria* в Узбекистане / Халмуминова Г.К., Содигов Б.С., Камилов Ш.Г // Вестник аграрной науки Узбекистана. – 2018. – № 4.
6. Alfiky A. Deciphering *Trichoderma*–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications / Alfiky A., Weisskopf L // *Journal of Fungi*. – 2021. – Т. 7, № 1. – DOI: 10.3390/jof7010061.
7. Barka E.A. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria / E.A. Barka, P. Vatsa, L. Sanchez, N. Gaveau-Vaillant, C. Jacquard, H. Klenk, C. Clément, Y. Ouhdouch, G.P. van Wezel // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. – 2016. – Т. 80, № 1. – DOI: 10.1128/mmbr.00019-15.
8. Caulier S. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group / Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J // *Frontiers in Microbiology*. – 2019. – Т. 10. – DOI: 10.3389/fmicb.2019.00302.
9. Chung K.R. Stress Response and Pathogenicity of the Necrotrophic Fungal Pathogen *Alternaria alternata* / Chung K. R // *Scientifica*. – 2012. – Т. 2012. – DOI: 10.6064/2012/635431.
10. Dang, H.X. The *Alternaria* genomes database: a comprehensive resource for a fungal genus comprised of saprophytes, plant pathogens, and allergenic species / Dang H.X., Pryor B., Peever T.L., Lawrence C. B // *BMC Genomics*. – 2015. – Т. 16. – DOI: 10.1186/s12864-015-1430-7.
11. Fira D. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species / Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S // *Journal of Biotechnology*. – 2018. – Т. 285. – DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.07.044.
12. Garg S. *Alternaria* Blight of Tomato: A Review of Disease and Pathogen Management Approaches / Garg S., Kumar D.R., Yadav S., Kumar M., Yadav J // *Acta Scientific Agriculture*. – 2020. – Т. 4, № 11.
13. Harman G.E. *Trichoderma* species–Opportunistic, avirulent plant symbionts / Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M // *Nature Reviews Microbiology*. – 2004. – Т. 2, № 1. – DOI: 10.1038/nrmicro797.
14. Hu L. Enhancement of Mycelial Growth and Antifungal Activity by Combining Fermentation Optimization and Genetic Engineering in *Streptomyces pratensis* S10 / Hu L., Sun Y., Jia R., Dong X., Shen X., Wang Y // *Microorganisms*. – 2017. – Т. 5, № 8. – DOI: 10.3390/microorganisms50801943.
15. Islam S. Isolation and Identification of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Cucumber Rhizosphere and Their Effect on Plant Growth Promotion and Disease Suppression / Islam S., Akanda A.M., Prova A., Islam M.T., Hossain M.M // *Frontiers in Microbiology*. – 2016. – Т. 7. – DOI: 10.3389/fmicb.2016.01360.
16. Khaitbaeva N. Study of Phytotoxic Properties of Pathogenic Fungi in Eggplants / N. Khaitbaeva, N. Azimova, J. Sherkulova, X. Khamidova, Kh. Karimov, R. Kodirova, Z. Zufarova // *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*. – 2023. – Т. 11, № 2. – DOI: 10.14741/ijmcr/v.11.2.1.

