

Научная статья
УДК 632.911.2
DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-417-423>



Рост и взаимодействие штаммов *Trichoderma spp.* при различных температурах

Виолетта Алексеевна Писаревская, Александра Сергеевна Журавлева,
Мария Владимировна Минич, Нурлан Бешир-оглы Бехбудзада,
Антон Александрович Шагаев, Николай Семенович Марквичев

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
г. Москва, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Писаревская Виолетта Алексеевна, pisarevskayaviola@mail.ru

Аннотация. Данная работа посвящена изучению роста и взаимодействия штаммов *Trichoderma spp.* при различных температурах. *Trichoderma spp.* – это род микроскопических аскомицетов, грибы рода *Trichoderma* являются членами различных экосистем и обнаруживаются в почве, ризосфере. Цель исследования – изучить и сравнить характеристики роста и взаимодействия различных представителей грибов рода *Trichoderma* между собой. Для экспериментов использовали следующие среды: среду Чапека и среду, моделирующую экссудаты корневой системы растения (огурца обыкновенного). Была определена скорость роста штаммов *Trichoderma spp.* при различных температурах. Скорость роста на среде, содержащей модели экссудатов растения, отличалась от скорости роста на богатой питательной среде, также обнаружилось различия в макроморфологии колоний. При температуре 9 °С на среде Чапека наблюдался рост штаммов *Trichoderma longibrachiatum* F2124, *Trichoderma viride* F2001; на среде, моделирующей экссудаты, – только штамма *Trichoderma longibrachiatum* F2124. При 40 °С отмечалось значительное торможение роста для всех штаммов, кроме представителей вида *Trichoderma longibrachiatum*. При температуре 50 °С роста колоний не наблюдалось. Все штаммы росли в температурном диапазоне от 12 до 28 °С. Было выдвинуто предположение о возможных различиях в характере взаимодействия представителей рода *Trichoderma* между собой при росте на различных средах. Исследовали взаимодействие между собой 3-х штаммов *Trichoderma spp.* при поверхностном культивировании в различных температурных условиях. По результатам исследования не обнаружилось значительных различий в характере взаимодействия представителей рода *Trichoderma* между собой.

Ключевые слова: *Trichoderma*, экссудаты, температура, скорость роста, взаимодействие

Для цитирования: Писаревская В. А., Журавлева А. С., Минич М. В., Бехбудзада Н. Б., Шагаев А. А., Марквичев Н. С. Рост и взаимодействие штаммов *Trichoderma spp.* при различных температурах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 3. С. 417–423. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-417-423>.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Trichoderma spp. strains: growth and interaction at different temperatures

Violetta A. Pisarevskaya, Aleksandra S. Zhuravliova, Maria V. Minich,
Nurlan B. Behbudzada, Anton A. Shagaev, Nikolai S. Markvichev

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Violetta A. Pisarevskaya, pisarevskayaviola@mail.ru

Abstract. The paper examines the growth of *Trichoderma spp.* strains and their interaction at different temperatures. *Trichoderma spp.* is a genus of microscopic ascomycetes; these fungi belong to different ecosystems and are found in soil (rhizosphere). The study aims to analyze and compare the characteristics pertaining to the growth of *Trichoderma* species and the interaction between them. The experiments

© Писаревская В. А., Журавлева А. С., Минич М. В., Бехбудзада Н. Б., Шагаев А. А., Марквичев Н. С., 2022

used the following media: a Czapek medium and a medium simulating plant root exudates (*Cucumis sativus*). The growth rate of *Trichoderma* spp. strains was determined at different temperatures. The use of a medium containing plant exudate models provided a different growth rate as compared to that obtained when using a rich growth medium; some variations in the macromorphology of colonies were also observed. The growth of *Trichoderma longibrachiatum* F2124 and *Trichoderma viride* F2001 strains was detected at 9 °C on the Czapek medium, while only the *Trichoderma longibrachiatum* F2124 strain was observed to grow on the medium simulating exudates. A significant growth inhibition was noted at 40 °C for all strains, except for *Trichoderma longibrachiatum* species. No colony growth was observed at 50 °C. All the strains grew within the temperature range of 12 to 28 °C. It was assumed that *Trichoderma* species growing in various media may interact differently with each other. Interaction between the three strains of *Trichoderma* spp. was examined via the surface culture method under different temperature conditions. The study found no significant differences in the interaction between the *Trichoderma* species.

