

БИОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 159–168
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 159–168
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-159-168>
EDN: CGDJQB

Научная статья
УДК 579.26:635.647

Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753), выращенных в условиях Саратовской области

А. В. Карпулянская ✉, А. М. Петерсон

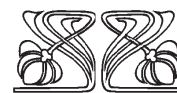
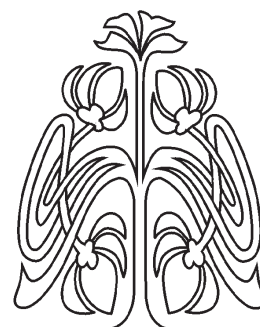
Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Карпулянская Алёна Викторовна, студент, инженер кафедры микробиологии и физиологии растений, alena.karpulyanskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7822-8745>

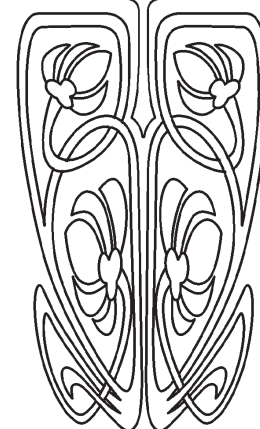
Петерсон Александра Михайловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, alexandra.peterson@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-5739>

Аннотация. Баклажан, или паслён тёмноплодный (*Solanum melongena* L., 1753), является важной сельскохозяйственной культурой, при возделывании которой целесообразно применение биопрепаратов на основе микроорганизмов-антагонистов. Успешность интродукции таких штаммов в агроценоз в значительной степени определяется их взаимодействием с аутохтонным микробным сообществом растения-хозяина, который может существенно варьировать в разных регионах. В данной работе проведён анализ структуры микробиоты растений баклажана, выращенных в условиях Саратовской области. Микробиологически исследовано 100 образцов здоровых листьев растений. В результате выделено 45 штаммов бактерий, отнесённых к 14 видам, и 33 штамма микромицетов 9 видов. В бактериальном комплексе абсолютное большинство составили представители рода *Bacillus*, которые доминировали как в эпифитной, так и в эндофитной микробиоте. Среди грибов преобладали виды семейства Aspergillaceae родов *Aspergillus* и *Penicillium*, также присутствовавшие в обоих биотопах. Функциональный анализ позволил разделить выделенные бактерии на четыре группы: агенты биоконтроля (*B. alyloliquefaciens*, *B. coagulans*, *B. halodurans*, *B. lentus*, *B. pseudomycooides*, *B. simplex*, *Aneurinibacillus aneurinilyticus*), стимуляторы роста растений (*B. alyloliquefaciens*, *B. circulans*, *B. pseudomycooides*), стресс-протекторы (*B. halodurans*, *B. psychrodurans*) и деструкторы органических полимеров (*B. simplex*, *B. bataviensis*, *B. drementensis*, *Jonesia denitrificans*). Среди микромицетов выделены патогенные виды: *Fusarium oxysporum* и *Alternaria solani*; агент биоконтроля – *Trichoderma harzianum*, продуцирующий гидролитические ферменты, и вид, улучшающий фосфорное питание растений – *Mucor ramosissimus*, солюбилизующий фосфаты. Полученные данные расширяют представление о микробных сообществах баклажана в условиях Саратовской области и могут служить основой для разработки региональных биопрепаратов комплексного действия.

Ключевые слова: сапрофитическая микробиота, бактерии, микромицеты, *Solanum melongena*, Саратовская область, таксономическая характеристика



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





Благодарности. Авторы благодарят Н. Е. Щербакову (ФКУН Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора) за проведение масс-спектрометрического анализа и идентификацию выделенных штаммов.

Для цитирования: Карпулянская А. В., Петерсон А. М. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753), выращенных в условиях Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 159–168. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-159-168>, EDN: CGDJQB

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Taxonomic and functional characteristics of the microbiota of eggplant plants (*Solanum melongena* L., 1753) grown in the Saratov region

A. V. Karpulyanskaya , A. M. Peterson

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Alena V. Karpulyanskaya, alena.karpulyanskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7822-8745>

Alexandra M. Peterson, alexandra.peterson@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-5739>

Abstract. Eggplant, or dark-fruited nightshade (*Solanum melongena* L., 1753), is an important agricultural crop, for which the use of biopreparations based on antagonist microorganisms is advisable. The success of introducing such strains into an agrocenosis is largely determined by their interaction with the host plant's autochthonous microbial community, which can vary significantly across regions. This study analyzed the microbiota structure of eggplant plants grown in the Saratov region. One hundred healthy leaf samples were microbiologically analyzed. As a result, 45 bacterial strains belonging to 14 species and 33 micromycete strains from 9 species were isolated. Representatives of the genus *Bacillus* constituted the absolute majority of the bacterial complex, dominating both the epiphytic and endophytic microbiota. The predominant fungi were species of the Aspergillaceae family, genera *Aspergillus* and *Penicillium*, which were also present in both biotopes. Functional analysis allowed us to divide the isolated bacteria into four groups: biocontrol agents (*B. amyloliquefaciens*, *B. coagulans*, *B. halodurans*, *B. lentus*, *B. pseudomycooides*, *B. simplex*, *Aneurinibacillus aneurinilyticus*), plant growth stimulants (*B. amyloliquefaciens*, *B. circulans*, *B. pseudomycooides*), stress protectors (*B. halodurans*, *B. psychrodurans*), and organic polymer degraders (*B. simplex*, *B. bataviensis*, *B. drentensis*, *Jonesia denitrificans*). Among the micromycetes, pathogenic species were identified: *Fusarium oxysporum* and *Alternaria solani*; The biocontrol agent *Trichoderma harzianum*, which produces hydrolytic enzymes, and the phosphate-solubilizing species *Mucor ramosissimus*, which improves plant phosphorus nutrition. These data expand our understanding of eggplant microbial communities in the Saratov region and can serve as a basis for the development of regional biopreparations with a comprehensive effect.

