

Научная статья
УДК 631.86, 632.937
DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-107-114>



Перспективы применения модифицированного биофунгицида на основе *Trichoderma viride* для оздоровления почв

Н.И. Кириллова, И.А. Дегтярева✉, Е.А. Прищепенко

Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Препарат Триходермин на основе *Trichoderma viride* предназначен для обработки семян зерновых, овощных, плодово-ягодных культур и для внесения в почву. Новое направление в исследованиях связано с применением природных минералов – цеолита (0,2 и 0,04 мм), диатомита, глауконита и сапропеля. В лабораторных экспериментах установлено, что природные минералы не угнетают развитие *T. viride*. Только глауконит и диатомит, стимулируя ее рост, приводят к быстрому спороношению. Цеолит в обеих фракциях (0,20 и 0,04 мм) оказывает пролонгирующее действие на рост *T. viride*. Сапропель удлиняет срок развития микромицета в меньшей степени, чем цеолит в обеих фракциях. Исследования продолжены в полевом опыте, где после внесения биопрепарата Триходермин проведена оценка микромицетного состава серой лесной почвы Лаишевского муниципального района Республики Татарстан. Биофунгицид на основе микромицета *T. viride* (доза 3 кг/га) внесен в почву совместно с вышеперечисленными природными минералами (доза внесения каждого 0,5 т/га). Отбор проб почвы для количественной и качественной характеристики микромицетного сообщества проведен в фазы всхожести и кущения озимой пшеницы сорта Султан. Установлено, что применение препарата Триходермин способствует значительному увеличению в почве представителей рода *Trichoderma*. Отмечено преобладание этого рода (74–100%) по сравнению с остальными микроскопическими грибами (pp. *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*). Выявлена ингибирующая активность *Trichoderma* в отношении патогенных грибов. Фитопатогенные грибы рода *Fusarium* отсутствуют только в вариантах с добавлением цеолита (0,04 мм) и диатомита. Применение диатомита и цеолита совместно с препаратом Триходермин является перспективным приемом для улучшения фитосанитарного состояния почв сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: *Trichoderma viride*, биофунгицид, диатомит, глауконит, сапропель, цеолит, почва, микромицеты

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № FMEG-2021-0003, регистрационный номер 121021600147-1.

Для цитирования: Кириллова Н.И., Дегтярева И.А., Прищепенко Е.А. Перспективы применения модифицированного биофунгицида на основе *Trichoderma viride* для оздоровления почв // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 1. С. 107–114. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-107-114>.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Prospects of a modified biofungicide based on *Trichoderma viride* for soil health improvement

Nadezhda I. Kirillova, Irina A. Degtyareva✉, Elena A. Prishchepenکو

Scientific Institution Tatar Scientific Research Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Kazan, Russian Federation

Abstract. *Trichodermin* biopreparations isolated from *Trichoderma viride* are widely used for treating seed, vegetable, fruit and berry crops, as well as for soil application. A promising research direction consists in the simultaneous use of *Trichodermin* biopreparations and natural minerals, such as zeolite (0.2 and 0.04 mm), diatomite, glauconite and sapropel. Our laboratory experiments showed that these minerals do not inhibit the development of *T. viride*. While promoting *T. viride* growth, glauconite and diatomite application lead to its rapid sporulation. Zeolite in both fractions (0.20 and 0.04 mm) has a long-acting effect on *T. viride* growth. Sapropel prolongs the period of micromycete development to a lesser extent than zeolite in both fractions does. The studies were continued in a field experiment, where the micromycete composition of gray forest soils of Laishevsky district of the Republic of Tatarstan was evaluated after the application of a *Trichodermin* biopreparation. A biofungicide based on *T. viride* (at a dose of 3 kg/ha) was introduced into the soil together

© Кириллова Н.И., Дегтярева И.А., Прищепенко Е.А., 2023

with the above natural minerals (at a dose of 0.5 t/ha each). Soil sampling for a quantitative and qualitative analysis of the micromycete community was carried out in the phases of germination and tillering of winter wheat (Sultan variety). *Trichodermin* contributed to a significant increase in the amount of *T. viride* in the soil. This genus was the dominant (74–100%) among other microscopic fungi present in the soil (*p. Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*). *T. viride* was found to exhibit inhibitory activity against pathogenic fungi. Phytopathogenic fungi of the *Fusarium* genus were absent only in variants with the addition of zeolite (0.04 mm) and diatomite. The use of diatomite and zeolite together with *Trichodermin* preparations is a promising technique for improving the phytosanitary state of agricultural soils.