17. Mao T. Pepper growth promotion and Fusarium wilt biocontrol by *Trichoderma hamatum* MHT1134 / Mao T., Chen X., Ding H., Chen X., Jiang X // *Biocontrol Science and Technology*. – 2020. – Т. 30, № 11. – DOI: 10.1080/09583157.2020.1803212.
18. Meena M. *Alternaria* Toxins: Potential Virulence Factors and Genes Related to Pathogenesis / Meena M., Gupta S.K., Swapnil P., Zehra A., Dubey M.K., Upadhyay R. S // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Т. 8. – DOI: 10.3389/fmicb.2017.01451.
19. Rios Velasco C. Identification and antagonistic activity in vitro of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi / C. Rios Velasco, J.M. Caro Cisneros, D.I. Berlanga Reyes, M.F. Ruiz Cisneros, J.J. Ornelas Paz, M.Á. Salas Marina, V.M. Guerrero Prieto // *Revista Mexicana de Fitopatología*. – 2016. – Т. 34, № 1. – DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1507-1.
20. Schmey T. *Alternaria* diseases on potato and tomato / Schmey T., Tominello-Ramirez C.S., Brune C., Stam R // *Molecular Plant Pathology*. – 2024. – Т. 25, № 3. – DOI: 10.1111/mpp.13435.
21. Shavkiev J. Some volatile metabolites produced by the antifungal-*Trichoderma asperellum* UZ-A4 micromycete / Shavkiev J., Kholmamatovich K.H., Ismoilovna T.B., Azimovab N.S., Nazirbekov M.K., Khamidova K.M // *International Journal of Phytopathology*. – 2022. – Т. 11, № 3.
22. Thomma B.P.H.J. *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite / Thomma B.P.H. J // *Molecular Plant Pathology*. – 2003. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x.
23. Valeria Ruiz V. Regulation, Biosynthesis, and Extraction of *Bacillus*-Derived Lipopeptides and Its Implications in Biological Control of Phytopathogens / V. Valenzuela Ruiz, A. Gándara-Ledezma, M.F. Villarreal-Delgado, E.D. Villa-Rodríguez, F.I. Parra-Cota, G. Santoyo, L.J. Gómez-Godínez, L.A. Cira Chávez, S. de los Santos-Villalobos // *Stresses*. – 2024. – Т. 4, № 1. – DOI: 10.3390/stresses4010007.
24. Vurukonda S.S.K.P. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes / Vurukonda S.S.K.P., Giovanardi D., Stefani E // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2018. – Т. 19, № 4. – DOI: 10.3390/ijms19040952.

References

1. Azimova N.Sh., Khamidova Kh.M., Karimov Kh.Kh., Khalilov I.M., Khajtbaeva N.S., Kobilov F.B., Nazirov M.M., Mardonov I.Kh. [Bacillus safensis FVPP 3/11 Strain for Protection of Agricultural Plants from Phytopathogenic Fungi] // Patent na izobretenie. – 2026. (In Russ.)
2. Gannibal F.B. [Monitoring of Alternariosis in Agricultural Crops and Identification of Alternaria Fungi: Methodological Guide] / F.B. Gannibal; pod red. M.M. Levitina. – Sankt-Peterburg: GNU VIZR Rossel'khozakademii, 2011. – 70 s (In Russ.)
3. Azimova N.Sh.Kh.M. [Antagonistic Potential of Bacillus and Pseudomonas Bacteria and Trichoderma Fungi Isolated in Uzbekistan Against Phytophthora infestans] // *Mikologiya i fitopatologiya*. – 2024. – Т. 58, № 1. – DOI: 10.31857/S0026364824010049. (In Russ.)

4. Ravshanov B. [Isolation of Phytopathogenic Fungi from Potato Tubers and Assessment of Antimicrobial Activity of Microorganisms Against Isolated Phytopathogens] / B. Ravshanov, Kh. Karimov, Kh. Khamidova, N. Azimova // Vestnik Natsional'nogo universiteta Uzbekistana. – 2025. – № 3. (In Russ.)
5. Khalmuminova G.K. [Alternaria Species in Uzbekistan] / Khalmuminova G.K., Sodirov B.S., Kamilov Sh.G // Vestnik agrarnoj nauki Uzbekistana. – 2018. – № 4. (In Russ.)
6. Alfiky A. Deciphering Trichoderma–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications / Alfiky A., Weisskopf L // Journal of Fungi. – 2021. – T. 7, № 1. – DOI: 10.3390/jof7010061.
7. Barka E.A. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria / E.A. Barka, P. Vatsa, L. Sanchez, N. Gaveau-Vaillant, C. Jacquard, H. Klenk, C. Clément, Y. Ouhdouch G.P. van Wezel // Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 2016. – T. 80, № 1. – DOI: 10.1128/mmbr.00019-15.
8. Caulier S. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group / Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J // Frontiers in Microbiology. – 2019. – T. 10. – DOI: 10.3389/fmicb.2019.00302.
9. Chung K.R. Stress Response and Pathogenicity of the Necrotrophic Fungal Pathogen *Alternaria alternata* / Chung K. R // Scientifica. – 2012. – T. 2012. – DOI: 10.6064/2012/635431.
10. Dang H.X. The *Alternaria* genomes database: a comprehensive resource for a fungal genus comprised of saprophytes, plant pathogens, and allergenic species / Dang H.X., Pryor B., Peever T.L., Lawrence C. B // BMC Genomics. – 2015. – T. 16. – DOI: 10.1186/s12864-015-1430-7.
11. Fira D. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species / Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S // Journal of Biotechnology. – 2018. – T. 285. – DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.07.044.
12. Garg S. *Alternaria* Blight of Tomato: A Review of Disease and Pathogen Management Approaches / Garg S., Kumar D.R., Yadav S., Kumar M., Yadav J // Acta Scientific Agriculture. – 2020. – T. 4, № 11.
13. Harman G.E. *Trichoderma* species–Opportunistic, avirulent plant symbionts / Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M // Nature Reviews Microbiology. – 2004. – T. 2, № 1. – DOI: 10.1038/nrmicro797.
14. Hu L. Enhancement of Mycelial Growth and Antifungal Activity by Combining Fermentation Optimization and Genetic Engineering in *Streptomyces pratensis* S10 / Hu L., Sun Y., Jia R., Dong X., Shen X., Wang Y // Microorganisms. – 2023. – T. 11, № 8. – DOI: 10.3390/microorganisms11081943.
15. Islam S. Isolation and Identification of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Cucumber Rhizosphere and Their Effect on Plant Growth Promotion and Disease Suppression / Islam S., Akanda A.M., Prova A., Islam M.T., Hossain M.M // Frontiers in Microbiology. – 2016. – T. 7. – DOI: 10.3389/fmicb.2016.01360.