Keywords: saprophytic microbiota, bacteria, micromycetes, *Solanum melongena*, Saratov region, taxonomic characteristics

Acknowledgments. The authors wish to thank Nataliya E. Shcherbakova (Russian Research Anti-Plague Institute "Microbe") for performing the mass spectrometry analysis and identification of the isolated strains.

For citation: Karpulyanskaya A. V., Peterson A. M. Taxonomic and functional characteristics of the microbiota of eggplant plants (*Solanum melongena* L., 1753) grown in the Saratov region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 159–168 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-159-168>, EDN: CGDJQB

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Саратовская область входит в число ключевых аграрных регионов Российской Федерации. Производимая здесь продукция растениеводства имеет существенное значение для обеспечения продовольственной безопасности страны [1]. Среди интенсивно возделываемых овощных культур важное место занимает баклажан (*Solanum melongena* L., 1753), однако его продуктивность лимитируется широким спектром фитопатогенных микроорганизмов, способных поражать данный вид растений [2].

В современном сельском хозяйстве в качестве альтернативы химическим пестицидам все активнее применяются биологические методы защиты растений, основанные на использовании штаммов-антагонистов фитопатогенов [3].

Данные подходы отвечают требованиям экологической безопасности, обеспечивая сохранение агроценозов и производство продукции, свободной от пестицидных остатков [4]. Эффективность интродуцированного штамма напрямую зависит от его взаимодействия с аутохтонным микробным сообществом растения-хозяина. Аутохтонная микробиота может проявлять антагонистическую активность или конкурировать за ресурсы, что существенно влияет на выживаемость и функциональную активность вносимого агента биоконтроля [5]. Таким образом, успешная разработка и применение биопрепаратов требуют детального знания таксономической структуры и состава микробиоты целевой сельскохозяйственной культуры в конкретных почвенно-климатических условиях.



В связи с этим целью настоящего исследования стали таксономический анализ и функциональная характеристика сапрофитной микробиоты растений баклажана, культивируемых на территории Саратовской области.

Материалы и методы

Материалом для микробиологических исследований послужили листья растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753) без каких-либо патологий, выращенных в фермерских хозяйствах Саратовской области.

В ходе работы было исследовано 100 здоровых растений. Для выделения эпифитных микроорганизмов проводили посев отпечатком поверхности листовой пластинки 2×2 см. Перед выделением эндофитов листовую пластинку фламбировали для уничтожения эпифитной микробиоты, затем 0,1 г образца гомогенизировали с 0,9 мл физиологического раствора. Полученный гомогенат (0,1 мл) высевали на питательную среду. Для контроля эффективности стерилизации поверхности листовых пластинок после фламбирования с них делали смывы, которые высевались на питательные среды. Во всех экспериментах использовали среду PDA (картофель – 200 г, агар-агар – 15 г, глюкоза – 20 г, вода – 1 л). Посевы культивировали при температуре +28°C в течение 3 суток для выделения бактерий и 7 суток для выделения грибов. Дополнительно проводили культивирование мелких фрагментов необработанных листовых пластинок во влажной камере для более полного выявления микромицетов.

Идентификацию бактериальных изолятов проводили по стандартным фенотипическим

свойствам по определителю бактерий «Bergey's manual of determinative bacteriology» (2006 г.) и сайту ABIS (BIOCHEMICAL IDENTIFICATION) [6, 7]. Верификацию штаммов с сомнительной таксономической принадлежностью осуществляли с использованием метода MALDI-ToF масс-спектрометрии на приборе MALDI масс-спектрометре серии microflex (Bruker Daltonics GmbH, Германия).

Идентификацию грибных изолятов проводили на основании анализа культуральных свойств, а также изучения морфологии мицелия гриба и органов спороношения на разных стадиях развития при помощи Определителя грибов Д. Саттона, А. Фоторгилла, М. Ринальди и учебному определителю Е. Ю. Благовещенской [8, 9].

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования было выделено 45 штаммов бактерий и 33 штамма грибов, которые в результате идентификации были отнесены к 14 видам бактерий (*Aneurinibacillus aneurinolyticus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. bataviensis*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. drentensis*, *B. halodurans*, *B. lentus*, *B. oleronius*, *B. pseudomicoides*, *B. psychrodurans*, *B. simplex*, *Jonesia denitrificans*, *Raoultella terrigena*) и 9 видам грибов (*Alternaria solani*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. ustus*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor ramosissimus*, *Penicillium janthinellum*, *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma harzianum*).

В ходе исследования выяснилось, что соотношение количества видов бактерий и грибов как на поверхности, так и во внутренних тканях листьев баклажана практически одинаковое (рис. 1).