Keywords: *Trichoderma viride*, biofungicide, diatomite, glauconite, sapropel, zeolite, soil, micromycetes

Funding. The work is carried out within the framework of the state task no. FMEG-2021-0003, registration number 121021600147-1.

For citation: Kirillova N.I., Degtyareva I.A., Prishchepenko E.A. Prospects of a modified biofungicide based on *Trichoderma viride* for soil health improvement. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(1):107-114. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-107-114>.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное природопользование – одно из приоритетных направлений развития науки и технологий в Российской Федерации. Актуальным элементом системы защиты растений от болезней является применение биотехнологий и биосредств. Это одна из самых быстрорастущих высокотехнологичных областей в мире.

Подавляющее количество возбудителей болезней растений относится к фитопатогенным грибам (более 80%). При этом потери урожая возделываемых культур от грибных болезней в разные годы составляют 5–30% и могут достигать до 50% и более в эпифитотийные годы, когда степень поражения культур болезнями значительно превосходит среднестатистические показатели¹.

В повышении плодородия почв значительный интерес представляет разработка экологически безопасных фунгицидов, т.к. внесение в почву препаратов на основе микроорганизмов-антагонистов существенно снижает количество фитопатогенных грибов в ризосфере растений и способствует оздоровлению почвы [1]. На сегодняшний день на рынке существует огромное количество разнообразных биопрепаратов. Для обработки семян в борьбе с фитопатогенами рекомендованы бактериальные препараты на основе штаммов *Vacillus subtilis* (Интеграл, Фитоспорин, Бактофит), штаммов *Pseudomonas fluorescens* (Биограм), штаммов *Pseudomonas aureofaciens* (Псевдобактерин-2), грибной препарат на основе штаммов *Trichoderma lignorum*, *Trichoderma viride* (Триходермин). Данные препараты менее токсичны по сравнению с химическими фунгицидами и более доступны для большинства сельхозтоваропроизводителей из-за относительно низкой стоимости². Именно благодаря биометодам возможно сокращение числа химических обработок и восстановление численности природных популяций.

В сельском хозяйстве применяются биопрепараты на основе микромицета рода *Trichoderma*, который характеризуется быстрым ростом, высоким конидиальным спороношением и способностью образовывать склероции при неблагоприятных условиях [2]. Использование грибов рода *Trichoderma* является основой для

реализации экологически безопасных, экономичных и долговременных методов борьбы с патогенными микроорганизмами почвы [3, 4].

Trichoderma играет важную роль в повышении плодородия почвы. Она является антагонистом по отношению к ряду патогенных грибов родов *Fusarium*, *Phytophthora*, *Alternaria*, *Phythium*, *Botrytis*, *Phoma* [5, 6], подавляя их развитие [7, 8]. *Trichoderma* характеризуется высокой приживаемостью и конкурентоспособностью благодаря развитой системе ферментативного аппарата. Микромицет *Trichoderma* синтезирует физиологически активные вещества, влияющие на биохимические процессы, протекающие в растениях, оказывает положительное действие на ростовые процессы и влияет на продуктивность растений [9–11].

На основе штамма *Trichoderma viride* создан биопрепарат Триходермин, который оказывает стимулирующее действие на развитие растений, влияет на изменение структуры почвы, улучшает ее плодородие [12, 13]. При внесении этого препарата в почву развивается мицелий, выделяющий антибиотики (глиотоксин, виридин, алалицин и др.), которые оказывают защитное действие более чем от 40 возбудителей болезней, в том числе и от корневых гнилей [14].

Широкое использование биологических методов позволяет кардинально изменить ситуацию в растениеводстве, а именно успешно решать вопросы не только производства качественной растениеводческой продукции, но в целом охраны природы и здоровья населения.

С учетом вызовов современности, связанных с санкциями против России, и современных тенденций развития сельского хозяйства (повышение цен на минеральные удобрения, снижение почвенного плодородия, поиск альтернативы пестицидам и др.) необходимы новые и модифицированные биофунгициды на основе местной микрофлоры и минерального сырья, применяемого в качестве пролонгаторов роста микроорганизмов.