Keywords: *Trichoderma*, exudates, temperature, growth rate, interaction

For citation: Pisarevskaya V. A., Zhuravliova A. S., Minich M. V., Behbudzada N. B., Shagaev A. A., Markvichev N. S. *Trichoderma* spp. strains: growth and interaction at different temperatures. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(3):417-423. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-417-423>.

ВВЕДЕНИЕ

Trichoderma spp. – род микроскопических аскомицетов. Грибы рода *Trichoderma* являются членами различных экосистем [1] и обнаруживаются в почве, ризосфере [2], обладают способностью образовывать колонии на корнях [3]. Некоторые представители рода *Trichoderma* являются эндофитными микроорганизмами для определенных растений [4], могут оказывать негативное влияние на рост некоторых грибов [5]. Помимо этого, обнаружено большое количество штаммов, развивающихся на представителях флоры и фауны водоемов [6].

Грибы рода *Trichoderma* обладают широким спектром свойств, которые могут успешно применяться в сельском хозяйстве как для борьбы с фитопатогенными культурами, так и для повышения урожайности [7, 8] некоторых растений, например, томата и салата [9]. К некоторым из таких свойств относят их низкую фитотоксичность, способность расти в направлении, наиболее благоприятном для их развития, метаболизировать экссудаты растения в качестве единственного источника питания, оказывать воздействие на состав экссудатов [10]. Исследования показывают [11, 12], что род *Trichoderma* способен в некоторых случаях снижать абиотический стресс, оказываемый на растения тяжелыми металлами в почве. Благодаря способности к микопаразитизму [13] и образованию некоторых летучих органических веществ, род *Trichoderma* может подавлять рост фитопатогенных грибов [14, 15], в том числе *Fusarium* spp. [16, 17]. Некоторые штаммы способны к синтезу антибиотиков [18, 19]. Помимо фунгицидной активности, *Trichoderma* spp. могут проявлять фитостимулирующее действие [20] за счет образования летучих органических соединений, оказывающих стимулирующее влияние на рост растения [21].

Чтобы успешно использовать все вышеперечисленные свойства *Trichoderma* spp. на практике, необходимо создать условия, в которых возможен

рост и развитие микроорганизмов. В теплицах, где фунгицидные и фитостимулирующие свойства *Trichoderma* spp. будут наиболее полезны, как правило, большая часть параметров зафиксирована. Одним из меняющихся параметров является температура. Температура напрямую влияет на скорость и возможность роста *Trichoderma* spp., на скорость образования ферментов [22]. В зоне температурного оптимума рост активный, при понижении температуры может наблюдаться снижение скорости роста, при повышении – полная гибель культуры. Поэтому важно знать диапазон температур, в котором *Trichoderma* spp. способны к росту, а при выборе штаммов для сельского хозяйства отдавать предпочтение тем, которые развиваются в более широком диапазоне температур и при этом сохраняют способность взаимодействовать с фитопатогенными микроорганизмами.

Для данного исследования были поставлены следующие задачи: сравнить скорость развития представителей рода *Trichoderma* на богатой питательной среде и на среде, моделирующей экссудаты растений; исследовать развитие различных представителей рода *Trichoderma* на среде, моделирующей экссудаты, при различных температурах; исследовать характер взаимодействия *Trichoderma* spp. между собой в диапазоне температур при росте на среде, моделирующей экссудаты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы. В качестве материалов использовались штаммы *Trichoderma viride* F2001, *Trichoderma harzianum* F2002, *Trichoderma harzianum* F2009, *Trichoderma harzianum* F2125, *Trichoderma longibrachiatum* F2123, *Trichoderma longibrachiatum* F2124, питательные агаризованные среды Чапека и моделирующие экссудаты *Cucumis sativus*. Все штаммы микроорганизмов были предоставлены коллекцией кафедры биотехнологии Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева.