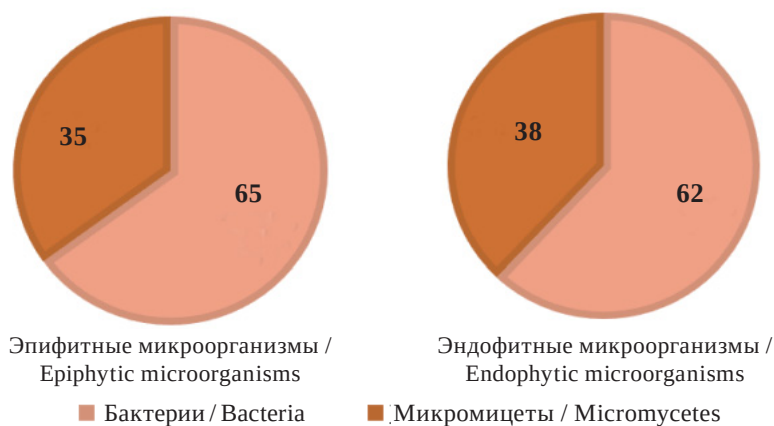


Рис. 1. Соотношение бактерий и микромицетов (по количеству видов) в микробиоте растений баклажана, % (цвет онлайн)

Fig. 1. The ratio of bacteria and micromycetes (by number of species) in the microbiota of eggplant plants, % (color online)



Таксономический анализ выделенных бактериальных видов выявил присутствие в исследованной микробиоте грамположительных микроорганизмов, относящихся к семействам Bacillaceae, Listeriaceae Paenibacillaceae, и граммотрицательных бактерий семейства Enterobacteriaceae (табл. 1).

Наиболее разнообразно в видовом отношении был представлен род *Bacillus*, что типично

для ризосферных и филлосферных сообществ и обусловлено способностью представителей этого рода образовывать устойчивые эндоспоры, а также продуцировать широкий спектр биологически активных веществ [10]. Следует отметить, что преобладание Bacillaceae было характерно как для эпифитной, так и для эндофитной микробиоты растений баклажана (рис. 2).

Таблица 1 / Table 1

Таксономическая характеристика бактерий, изолированных из растений баклажана
Taxonomic characteristics of bacteria isolated from eggplant plants

| Вид / Species | Семейство / Family | Класс / Class | Филум / Phylum |
|---|--------------------|----------------------|----------------|
| <i>Aneurinibacillus aneurinilyticus</i> | Paenibacillaceae | Bacilli | Firmicutes |
| <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> | Bacillaceae | | |
| <i>B. bataviensis</i> | | | |
| <i>B. circulans</i> | | | |
| <i>B. coagulans</i> | | | |
| <i>B. drentensis</i> | | | |
| <i>B. halodurans</i> | | | |
| <i>B. lentus</i> | | | |
| <i>B. oleronius</i> | | | |
| <i>B. pseudomicoides</i> | | | |
| <i>B. psychrodurans</i> | | | |
| <i>B. simplex</i> | | | |
| <i>Jonesia denitrificans</i> | Listeriaceae | | |
| <i>Raoultella terrigena</i> | Enterobacteriaceae | Gamma proteobacteria | Proteobacteria |

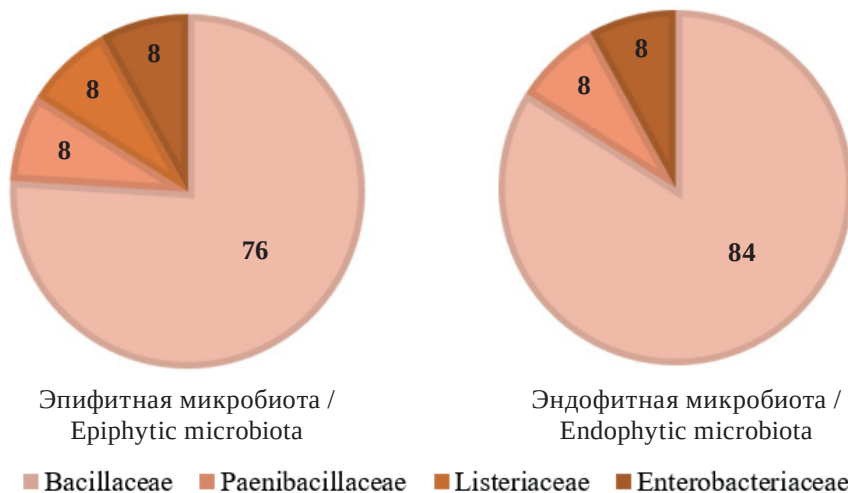


Рис. 2. Структура бактериальной микробиоты растений баклажана, % (цвет онлайн)

Fig. 2. Structure of bacterial microbiota of eggplant plants, % (color online)



Среди обнаруженных бактерий отчетливо выделяются несколько функциональных групп, различающихся по механизмам воздействия на растение и окружающие микроорганизмы.