Цель исследования – изучение микромицетного состава почвы в полевых условиях при внесении модифицированного препарата Триходермин.

¹Сокирко В.П., Горьковенко В.С., Зазимко М.И. Фитопатогенные грибы (морфология и систематика): учеб. пособие. Краснодар: КубГАУ, 2014. 178 с.

²Минаева О.М., Акимова Е.Е., Зюбанова Т.И., Терещенко Н.Е. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности: учеб. пособие. Томск: ТГУ, 2018. 130 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Биопрепарат Триходермин был создан на основе микроскопического гриба *T. viride* (получен в филиале ФГБУ «Россельхозцентр» по Республике Татарстан (РТ), титр – не менее $1,5 \cdot 10^9$ КОЕ/г). Вносили несколько природных минералов: цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения РТ, диатомит Инзенского месторождения Ульяновской области РФ, глауконит Сюндюковского месторождения РТ, сапропель месторождения оз. Белое РТ [15].

Работа состояла из нескольких этапов: лабораторные эксперименты и исследования в полевом опыте. В лабораторных экспериментах проверяли совместимость и сохранность *T. viride* с природными минералами. Для оценки совместимости в среде Чапека добавляли природные минералы в концентрации 1 г/л. Затем в агаризованную модифицированную среду проводили посев *T. viride* штрихом и уколом, инкубируя затем в термостате при температуре 28 °С. За ростом *T. viride* наблюдали в динамике (на 4, 7 и 10 сутки культивирования) по размеру колоний. Для проверки сохранности проводили культивирование *T. viride* на органическом субстрате с внесением исследуемых минералов (в соотношении 1:10) с последующим определением численности микромицета.

Полевой опыт был заложен на серой лесной среднесуглинистой почве Лаишевского муниципального района РТ по схеме: 1) фон (N_{60}, P_{60}, K_{60}); 2) фон + Триходермин; 3) фон + Триходермин + цеолит 0,2 мм; 4) фон + Триходермин + цеолит 0,04 мм; 5) фон + Триходермин + диатомит; 6) фон + Триходермин + глауконит; 7) фон + Триходермин + сапропель. Доза внесения препарата Триходермин – 3 кг/га. Площадь делянки – 18 м², повторность 3-кратная, размещение делянок рандомизированное.

Серая лесная среднесуглинистая почва имела следующую агрохимическую характеристику: гумус – 3,2%; рН_{соль} – 6,0; Н_г – 0,8 мг-экв/100 г; S_{по} – 21,2 мг-экв/100 г; N_{щел} – 119,0 мг/кг; P_{2O5} – 92,0 мг/кг; K_{2O} – 162,0 мг/кг. В полевом опыте выращивали озимую пшеницу сорта Султан.

Отбор проб почвы проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83³ в фазы всходов и кущения озимой пшеницы. Посев почвенных образцов осуществляли на среду Чапека в чашки Петри методом предельных разведений⁴. Инкубацию проводили в термостате при температуре 27 °С. Подсчет выросших колоний микромицетов осуществляли на 3 сут. культивирования. Микрокопирование мицелия проводили с помощью инвертированного биологического микроскопа НИБ (ООО «ЛОМО-Микроанализ», Россия). Определение до рода осуществляли по определителю⁵.

Все параметры измеряли не менее чем в 3-кратной повторности. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью электронных таблиц Excel и программы Origin 4.1.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Препарат Триходермин на основе *T. viride* предназначен и для обработки семян зерновых, овощных, плодово-ягодных культур, и для внесения в почву. Новое направление в исследованиях связано с применением природных минералов в качестве пролонгаторов роста микромицетов рода *Trichoderma*. Для создания модифицированных препаратов на основе *T. viride* необходимо комплексное изучение ее совместимости с минералами.

Рост *T. viride* изучен в динамике при посеве на среду Чапека с добавлением в нее природных минералов (рис. 1, 2).