В состав питательной среды Чапека входят: глюкоза – 30 г/л; дрожжевой экстракт – 5 г/л; пептон – 5 г/л; KNO_3 – 2,5 г/л; KH_2PO_4 – 1 г/л; MgSO_4 – 0,5 г/л; NaCl – 10 г/л; агар – 17,5 г/л. Питательная среда, содержащая модели экссудатов, состоит из следующих компонентов: агар – 17,5 г/л; яблочная кислота – 0,1 г/л; янтарная кислота – 0,1 г/л; лимонная кислота – 0,1 г/л; фруктоза – 0,01 г/л; дрожжевой экстракт – 0,1 г/л.

Методы. Культивирование и исследование скорости роста *Trichoderma* spp. на различных средах. Для исследования скорости роста *Trichoderma* spp. на средах, моделирующих экссудаты *Cucumis sativus*, споры вносили методом укола микробиологической иглой в центр чашки Петри с подготовленной стерильной средой фиксированного объема. Каждый вариант имел 3 повторности. В качестве сред использовали среды Чапека и среды, моделирующие экссудаты прикорневой зоны растений. Далее чашки Петри помещали в условия с различными температурами: 9, 13, 15, 20, 28, 40, 50 °С. Интервал регулирования температуры составлял ± 1 °С. На протяжении 4-х суток наблюдали рост культуры и измеряли диаметр растущей колонии. По формуле (1) устанавливали скорость роста при снятии отдельных точек:

$$r = \frac{dD}{dt} \quad (1)$$

Для исследования характера взаимодействия штаммов между собой были выбраны 3 штамма: *Trichoderma viride* F2001, *Trichoderma harzianum* F2009, *Trichoderma longibrachiatum* F2124. Споры вносили в 25 мм от края чашки таким образом, чтобы расстояние от места посева штамма до центра чашки Петри и расстояние между штаммами было одинаковое.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Культивирование и исследование скорости роста *Trichoderma* spp. на различных средах. Для исследования скорости роста штамма *Trichoderma harzianum* F2009 раз в сутки измеряли диаметр растущей колонии на агаризованной среде Чапека в чашке Петри. Измерения проводились в течение 4-х суток после посева. По результатам измерений строили график зависимости диаметра колонии от времени культивирования. Поскольку среда Чапека, используемая в лабораторных исследованиях, не может моделировать условия, существующие в прикорневой зоне растений, подобное исследование проводили в том числе на среде, моделирующей состав экссудатов прикорневой зоны (рис. 1).

По данным, представленным на рис. 1, можно отметить, что при росте на среде Чапека при температуре 28 °С *Trichoderma harzianum* F2009 имел период *lag*-фазы, фазы замедленного роста и экспоненциальной фазы. Замедление роста на 4-й день культивирования могло проявляться вследствие достижения колонией края чашки Петри и снижения концентрации компонентов пита-

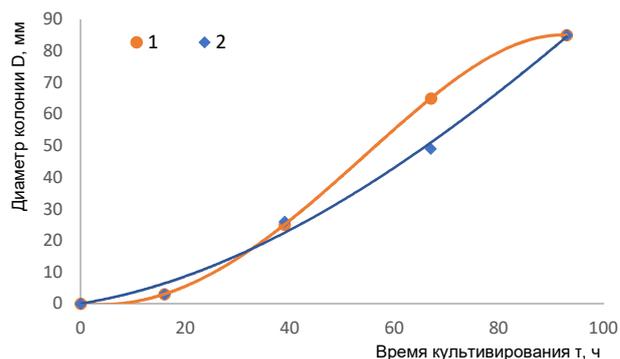


Рис. 1. Зависимость диаметра колонии *Trichoderma harzianum* F2009 от времени культивирования на агаризованной среде Чапека (1) и агаризованной среде, содержащей модели экссудатов (2), при температуре 28 °С

Fig. 1. Relationship between the diameter of the *Trichoderma harzianum* F2009 colony and the cultivation time on Czapek's agar medium (1) and on an agar medium containing model of exudates (2) at 28 °С

ния из-за диффузионных ограничений. Скорость роста измеряли по формуле (1). Для *Trichoderma harzianum* F2009, растущей на среде Чапека при температуре 28 °С, максимальное значение скорости роста достигало 0,97 мм/ч.

Полученные из рис. 1 данные свидетельствуют о том, что на среде, содержащей модели экссудатов, сохранялись те же закономерности, т. е. присутствовала *lag*-фаза, фаза ускоренного роста и экспоненциальная фаза.