Наибольшее число изолятов составляют агенты биоконтроля, подавляющие фитопатогенов за счёт антибиотиков и литических ферментов. Ключевая роль здесь принадлежит *B. amyloliquefaciens* – активному продуценту липопептидов (бацилломицин, фенгицин, сурфактин) и рибонуклеазы барназы, что обеспечивает эффективное ингибирование грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*, а также бактерии *Ralstonia solanacearum*, способной подавлять возбудителей фузариоза, альтернариоза и бактериального увядания баклажана [11, 12, 13]. Сходными свойствами обладают *B. coagulans*, синтезирующий бактериоцины [14], и *B. halodurans*, продуцирующий бактериоцин в условиях абиотического стресса [15]. Механизмы антагонизма реализуются и через ферментативную активность: *B. lentus* выделяет щелочную протеазу, повреждающую клеточные структуры конкурентов [16], *B. pseudomycooides* – комплекс внеклеточных ферментов (липазу, целлюлазу, пектиназу), активных в отношении как сапрофитных, так и патогенных форм [17], а *B. simplex* проявляет фунгицидную активность против микромицетов семейства Rhizopodaceae [18]. Замыкает группу антагонистов *A. aneurinilyticus*, синтезирующий циклический пептид грамицидин [19].

Вторую важную группу образуют бактерии, стимулирующие рост растений. Помимо уже упомянутого *B. amyloliquefaciens*, способного синтезировать ауксины и цитокинины [20],

к ней относится *B. circulans*, участвующий в ассоциативной азотфиксации и солюбилизации фосфатов [21]. Аналогичную функцию улучшения фосфорного питания, а также продукцию индолил-3-уксусной кислоты и сидерофоров демонстрирует *B. pseudomycooides* [17].

В состав бактериальной микробиоты баклажана входят также виды, повышающие устойчивость растений к абиотическим факторам. Среди них алкалофильный и галотермофильный *B. halodurans*, способствующий адаптации растений к засолению и высоким температурам [15], а также психротолерантный *B. psychrodurans*, адаптированный к условиям умеренных и холодных климатических зон [22].

Четвертая функциональная группа представлена бактериями-деструкторами, которые разлагают сложные полимеры, обеспечивая круговорот веществ и приобретая конкурентные преимущества в соответствующих экологических нишах. *B. simplex* участвует в минерализации органических полимеров [18]; *B. bataviensis* продуцирует пектиназу, разрушающую биопленки конкурентов [23]; *B. drentensis* выделяет α-амилазу, расщепляющую полисахариды до моносахаров [24]; *J. denitrificans* синтезирует ксиланазу, что особенно ценно в средах с обилием растительного опада [25].

Таксономический анализ выделенных грибных видов выявил преобладание семейства Aspergillaceae класса Eurotiomycetes. Класс Sordariomycetes представлен двумя семействами: Нипocreaceae (*T. harzianum*) и Nectriaceae (*F. oxysporum*). Кроме того, в микокомплексах баклажана обнаружены единичные виды семейств Pleosporaceae, Rhizopodaceae и Mucoraceae (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Таксономическая характеристика грибов, изолированных из растений баклажана
Taxonomic characteristics of fungi isolated from eggplant plants

| Вид / Species | Семейство / Family | Класс / Class |
|---------------------------------|--------------------|-----------------|
| <i>Alternaria solani</i> | Pleosporaceae | Dothideomycetes |
| <i>Aspergillus flavus</i> | Aspergillaceae | Eurotiomycetes |
| <i>A. niger</i> | | |
| <i>A. ustus</i> | | |
| <i>Penicillium janthinellum</i> | | |
| <i>Fusarium oxysporum</i> | Нипocreaceae | Sordariomycetes |
| <i>Trichoderma harzianum</i> | Nectriaceae | |
| <i>Rhizopus stolonifer</i> | Rhizopodaceae | Mucoromycetes |
| <i>Mucor ramosissimus</i> | Mucoraceae | |



Видовой состав микокомплексов поверхности и внутренней среды растений баклажана оказались во многом схожи, и в обоих биотопах преобладали представители семейства *Aspergillaceae* (рис. 3), которые часто выделяются из почвы, с поверхности и из тканей растений [26]. Микромицеты этого семейства активно заселяют внутренние ткани баклажана благодаря своим ферментам. Они выделяют целлюлазы, пектиназы и ксиланазы, которые

разрушают клеточные стенки растений, расщепляют пектин и целлюлозу, что позволяет грибам проникать внутрь листа и распространяться по межклетникам [27]. Сходным набором ферментов обладают и грибы рода *Fusarium*: они продуцируют люкеназы, хитиназы, ксиланазы, эндоцеллюлазы, экзоцеллюлазы, пектиназы и полигалактуроназы, которые облегчают проникновение микроорганизмов во внутренние ткани растения-хозяина [28].