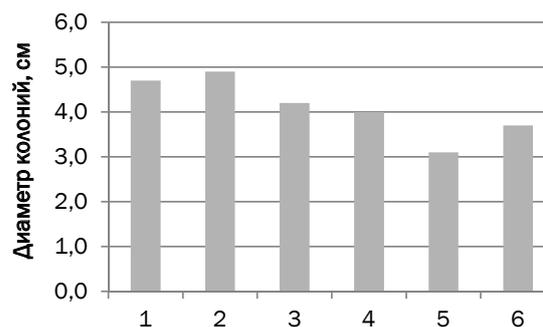


Рис. 1. Диаметр колоний *Trichoderma viride* с природными минералами по состоянию на 4 сутки: 1 – *T. viride* (контроль); 2 – *T. viride* + диатомит; 3 – *T. viride* + глауконит; 4 – *T. viride* + сапропель; 5 – *T. viride* + цеолит (0,04 мм); 6 – *T. viride* + цеолит (0,20 мм)

Fig. 1. Diameter of *Trichoderma viride* colonies with natural minerals as of day 4: 1 – *T. viride* (control); 2 – *T. viride* + diatomite; 3 – *T. viride* + glaucanite; 4 – *T. viride* + sapropel; 5 – *T. viride* + zeolite (0.04 mm); 6 – *T. viride* + zeolite (0.20 mm)

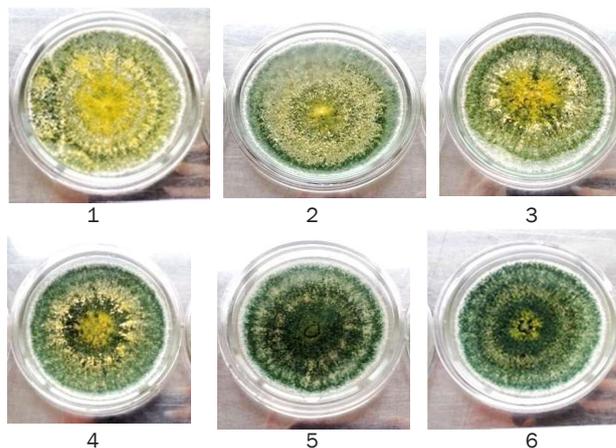


Рис. 2. Рост *Trichoderma viride* с природными минералами по состоянию на 7 сутки: 1 – *T. viride* (контроль); 2 – *T. viride* + диатомит; 3 – *T. viride* + глауконит; 4 – *T. viride* + сапропель; 5 – *T. viride* + цеолит (0,04 мм); 6 – *T. viride* + цеолит (0,20 мм)

Fig. 2. Growth of *Trichoderma viride* with natural minerals on day 7: 1 – *T. viride* (control); 2 – *T. viride* + diatomite; 3 – *T. viride* + glaucanite; 4 – *T. viride* + sapropel; 5 – *T. viride* + zeolite (0.04 mm); 6 – *T. viride* + zeolite (0.20 mm)

³ГОСТ 17.4.3.0-83. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2008. 3 с.

⁴Нетрусов А.И., Котова И.Б. Общая микробиология: учебник для студ. М.: Академия, 2007. 288 с.

⁵Пидопличко Н.М. Грибы-паразиты культурных растений: определитель в 3-х т. Т. 2. Грибы несовершенные. Киев: Наукова думка, 1977. 301 с.

Установлено, что природные минералы не угнетают развитие *T. viride*. Только глауконит и диатомит, стимулируя ее рост, приводят к быстрому спороношению. Цеолит в обеих фракциях (0,20 и 0,04 мм) оказывает более длительное пролонгирующее действие на рост *T. viride*. Сапропель удлиняет срок развития микромицета в меньшей степени, чем цеолит в обеих фракциях. Следовательно, применение практически всех исследованных природных минералов способствует удлинению развития *T. viride* и оттягиванию сроков спороношения, что увеличивает сохранность и активность микромицета в составе биопрепарата (см. рис. 2).

При изучении действия различных минералов на рост и сохранность жизнеспособности *T. viride* установлено, что цеолит, диатомит, глауконит и сапропель не ингибируют рост *T. viride* [16].

Исследования продолжены в полевом опыте. Разнообразии почвенных микромицетов в опытных вариантах представлено родами *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Fusarium*. Установлено, что внесение препарата Триходермин способствует значительному увеличению численности грибов рода *Trichoderma* в почве во всех вариантах по сравнению с другими выявленными родами (рис. 3).