16. Khaitbaeva N. Study of Phytotoxic Properties of Pathogenic Fungi in Eggplants / N. Khaitbaeva, N. Azimova, J. Sherkulova, X. Khamidova, Kh. Karimov, R. Kodirova, Z. Zufarova // International Journal of Multidisciplinary and Current Research. – 2023. – Т. 11, № 2. – DOI: 10.14741/ijmcr/v.11.2.1.
17. Mao T. Pepper growth promotion and Fusarium wilt biocontrol by *Trichoderma hamatum* MHT1134 / Mao T., Chen X., Ding H., Chen X., Jiang X // Biocontrol Science and Technology. – 2020. – Т. 30, № 11. – DOI: 10.1080/09583157.2020.1803212.
18. Meena M. Alternaria Toxins: Potential Virulence Factors and Genes Related to Pathogenesis / Meena M., Gupta S.K., Swapnil P., Zehra A., Dubey M.K., Upadhyay R. S // Frontiers in Microbiology. – 2017. – Т. 8. – DOI: 10.3389/fmicb.2017.01451.
19. Rios Velasco C. Identification and antagonistic activity in vitro of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi / C. Rios Velasco J.M. Caro Cisneros D.I. Berlanga Reyes M.F. Ruiz Cisneros J.J. Ornelas Paz, M.Á. Salas Marina V.M. Guerrero Prieto // Revista Mexicana de Fitopatología. – 2016. – Т. 34, № 1. – DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1507–1.
20. Schmey T. Alternaria diseases on potato and tomato / Schmey T., Tominello-Ramirez C.S., Brune C., Stam R // Molecular Plant Pathology. – 2024. – Т. 25, № 3. – DOI: 10.1111/mpp.13435.
21. Shavkiev J. Some volatile metabolites produced by the antifungal-*Trichoderma asperellum* UZ-A4 micromycete / Shavkiev J., Kholmamatovich K.H., Ismoilovna T.B., Azimovab N.S., Nazirbekov M.K., Khamidova K.M // International Journal of Phytopathology. – 2022. – Т. 11, № 3.
22. Thomma B.P.H.J. Alternaria spp.: from general saprophyte to specific parasite / Thomma B.P.H. J // Molecular Plant Pathology. – 2003. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.1046/j.1364–3703.2003.00173.x.
23. Valeria Ruiz V. Regulation, Biosynthesis, and Extraction of *Bacillus*-Derived Lipopeptides and Its Implications in Biological Control of Phytopathogens / V. Valenzuela Ruiz, A. Gándara-Ledezma M.F. Villarreal-Delgado E.D. Villa-Rodríguez, F.I. Parra-Cota, G. Santoyo L.J. Gómez-Godínez, L.A. Cira Chávez, S. de los Santos-Villalobos // Stresses. – 2024. – Т. 4, № 1. – DOI: 10.3390/stresses4010007.
24. Vurukonda S.S.K.P. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes / Vurukonda S.S.K.P., Giovanardi D., StefaniE // International Journal of Molecular Sciences. – 2018. – Т. 19, № 4. – DOI: 10.3390/ijms19040952.