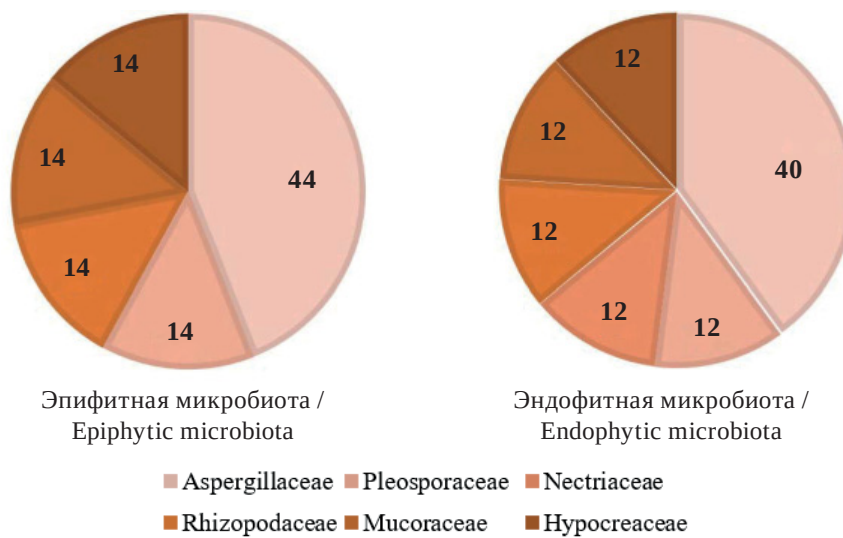


Рис. 3. Структура микокомплекса эпифитной и эндофитной микробиоты растений баклажана, % (цвет онлайн)

Fig. 3. The structure of the mycocomplex of epiphytic and endophytic microbiota of eggplant plants, % (color online)

После успешного проникновения грибы оказываются в среде, которая идеально подходит для их существования. Внутренние ткани растения поддерживают стабильную влажность, защищают от ультрафиолета и сглаживают перепады температур. Кроме того, в межклетники постоянно поступают сахара, аминокислоты и другие питательные вещества, которые грибы используют для роста. Благодаря сочетанию ферментативной активности и благоприятных условий внутри тканей многие эндофиты устанавливают сбалансированные отношения с хозяином: они не убивают клетки, а получают питание, не нанося видимого вреда, что позволяет им существовать внутри растения длительное время [29].

В составе микокомплекса здоровых листьев баклажана обнаружены фитопатогенные виды. *F. oxysporum* способен поражать сосудистую систему и вызывать фузариозное увядание баклажана [13]. Другой патоген – *A. solani* –

широко распространен в окружающей среде и при благоприятных условиях может вызывать альтернариоз не только баклажана, но и других пасленовых культур, включая томаты и картофель [30].

Наряду с патогенами в составе микробиоты присутствуют виды, играющие положительную роль в жизни растения-хозяина. Микромицет *T. harzianum* проявляет высокую антагонистическую активность против фитопатогенных грибов. Он продуцирует комплекс гидролитических ферментов – хитиназы, глюканызы и протеазы, которые разрушают клеточные стенки грибов-мишеней. Помимо прямого подавления патогенов, внесение *T. harzianum* в почву положительно влияет на рост и развитие растений, что делает его ценным агентом биологического контроля [31].

Другой полезный вид – *M. ramosissimus* – выполняет важную функцию в улучшении минерального питания растений. Он способен



преобразовывать нерастворимые фосфаты в доступные для растений формы, переводя фосфор в усвояемое состояние, что оказывает непосредственное стимулирующее влияние на рост растений баклажана [32].

Заключение

Проведённое исследование позволило впервые охарактеризовать таксономическую и функциональную структуру сапрофитной микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L.), культивируемых в условиях Саратовской области. Установлено, что аутохтонная микробиота баклажана обладает значительным потенциалом для биоконтроля фитопатогенов и стимуляции роста растений. Ключевую роль в бактериальном комплексе играют представители рода *Bacillus*, которые, благодаря способности продуцировать антимикробные метаболиты, сидерофоры, фитогормоны и солибилизировать фосфаты, формируют основу защитно-стимулирующего потенциала микробного сообщества. Среди грибных изолятов особый интерес представляет *T. harzianum* – известный антагонист с комплексным механизмом действия, а также *M. ramosissimus*, способный повышать доступность фосфора для растения-хозяина. При этом в составе микробиоты были выявлены и условно-патогенные виды, такие как *F. oxysporum* и *A. solani*.

Полученные данные расширяют фундаментальные знания о микробных сообществах сельскохозяйственных культур в Саратовской области и могут послужить научной основой для разработки новых, адресных биопрепаратов.