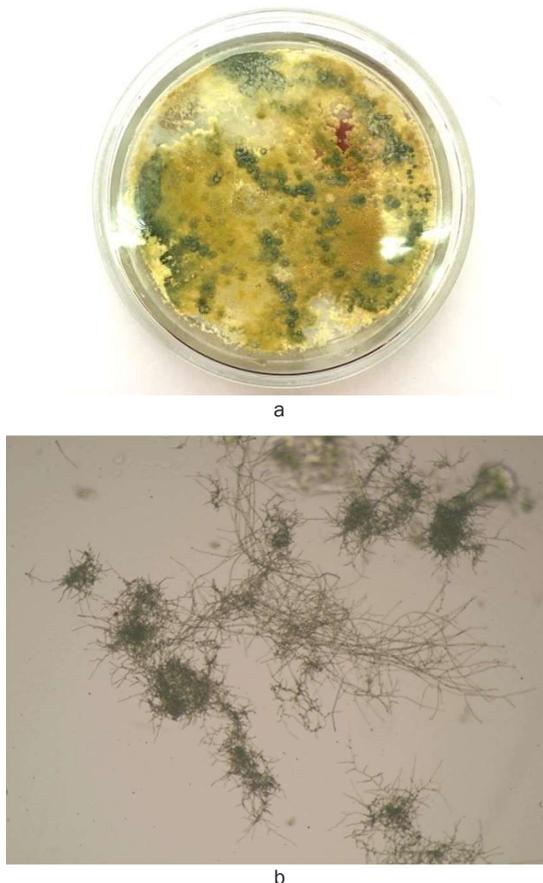


Рис. 3. Рост рода *Trichoderma* из образца почвы на среде Чапека (а) и микроскопическое изображение мицелия (инвертированный биологический микроскоп НИБ, увеличение $\times 40$) (б)

Fig. 3. Growth of the genus *Trichoderma* from a soil sample on Czapek's medium (a) and microscopic image of the mycelium (NIB inverted biological microscope, $\times 40$ magnification) (b)

В исходной почве обнаружены патогенные грибы и отсутствуют микромицеты рода *Trichoderma*. В фазе всходов озимой пшеницы микромицетный состав иной. На рис. 4 представлен количественный и качественный состав микромицетов в исследуемых образцах почвы и процентное содержание рода *Trichoderma* относительно общего количества микроскопических грибов.

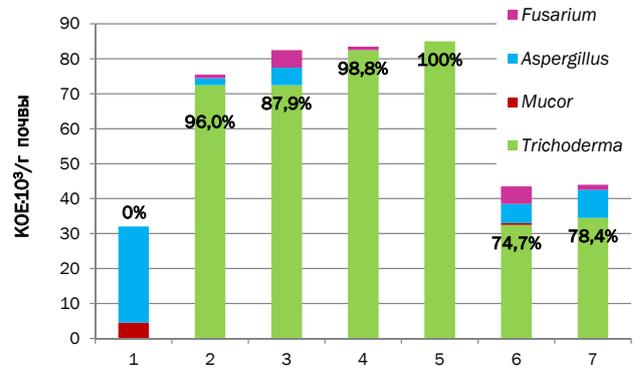


Рис. 4. Почвенное микромицетное сообщество при внесении биопрепарата Триходермин в фазе всходов: 1 – фон (NPK); 2 – фон + Триходермин; 3 – фон + Триходермин + цеолит 0,2 мм; 4 – фон + Триходермин + цеолит 0,04 мм; 5 – фон + Триходермин + диатомит; 6 – фон + Триходермин + глауконит; 7 – фон + Триходермин + сапропель

Fig. 4. Soil micromycete community after application of Trichodermin biopreparation in the seedling phase: 1 – background (NPK); 2 – background + Trichodermin; 3 – background + Trichodermin + zeolite 0.2 mm; 4 – background + Trichodermin + zeolite 0.04 mm; 5 – background + Trichodermin + diatomite; 6 – background + Trichodermin + glauconite; 7 – background + Trichodermin + sapropel