Подобным образом были проанализированы данные, полученные при росте остальных представителей рода *Trichoderma* на среде Чапека и на среде, содержащей модели экссудатов, при температуре 28 °С. Закономерности роста (наличие *lag*-фазы, фазы ускоренного роста и экспоненциальной фазы) для исследуемых штаммов оставались неизменными, отличия заключались в продолжительности тех или иных фаз роста и значениях скорости роста.

Измерение скорости роста показало, что некоторые штаммы *Trichoderma* spp. при температуре 28 °С имели более высокие значения максимальной скорости роста на среде Чапека, а некоторые – на среде, моделирующей экссудаты растений. *Trichoderma viride* F2001, *Trichoderma harzianum* F2002, *Trichoderma longibrachiatum* F2123, *Trichoderma longibrachiatum* F2124 быстрее росли на среде Чапека, а *Trichoderma harzianum* F2009, *Trichoderma harzianum* F2125 – на среде, моделирующей экссудаты растений.

Аналогичные исследования были проведены для нескольких температур. В результате было выявлено, что все исследуемые штаммы растут в температурном диапазоне от 12 до 28 °С. При температуре 9 °С на среде Чапека наблюдался рост *Trichoderma viride* F2001 и *Trichoderma longibrachiatum* F2124, а на среде, моделирующей экссудаты, рос только штамм *Trichoderma longibrachiatum* F2124. При температуре 40 °С активный рост сохранялся у представителей вида

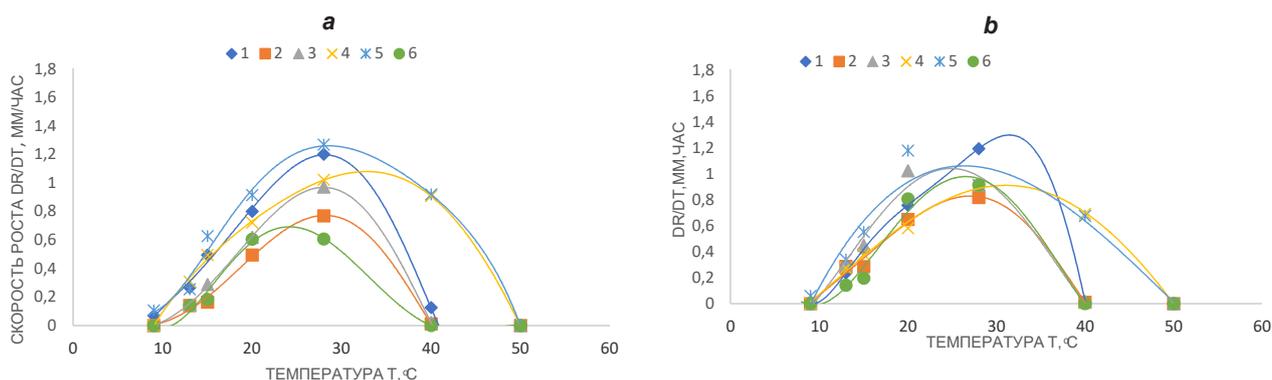


Рис. 2. Скорость роста *Trichoderma* spp. на среде Чапека (а) и на среде, моделирующей экссудаты растения (б), при различных температурах. 1 – *Trichoderma viride* F2001; 2 – *Trichoderma harzianum* F2002; 3 – *Trichoderma harzianum* F2009; 4 – *Trichoderma longibrachiatum* F2123; 5 – *Trichoderma longibrachiatum* F2124; 6 – *Trichoderma harzianum* F2125

Fig. 2. Growth rate of *Trichoderma* spp. on Czapek's medium (a) and on medium simulating plant exudates (b) at different temperatures. 1 – *Trichoderma viride* F2001; 2 – *Trichoderma harzianum* F2002; 3 – *Trichoderma harzianum* F2009; 4 – *Trichoderma longibrachiatum* F2123; 5 – *Trichoderma longibrachiatum* F2124; 6 – *Trichoderma harzianum* F2125

Trichoderma longibrachiatum, рост других видов был в значительной мере подавлен. Микроорганизмы образовывали большое количество хламидоспор, которые сохранялись в течение всего периода культивирования. При температуре 50 °С роста колоний не наблюдалось. После измерения по формуле (1) максимальной средней скорости роста всех исследуемых штаммов на среде Чапека и среде, моделирующей экссудаты, в различных температурах были построены графики зависимости средней скорости роста (в мм/ч) от температуры (рис. 2).