Список литературы

1. Павлов В. Н., Шудьякова В. В. Оценка продовольственной безопасности региона // Вестник СГСЭУ. 2019. № 2 (76). С. 90–93.
2. Ахатов А. К., Монахос Г. Ф., Игнатов А. Н., Белошапкина О. О., Ганнибал Ф. Б., Джалилов Ф. С.-У., Ильинский Ю. Ю. Болезни и вредители овощных культур. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2025. 392 с.
3. O'Brien P. A. Biological control of plant diseases // Australasian Plant Pathology. 2017. Vol. 46. P. 293–304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>
4. Upadhyay V. K., Chitara M. K., Mishra D., Jha M. N., Jaiswat A., Kumari G., Ghosh S., Patel V. K., Naitam M. G., Singh A. K., Pareek N., Taj G., Maithani D., Kumar A., Dasila H., Shsrma A. Synergistic impact of nanomaterials and plant probiotics in agriculture: A tale of two-way strategy for long-term sustainability // Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. P. 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1133968>
5. Bonaterra A., Badosa E., Cabrefiga J., Frances J., Montesinos E. Prospects and limitations of microbial pesticides for control of bacterial and fungal pomefruit tree diseases // Trees. 2012. Vol. 26. P. 215–226. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0626-y>
6. Определитель бактерий Берджи : в 2 т. М. : Мир, 2006. Т. 1. 430 с. Т. 2. 370 с.
7. Sorescu I., Stoica C. Online advanced bacterial identification software, an original tool for phenotypic bacterial identification // Rom Biotechnol. Lett. 2021. Vol. 26, № 6. P. 3047–3053.
8. Самтон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М. : Мир, 2001. 486 с.
9. Благовещенская Е. Ю. Фитопатогенные микромицеты: учебный определитель. М. : ЛЕНАНД, 2015. 240 с.
10. Nicholson W. L. Roles of Bacillus endospores in the environment // Cellular and Molecular Life Sciences CMLS. 2002. Vol. 59. P. 410–416. <https://doi.org/10.1007/s00018-002-8433-7>
11. Lin Long-Zhen, Zheng Q.-W., Wei T., Zhang Z.-Q., Zhao C.-F., Zhong H., Xu Q.-Y., Lin J.-F., Guo L.-Q. Isolation and characterization of fengycins produced by *Bacillus amyloliquefaciens* JFL21 and its broad-spectrum antimicrobial potential against multidrug-resistant foodborne pathogens // Antimicrobials, Resistance and Chemotherapy. 2020. Vol. 11. P. 15–30. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.579621>
12. Sadanand K., Narayanankutty C., Sainamole P. K., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease // European Journal of Plant Pathology. 2021. Vol. 161. P. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
13. Заболевания баклажана // Определитель болезней и вредителей баклажанов : [сайт]. URL: <https://семена-клубники.рф/life/plant/baklajany/bolezni-baklajan/0> (дата обращения: 27.02.2024).
14. Konuray G., Erginkaya Z. Potential use of *Bacillus coagulans* in the food industry // Foods. 2018. Vol. 7, № 92. P. 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods7060092>
15. ABIS online – Bacterial identification. URL: https://www.tgw1916.net/bacteria_logare_desktop.html (дата обращения: 20.04.2025).
16. Jorgensen P. R., Tangney M., Pedersen P. K., Hastrup S., Diderichsen B., Jorgensen S. T. Cloning and sequencing of an alkaline protease gene from *Bacillus lentus* and amplification of the gene on the *B. lentus* chromosome by an improved technique // Applied and Environmental Microbiology. 2000. Vol. 66, № 2. P. 16–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.2.825-827.2000>



17. Knezevic M. M., Stajkovic-Srbincovic O. S., Assel M., Milic M. D., Mihajlovski K. R., Delic D. I., Buntic A. V. The ability of a new strain of *Bacillus pseudomycoloides* to improve the germination of alfalfa seeds in the presence of fungal infection or chromium // *Rizosphere*. 2021. Vol. 18. P. 100–122. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100353>
18. Schwartz A. R., Ortiz I., Maymom M., Herbold C. V., Fujishige N. A., Vijanderan J. A., Villella W., Hanamoto K., Diener A., Sanders E. R., DeMason D. A., Hirsh A. M. *Bacillus simplex* – a little known PGPB with anti-fungal activity – alters pea legume root architecture and nodule morphology when coinoculated with *Rhizobium leguminosarum* v. *viciae* // *Agronomy*. 2013. Vol. 3, № 4. P. 595–620. <https://doi.org/10.3390/agronomy3040595>
19. Kaur C., Se G., Ganeshamurthy A. N. Exploring the utility of *Aneurinibacillus* as a bioinoculant for sustainable crop production and environmental applications // *Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol*. 2020. Vol. 2. P. 135–141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1_7
20. Idris E. E., Iglesias D. J., Talon M., Borriss R. Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 // *Molecular plant-microbe interactions*. 2007. Vol. 20, № 6. P. 619–626. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-6-0619>
21. Vazquez P., Puente M. E., Lopez-Cortes A., Bashan Y. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon // *Biology and Fertility of Soils*. 2000. Vol. 30. P. 460–468. <https://doi.org/10.1007/s003740050024>
22. Vollu R. E., Jurelevicius D., Ramos L. R., Peixoto R. S., Rosado A. S., Seldin L. Aerobic endospore-forming bacteria isolated from Antarctic soils as producers of bioactive compounds of industrial interest // *Polar Biology*. 2014. Vol. 37. P. 1121–1131. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1505-y>
23. Akinyemi B. T., Buraimoh O. M., Ogunrinde O. O., Amund O. O. Pectinase production by *Bacillus Megaterium*, *Bacillus bataviensis*, and *Paenibacillus* sp. isolated from decomposing wood residues in the lagoon // *The Journal of Tropical Science*. 2017. Vol. 7, № 3. P. 204–207. <https://doi.org/10.11594/jtls.07.03.03>
24. Prasanth M., Bozdogan B., Gothandam K. M., Sivasanmugam K., Nachimuthu R. A novel α -amylase producing *Bacillus drementensis* isolated from coastal mud samples // *Asian Journal of Biological and Life Science*. 2016. Vol. 5, № 2. P. 173–178.
25. Nawel B., Said B., Estelle C., Hakim H., Duchiron F. Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesiadenitrificans* isolated in Algerian soil // *Process Biochemistry*. 2011. Vol. 46, № 2. P. 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.10.003>
26. Lin L., Qiao Y. S., Ju Z. Y., Ma C. W., Liu Y. H., Zhou Y. J., Dong H. S. Isolation and characterization of endophytic *Bacillus subtilis* Jaas ed1 antagonist of eggplant [*Solanum melongena*] verticillium wilt // *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* (Japan). 2009. Vol. 73, № 7. P. 1489–1493. <https://doi.org/10.1271/bbb.80812>
27. Ma X., Gao M., Wang N., Liu S., Wang Q., Sun X. Lactic acid production from co-fermentation of food waste and spent mushroom substance with *Aspergillus niger* cellulase // *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 337. Art. 125365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125365>
28. Jaroszuk-Scisel J., Kurek E. Hydrolysis of fungal and plant cell walls by enzymatic complexes from cultures of *Fusarium* isolates with different aggressiveness to rye (*Secale cereale*) // *Archives of Microbiology*. 2012. Vol. 194. P. 653–665. <https://doi.org/10.1007/s00203-012-0803-4>
29. Waqar S., Bhat A. A., Khan A. A. Endophytic fungi: Unravelling plant-endophyte interaction and the multifaceted role of fungal endophytes in stress amelioration // *Plant Physiology & Biochemistry*. 2024. Vol. 206. Art. 108174. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108174>
30. Sadanand K., Narayanankutty C., Kurian P. S., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease // *European Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 161. P. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
31. Fraceto L. F., Maruyama C. R., Guilger M., Mishra S., Keswani C., Singh H. B., Lima R. *Trichoderma harzianum* – based novel formulations: Potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges // *Chemical Technology and Biotechnology*. 2018. Vol. 93, № 8. P. 2056–2063. <https://doi.org/10.1002/jctb.5613>
32. Xiao C., Chi R., He H., Qiu G., Wang D., Zhang W. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2009. Vol. 159. P. 330–342. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8590-3>