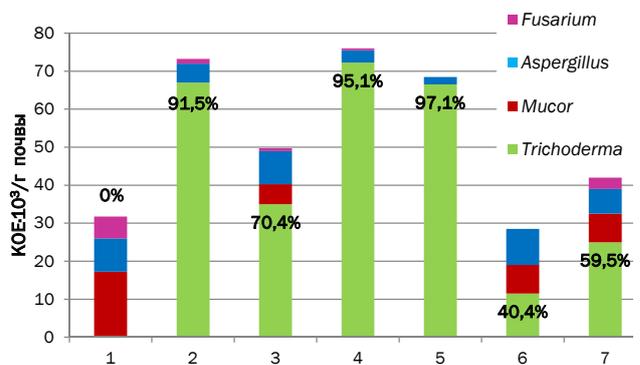


Рис. 5. Почвенное микромицетное сообщество при внесении биопрепарата Триходермин в фазе кушения: 1 – фон (NPK); 2 – фон + Триходермин; 3 – фон + Триходермин + цеолит 0,2 мм; 4 – фон + Триходермин + цеолит 0,04 мм; 5 – фон + Триходермин + диатомит; 6 – фон + Триходермин + глауконит; 7 – фон + Триходермин + сапропель

Fig. 5. Soil micromycete community after application of Trichodermin biopreparation in the tillering phase: 1 – background (NPK); 2 – background + Trichodermin; 3 – background + Trichodermin + zeolite 0.2 mm; 4 – background + Trichodermin + zeolite 0.04 mm; 5 – background + Trichodermin + diatomite; 6 – background + Trichodermin + glauconite; 7 – background + Trichodermin + sapropel

Установлено, что внесение биофунгицида Триходермин способствует значительному преобладанию рода *Trichoderma* по сравнению с другими микроскопическими грибами. В вариантах с применением препарата Триходермин и биофунгицида совместно с природными минералами, такими как диатомит и цеолит, содержание рода *Trichoderma* максимальное ($8,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г почвы) и составляет 87,9–100,0%. При внесении биофунгицида Триходермин с глауконитом и сапропелем также отмечено преобладание рода *Trichoderma* (74,7 и 78,4% соответственно), но количество несколько ниже – $3,25 \cdot 10^4$ и $3,45 \cdot 10^4$ КОЕ/г почвы соответственно.

Спустя месяц (в фазе кущения) был произведен второй отбор проб почвы (рис. 5).

В этой фазе онтогенеза озимой пшеницы также наблюдается высокое процентное содержание рода *Trichoderma* в вариантах с внесением Триходермина – Триходермин + цеолит (0,04 мм) и Триходермин + диатомит (91,5; 95,1 и 97,1% соответственно). В варианте Триходермин + цеолит (0,2 мм) отмечено снижение численности микромицета рода *Trichoderma* в 2,1 раза по сравнению с отбором в фазе всходов. Следует отметить вариант с внесением глауконита, который характеризуется наименьшим содержанием рода *Trichoderma* (40,4%) и количеством ($1,2 \cdot 10^4$ КОЕ/г почвы), что в 2,8 раз меньше, чем в фазе всходов. Патогенные грибы рода *Fusarium* отсутствуют в вариантах с применением цеолита (0,04 мм) и диатомита.

Полученные данные согласуются с исследованиями, в которых показано, что взаимодействие *Trichoderma* с почвой вызывает существенные изменения в ее микробном сообществе [11, 17, 18]. Эффективность внесения биопрепаратов на основе рода *Trichoderma* в почву подтверждается в публикации Р.А.А. Хан и соавторов, где отмечено, что микромицеты рода *Trichoderma* вступают в сложные взаимоотношения с аборигенной почвенной микрофлорой, в процессе которых может происходить подавление роста, стимуляция развития микроорганизмов либо нейтральное отношение к присутствию рода *Trichoderma* [19].

Благодаря своим ростовым особенностям, физи-

ологическим свойствам и спектру экзо- и эндометаболитов представители рода *Trichoderma* обладают высокой приспособленностью, выживаемостью и конкурентоспособностью в экологической нише [12]. Искусственно внесенные в почву микрогрибы рода *Trichoderma* вступают в сложные взаимоотношения с аборигенной почвенной микрофлорой [19].