На рис. 2 (а, б) показано, что все исследуемые штаммы росли как на среде Чапека, так и на среде, моделирующей экссудаты корневой системы растения. Зависимость скорости роста от температуры имела колоколообразный вид, при этом диапазон температур, в котором колонии были способны к росту, отличался для различных штаммов.

По данным, представленным на рис. 2 (б), можно сделать вывод о том, что средняя скорость роста микроорганизмов на среде, моделирующей экссудаты, была в целом ниже, чем на среде Чапека. Виды *Trichoderma longibrachiatum* обладали наиболее широким температурным диапазоном, а *Trichoderma viride* F2001, *Trichoderma harzianum* F2009 и *Trichoderma longibrachiatum* F2124 имели высокую скорость роста на средах Чапека и на средах, моделирующих экссудаты. Стоит отметить, что температурный оптимум, т. е. температура, при которой наблюдалась наибольшая скорость роста, в некоторых случаях изменялся в зависимости от штамма и типа питательной среды.

Характерный тип взаимодействия *Trichoderma* spp. между собой представлен на рис. 3. На рис. 3 показано, что исследуемые штаммы при совместном культивировании не оказывали ярко выраженного угнетающего воздействия

друг на друга. В зоне контакта ухудшалось спорообразование и наблюдалось выделение метаболитов, окрашивающих среду.

По результатам экспериментов для других температур температура не оказывала влияния на тип взаимодействия между исследуемыми штаммами вплоть до 40 °С. При температуре 40 °С наблюдался активный рост лишь одного штамма – *Trichoderma longibrachiatum* F2124. Другие штаммы не развивались и образовывали большое количество хламидоспор. Микроморфология колонии в зоне контакта и в зоне чистой культуры не отличалась.

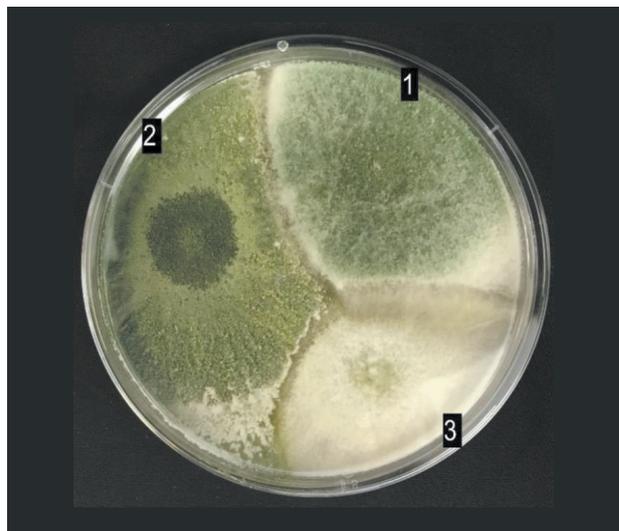


Рис. 3. Характер взаимодействия *Trichoderma* spp. между собой на среде Чапека при температуре 28 °С. 1 – *Trichoderma viride* F2001; 2 – *Trichoderma longibrachiatum* F2124; 3 – *Trichoderma harzianum* F2009

Fig. 3. Nature of the interaction of *Trichoderma* spp. among themselves on Czapek's medium at 28 °С. 1 – *Trichoderma viride* F2001; 2 – *Trichoderma longibrachiatum* F2124; 3 – *Trichoderma harzianum* F2009

ВЫВОДЫ

Все исследуемые штаммы оказались способны к поверхностному росту на среде, моделирующей экссудаты корневой системы растения.

Для всех штаммов в процессе культивирования на различных питательных средах сохранялись общие закономерности роста: было отмечено наличие *lag*-фазы, фазы ускоренного роста и экспоненциальной фазы роста.

Исследуемые штаммы имели различные диапазоны температур, при которых способны к поверхностному мицелиальному росту. Максимальная скорость роста у различных штаммов отмечалась при различных температурах.