References

1. Pavlov V. N., Shuddyakova V. V. Assessment of food security in the region *Bulletin of SSEU*, 2019, vol. 76, no. 2, pp. 90–93 (in Russian).
2. Akhatov A. K., Monakhos G. F., Ignatov A. N., Beloshapkina O. O., Gannibal F. B., Dzhililov F. S.-U., Ilyinsky Yu. Yu. *Bolezni i vrediteli ovoshchnykh kul'tur* [Diseases and pests of vegetable crops]. Moscow, KMK Scientific Press, 2025. 392 p. (in Russian).
3. O'Brien P. A. Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, 2017, vol. 46, pp. 293–304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>
4. Upadhyay V. K., Chitara M. K., Mishra D., Jha M. N., Jaiswat A., Kumari G., Ghosh S., Patel V. K., Naitam M. G., Singh A. K., Pareek N., Taj G., Maithani D., Kumar A., Dasila H., Shsrma A. Synergistic impact of nanoma-



- terials and plant probiotics in agriculture: A tale of two-way strategy for long-term sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 2023, vol. 14, pp. 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1133968>
5. Bonaterra A., Badosa E., Cabrefiga J., Frances J., Montesinos E. Prospects and limitations of microbial pesticides for control of bacterial and fungal pomefruit tree diseases. *Trees*, 2012, vol. 26, pp. 215–226. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0626-y>
 6. *Opredelitel' bakteriy Berdzhii: v 2 t.* [Bergey's Guide to Bacteria: in 2 vols]. Moscow, Mir, 2006. Vol. 1. 430 p. Vol. 2. 370 p. (in Russian).
 7. Sorescu I., Stoica C. Online advanced bacterial identification software, an original tool for phenotypic bacterial identification. *Rom. Biotechnol. Lett.*, 2021, vol. 26, no. 6, pp. 3047–3053.
 8. Sutton D., Fothergill A., Rinaldi M. *Opredelitel' patogennykh i uslovno patogennykh gribov* [Determinant of pathogenic and conditionally pathogenic fungi]. Moscow, Mir, 2001. 486 p. (in Russian).
 9. Blagoveshchenskaya E. Yu. *Fitopatogennyye mikromitsety: uchebnyy opredelitel'* [Phytopathogenic micro-mycetes: Educational guide]. Moscow, LENAND, 2015. 240 p. (in Russian).
 10. Nicholson W. L. Roles of Bacillus endospores in the environment. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 2002, vol. 59, pp. 410–416. <https://doi.org/10.1007/s00018-002-8433-7>
 11. Lin Long-Zhen, Zheng Q.-W., Wei T., Zhang Z.-Q., Zhao C.-F., Zhong H., Xu Q.-Y., Lin J.-F., Guo L.-Q. Isolation and characterization of fengycins produced by *Bacillus amyloliquefaciens* JFL21 and its broad-spectrum antimicrobial potential against multidrug-resistant foodborne pathogens. *Antimicrobials, Resistance and Chemotherapy*, 2020, vol. 11, pp. 15–30. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.579621>
 12. Sadanand K., Narayanankutty C., Sainamole P. K., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease. *European Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 161, pp. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
 13. Eggplant diseases. *Identifier of eggplant diseases and pests*. Website. Available at: <https://семена-клавники.рф/life/plant/baklajany/bolezni-baklajan/0> (accessed February 27, 2024) (in Russian).
 14. Konuray G., Erginkaya Z. Potential use of *Bacillus coagulans* in the food industry. *Foods*, 2018, vol. 7, no. 92, pp. 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods7060092>
 15. *ABIS online – Bacterial identification*. Available at: https://www.tgw1916.net/bacteria_logare_desktop.html (accessed April 20, 2025).
 16. Jorgensen P. R., Tangney M., Pedersen P. K., Hastrup S., Diderichsen B., Jorgensen S. T. Cloning and sequencing of an alkaline protease gene from *Bacillus lentus* and amplification of the gene on the *B. lentus* chromosome by an improved technique. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, vol. 66, no. 2, pp. 16–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.2.825-827.2000>
 17. Knezevic M. M., Stajkovic-Srbincovic O. S., Assel M., Milic M. D., Mihajlovski K. R., Delic D. I., Buntic A. V. The ability of a new strain of *Bacillus pseudomycoloides* to improve the germination of alfalfa seeds in the presence of fungal infection or chromium. *Rizosphere*, 2021, vol. 18, pp. 100–122. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100353>