В работах С. Кесвани с соавторами и Ф.К. Алимовой описана фунгистатическая активность *Trichoderma* по отношению к фитопатогенным микроорганизмам (*Penicillium* и *Aspergillus*), а также ее стимулирующее действие на развитие полезных бактерий (диазотрофных бактерий, актинобактерий) [12]. Важную роль микроорганизмов-антагонистов в фитосанитарной оптимизации агроэкосистем отмечают И.И. Новикова, Л.Е. Колесников с соавторами и др. [1, 20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение практически всех исследованных природных минералов способствует удлинению развития *T. viride* и оттягиванию сроков спороношения. Использование препарата Триходермин совместно с природными минералами улучшает фитосанитарное состояние почвы в полевом опыте с озимой пшеницей. Отмечено преобладание рода *Trichoderma* по сравнению с остальными выявленными почвенными микромицетами (рр. *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*). При этом внесение препарата Триходермин способствует значительному увеличению в почве *T. viride*, которая проявляет ингибирующую активность в отношении патогенных грибов. Особо значимым является то, что фитопатогенные грибы рода *Fusarium* отсутствуют в вариантах с добавлением цеолита (0,04 мм) и диатомита.

Считаем, что, несмотря на существующие удобрения, необходимы более эффективные способы улучшения свойств почвы и растений. Повышение продуктивности культур можно достигнуть за счет применения природных минералов и органоминеральных соединений, способствующих более эффективному усвоению элементов питания растениями и стимуляции внутренних резервов сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новикова И.И. Биологическое обоснование создания и применения полифункциональных биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем // Вестник защиты растений. 2017. N 3. С. 16–23.
2. Strakowska J., Błaszczuk L., Chełkowski J. The significance of cellulolytic enzymes produced by *Trichoderma* in opportunistic lifestyle of this fungus // Journal of Basic Microbiology. 2014. Vol. 54, no. S1. P. S2–S13. <https://doi.org/10.1002/jobm.201300821>.
3. Mendoza-Mendoza A., Clouston A., Li J.H., Nieto-Jacobo M.F., Cummings N., Steyaert J., et al. Isolation and mass production of *Trichoderma* // Microbial-based biopesticides. New York: Humana Press, 2016. P. 13–20. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6367-6_2.
4. Rahnema K. Mass production of *Trichoderma* spp. and application // International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 2012. Vol. 3, no. 2. P. 292–298.
5. Al-Ani L.K.T., Singh H.B., Keswani C., Reddy M.S., Sansinenea E., García-Estrada C. Bioactive secondary metabolites of *Trichoderma* spp. for efficient management of phytopathogens // Secondary metabolites of plant growth promoting rhizomicroorganisms. Singapore: Springer, 2019. P. 125–143. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_7.
6. Штерншис М.В., Джалилов Ф.С.-У., Андреева И.В., Томилова О.Г. Биологическая защита растений. М.: КолосС, 2004. 264 с.
7. Потехина Р.М. Морфологические изменения полевых изолятов рода *Trichoderma* после приме-

нения гербицидов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2021. Т. 246. № 2. С. 166–171. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-246-2-166-171>.

8. Mohsenzadeh F., Shahrokhi F. Biological removing of cadmium from contaminated media by fungal biomass of *Trichoderma* species // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2014. Vol. 12, no. 1. P. 102. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-102>.

9. Vicente I., Baroncelli R., Hermosa R., Monte E., Vannacci G., Sarrocco S. Role and genetic basis of specialised secondary metabolites in *Trichoderma* eco-physiology // *Fungal Biology Reviews*. 2022. Vol. 39. P. 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.12.004>.

10. Голованова Т.И., Гаевский Н.А., Валиуллина А.Ф., Литовка Ю.А. Влияние спор *Trichoderma asperellum* и метаболитов *Fusarium sporotrichioides* на ростовые процессы и фотосинтетический аппарат пшеницы // *Микология и фитопатология*. 2020. Т. 54. № 2. С. 134–142. <https://doi.org/10.31857/S0026364820020038>.

11. Сейкетов Г.Ш. Грибы рода *Trichoderma* и их использование в практике. Алма-Ата: Наука, 1982. 248 с.

12. Keswani C., Singh H.B., Hermosa R., García-Estrada C., Caradus J., He Y.H., et al. Antimicrobial secondary metabolites from agriculturally important fungi as next biocontrol agents // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103. P. 9287–9303. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10209-2>.

13. Зуев П. Как получать и хранить Триходермин // *Микология и фитопатология*. 1971. Т. 5. № 6. С. 44.

14. Ямалиева А.М., Апаева Н.Н. Применение биопрепаратов при возделывании яровой пшеницы // *Вестник Марийского государственного университета*. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономиче-

ские науки. 2019. Т. 5. № 4. С. 432–439. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-4-432-439>.