При совместном поверхностном культивировании *Trichoderma* spp. между штаммами не наблюдалось ярко выраженного антагонизма и подавления их развития.

REFERENCES

1. Kredics L., Hatvani L., Naeimi S., Körmöczi P., Manczinger L., Vágvölgyi C., et al. Biodiversity of the genus *Hypocrea/Trichoderma* in different habitats. In: *Biotechnology and biology of Trichoderma*. Elsevier; 2014, p. 3-24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00001-1>.
2. Kullnig C., Szakacs G., Kubicek C. P. Molecular identification of *Trichoderma* species from Russia, Siberia and the Himalaya. *Mycological Research*. 2000;104(9):1117-1125. <https://doi.org/10.1017/S0953756200002604>.
3. Poveda J., Eugui D., Abril-Urias P. Could *Trichoderma* be a plant pathogen? Successful root colonization. In: *Trichoderma. Rhizosphere biology*. Sharma A., Sharma P. (eds.). Springer, Singapore; 2020, p. 35-59. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_3.
4. Rubini M. R., Silva-Ribeiro R. T., Pomella A. W. V., Maki C. S., Araújo W. L., dos Santos D. R., et al. Diversity of endophytic fungal community of cacao (*Theobroma cacao* L.) and biological control of *Crinipellis perniciosa*, causal agent of Witches' Broom Disease. *International Journal of Biological Sciences*. 2005;1(1):24-33. <https://dx.doi.org/10.7150%2Fijbs.1.24>.
5. Kredics L., Jimenez G. L., Naeimi S., Czifra D., Urbán P., Manczinger L., et al. A challenge to mushroom growers: the green mould disease of cultivated champignons. In: *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*. Méndez-Vilas A. (ed.). FORMA-TEX; 2010, p. 295-305.
6. Höller U., Wright A. D., Matthee G. F., König G. M., Draeger S., Aust H.-J., et al. Fungi from marine sponges: diversity, biological activity and secondary metabolites. *Mycological Research*. 2000;104(11):1354-1365. <http://dx.doi.org/10.1017/S0953756200003117>.
7. Zin N. A., Badaluddin N. A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*. 2020;65(2):168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.09.003>.
8. Monte E. Understanding *Trichoderma*: between biotechnology and microbial ecology. *International Journal of Microbiology*. 2001;4(1):1-4. <https://doi.org/10.1007/s101230100001>.
9. Sani M. N. H., Hasan M., Uddain J., Subramaniam S. Impact of application of *Trichoderma* and biochar on growth, productivity and nutritional quality of tomato under reduced N-P-K fertilization. *Annals of Agricultural Sciences*. 2020;65(1):107-115. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.06.003>.
10. Lucini L., Colla G., Moreno M. B. M., Bernardo L., Cardarelli M., Terzi V., et al. Inoculation of *Rhizoglyphus irregularis* or *Trichoderma atroviride* differentially modulates metabolite profiling of wheat root exudates. *Phytochemistry*. 2019;157:158-167. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.10.033>.
11. Caporale A. G., Sommella A., Lorito M., Lombardi N., Azam S. M. G. G., Pigna M., et al. *Trichoderma* spp. alleviate phytotoxicity in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) irrigated with arsenic-contaminated water. *Journal of Plant Physiology*. 2014;171(15):1378-1384. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.05.011>.
12. Vargas J. T., Rodríguez-Monroy M., Meyer M. L., Montes-Belmont R., Sepúlveda-Jiménez G. *Trichoderma asperellum* ameliorates phytotoxic effects of copper in onion (*Allium cepa* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 2017;136:85-93. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.01.009>.
13. López-Mondéjar R., Ros M., Pascual J. A. Mycoparasitism-related genes expression of *Trichoderma harzianum* isolates to evaluate their efficacy as biological control agent. *Biological Control*. 2011;56(1):59-66. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.10.003>.
14. Rajani P., Rajasekaran C., Vasanthakumari M. M., Olsson S. B., Ravikanth G., Shaanker R. U. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. *Microbiological Research*. 2021;242:126595. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126595>.
15. Metz N., Hausladen H. *Trichoderma* spp. as potential biological control agent against *Alternaria solani* in potato. *Biological Control*. 2022;166:104820. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104820>.
16. Jambhulkar P. P., Raja M., Singh B., Katoch S., Kumar S., Sharma P. Potential native *Trichoderma* strains against *Fusarium verticillioides* causing post flowering stalk rot in winter maize. *Crop Protection*. 2021;152:105838. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105838>.
17. Carvalho D. D. C., Junior M. L., Martins I., Ingulis P. W., Mello S. C. M. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* by *Trichoderma harzianum* and its use for common bean seed treatment. *Tropi-*

cal Plant Pathology. 2014;39(5):384-391. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000500005>.