 18. Schwartz A. R., Ortiz I., Maymom M., Herbold C. V., Fujishige N. A., Vijanderan J. A., Villella W., Hanamoto K., Diener A., Sanders E. R., DeMason D. A., Hirsh A. M. *Bacillus simplex* – A little known PGPB with anti-fungal activity – alters pea legume root architecture and nodule morphology when coinoculated with *Rhizobium leguminosarum* v. *viciae*. *Agronomy*, 2013, vol. 3, no. 4, pp. 595–620. <https://doi.org/10.3390/agronomy3040595>
 19. Kaur C., Se G., Ganeshamurthy A. N. Exploring the utility of *Aneurinibacillus* as a bioinoculant for sustainable crop production and environmental applications. *Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol*, 2020, vol. 2, pp. 135–141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1_7
 20. Idris E. E., Iglesias D. J., Talon M., Borriss R. Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2007, vol. 20, no. 6, pp. 619–626. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-6-0619>
 21. Vazquez P., Puente M. E., Lopez-Cortes A., Bashan Y. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, vol. 30, pp. 460–468. <https://doi.org/10.1007/s003740050024>
 22. Vollu R. E., Jurelevicius D., Ramos L. R., Peixoto R. S., Rosado A. S., Seldin L. Aerobic endospore-forming bacteria isolated from Antarctic soils as producers of bioactive compounds of industrial interest. *Polar Biology*, 2014, vol. 37, pp. 1121–1131. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1505-y>
 23. Akinyemi B. T., Buraimoh O. M., Ogunrinde O. O., Amund O. O. Pectinase production by *Bacillus Megaterium*, *Bacillus bataviensis*, and *Paenibacillus* sp. isolated from decomposing wood residues in the lagos lagoon. *The Journal of Tropical Science*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 204–207. <https://doi.org/10.11594/jtls.07.03.03>
 24. Prasanth M., Bozdogan B., Gothandam K. M., Sivasanmugam K., Nachimuthu R. A Novel α -amylase producing *Bacillus drentensis* isolated from coastal mud samples. *Asian Journal of Biological and Life Science*, 2016, vol. 5, no. 2, pp. 173–178.
 25. Nawel B., Said B., Estelle C., Hakim H., Duchiron F. Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesiadenitrificans* isolated in Algerian soil. *Process Biochemistry*, 2011, vol. 46, no. 2, pp. 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.10.003>



26. Lin L., Qiao Y. S., Ju Z. Y., Ma C. W., Liu Y. H., Zhou Y. J., Dong H. S. Isolation and characterization of endophytic *Bacillus subtilis* Jaas ed1 antagonist of eggplant [*Solanum melongena*] verticillium wilt. *Bio-science, Biotechnology and Biochemistry (Japan)*, 2009, vol. 73, no. 7, pp. 1489–1493. <https://doi.org/10.1271/bbb.80812>
27. Ma X., Gao M., Wang N., Liu S., Wang Q., Sun X. Lactic acid production from co-fermentation of food waste and spent mushroom substance with *Aspergillus niger* cellulase. *Bioresource Technology*, 2021, vol. 337, art. 125365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125365>
28. Jaroszuk-Scisel J., Kurek E. Hydrolysis of fungal and plant cell walls by enzymatic complexes from cultures of *Fusarium* isolates with different aggressiveness to rye (*Secale cereale*). *Archives of Microbiology*, 2012, vol. 194, pp. 653–665. <https://doi.org/10.1007/s00203-012-0803-4>
29. Waqar S., Bhat A. A., Khan A. A. Endophytic fungi: Unravelling plant-endophyte interaction and the multifaceted role of fungal endophytes in stress amelioration. *Plant Physiology & Biochemistry*, 2024, vol. 206, art. 108174. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108174>
30. Sadanand K., Narayanankutty C., Kurian P. S., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease. *European Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 161, pp. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
31. Fraceto L. F., Maruyama C. R., Guilger M., Mishra S., Keswani C., Singh H. B., Lima R. *Trichoderma harzianum* – based novel formulations: Potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges. *Chemical Technology and Biotechnology*, 2018, vol. 93, no. 8, pp. 2056–2063. <https://doi.org/10.1002/jctb.5613>
32. Xiao C., Chi R., He H., Qiu G., Wang D., Zhang W. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2009, vol. 159, pp. 330–342. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8590-3>

Поступила в редакцию 11.03.2026; одобрена после рецензирования 22.03.2026; принята к публикации 26.03.2026
The article was submitted 11.03.2026; approved after reviewing 22.03.2026; accepted for publication 26.03.2026