18. Cherif M., Benhamou N. Cytochemical aspects of chitin breakdown during the parasitic action of a *Trichoderma* sp. on *Fusarium oxysporum* f. sp. radices-lycopersici. *Phytopathology*. 1990;80(12):1406-1414. <https://doi.org/10.1094/PHTO-80-1406>.

19. Shakeri J., Foster H. A. Proteolytic activity and antibiotic production by *Trichoderma harzianum* in relation to pathogenicity to insects. *Enzyme and Microbial Technology*. 2007;40(4):961-968. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.07.041>.

20. Juan Z., Ting L., Wei-Cheng L., Dian-Peng Z., Dan D., Hui-Ling W., et al. Transcriptomic insights into growth promotion effect of *Trichoderma afroharzia-*

num TM2-4 microbial agent on tomato plants. *Journal of Integrative Agriculture*. 2021;20(5):1266-1276. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63415-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63415-3).

21. da Silva L. R., Valadares-Inglis M. C., Peixoto G. H. S., de Luccas B. E. G., Costa Muniz P. H. P., Magalhães D. M., et al. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma azevedoi* promote the growth of lettuce plants and delay the symptoms of white mold. *Biological Control*. 2021;152:104447. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104447>.

22. Rosyida V. T., Indrianingsih A. W., Maryana R., Wahono S. K. Effect of temperature and fermentation time of crude cellulase production by *Trichoderma Reesei* on straw substrate. *Energy Procedia*. 2015;65:368-371. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.065>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

В. А. Писаревская,
студентка,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20,
Российская Федерация,
pisarevskayaviola@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2219-5801>

А. С. Журавлева,
магистрант,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20,
Российская Федерация,
Sashka.zhuravliova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4969-0765>

М. В. Минич,
аспирант,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20,
Российская Федерация,
Mminich8@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8791-0271>

Н. Б. Бехбудзада,
аспирант,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20,
Российская Федерация,
nnurlik@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0082-331X>

А. А. Шагаев,
ассистент,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20,
Российская Федерация,
shagaev.a.a@muctr.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8478-1160>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Violetta A. Pisarevkaia,
Student,
Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia,
20, Geroev Panfilovtsev St., 125480, Moscow,
Russian Federation,
pisarevskayaviola@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2219-5801>

Aleksandra S. Zhuravliova,
Master Student,
Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia,
20, Geroev Panfilovtsev St., 125480, Moscow,
Russian Federation,
Sashka.zhuravliova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4969-0765>

Maria V. Minich,
Postgraduate Student,
Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia,
20, Geroev Panfilovtsev St., 125480, Moscow,
Russian Federation,
Mminich8@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8791-0271>

Nurlan B. Behbudzada,
Postgraduate Student,
Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia,
20, Geroev Panfilovtsev St., 125480, Moscow,
Russian Federation,
nnurlik@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0082-331X>

Anton A. Shagaev,
Assistant,
Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia,
20, Geroev Panfilovtsev St., 125480, Moscow,
Russian Federation,
shagaev.a.a@muctr.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8478-1160>

Н. С. Марквичев,

к.т.н., доцент,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20,
Российская Федерация,
markvichev.n.s@muctr.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1595-2210>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 13.03.2022.
Одобрена после рецензирования 14.09.2022.
Принята к публикации 15.09.2022.

Nikolai S. Markvichev,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia,
20, Geroev Panfilovtsev St., 125480, Moscow,
Russian Federation,
markvichev.n.s@muctr.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1595-2210>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

*The article was submitted 13.03.2022.
Approved after reviewing 14.09.2022.
Accepted for publication 15.09.2022.*