15. Яппаров А.Х., Алиев Ш.А., Яппаров И.А., Дегтярева И.А., Ежкова А.М., Ежков В.О. [и др.]. Научное обоснование получения наноструктурных и нанокompatных материалов и технологии их использования в сельском хозяйстве: монография. Казань: Центр инновационных технологий, 2014. 304 с.

16. Кириллова Н.И., Прищепенко Е.А., Дегтярева И.А., Кошпаева Т.В., Новичков В.Л. Разработка метода хранения биопрепарата Триходермин // *Агрохимический вестник*. 2022. № 3. С. 60–64. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-3-011>.

17. Горшков В.Ю. Бактериозы растений: молекулярные основы формирования растительно-микробных патосистем. Казань: Изд-во Сергея Бузукина, 2017. 301 с.

18. Matarese F., Sarrocco S., Gruber S., Seidl-Seiboth V., Vannacci G. Biocontrol of *Fusarium* head blight: interactions between *Trichoderma* and mycotoxigenic *Fusarium* // *Microbiology*. 2012. Vol. 158. P. 98–106. <https://doi.org/10.1099/mic.0.052639-0>.

19. Khan R.A.A., Najeeb S., Hussain S., Xie B., Li Y. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against Phytopathogenic Fungi // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8, no. 6. P. 817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>.

20. Колесников Л.Е., Попова Э.В., Новикова И.И., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Колесникова Ю.Р. [и др.]. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 5. С. 1024–1040. <https://doi.org/10.15389/agrobiologia.2019.5.1024rus>.

REFERENCES

1. Novikova I.I. Biological substantiation of the use and polyfunctional biological products based on antagonist microbes for a phytosanitary effective agroecosystem. *Vestnik zashchity rastenii*. 2017;(3):16-23. (In Russian).

2. Strakowska J., Błaszczuk L., Chełkowski J. The significance of cellulolytic enzymes produced by *Trichoderma* in opportunistic lifestyle of this fungus. *Journal of Basic Microbiology*. 2014;54(S1):S2-S13. <https://doi.org/10.1002/jobm.201300821>.

3. Mendoza-Mendoza A., Clouston A., Li J.H., Nieto-Jacobo M.F., Cummings N., Steyaert J., et al. Isolation and mass production of *Trichoderma*. In: *Microbial-based biopesticides*. New York: Humana Press; 2016, p. 13-20. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6367-6_2.

4. Rahnema K. Mass production of *Trichoderma* spp. and application. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 2012;3(2):292-298.

5. Al-Ani L.K.T., Singh H.B., Keswani C., Reddy M.S., Sansinenea E., García-Estrada C. Bioactive secondary metabolites of *Trichoderma* spp. for efficient man-

agement of phytopathogens. In: *Secondary metabolites of plant growth promoting rhizomicroorganisms*. Singapore: Springer; 2019, p. 125-143. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_7.

6. Shternshis M.V., Dzhailov F.S.-U., Andreeva I.V., Tomilova O.G. *Biological plant protection*. Moscow: KolosS; 2004. 264 p. (In Russian).

7. Potekhina R.M. Morphological changes of field isolates of the genus *Trichoderma* to herbicides. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baumana*. 2021;246(2):166-171. (In Russian). <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-246-2-166-171>.

8. Mohsenzadeh F., Shahrokhi F. Biological removing of cadmium from contaminated media by fungal biomass of *Trichoderma* species. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2014;12(1):102. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-102>.

9. Vicente I., Baroncelli R., Hermosa R., Monte E., Vannacci G., Sarrocco S. Role and genetic basis of specialised secondary metabolites in *Trichoderma* eco-

physiology. *Fungal Biology Reviews*. 2022;39:83-99. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.12.004>.

10. Golovanova T.I., Gaevsky N.A., Valiulina A.F., Litovka Yu.A. The influence of *Trichoderma asperellum* spores and metabolites of *Fusarium sporotrichioides* on wheat growth processes and photosynthetic apparatus. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2020;54(2):134-142. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0026364820020038>.

11. Seiketov G.Sh. *Mushrooms of the genus Trichoderma and their use in practice*. Alma-Ata: Nauka; 1982. 248 p. (In Russian).

12. Keswani C., Singh H.B., Hermosa R., García-Estrada C., Caradus J., He Y.H., et al. Antimicrobial secondary metabolites from agriculturally important fungi as next biocontrol agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019;103:9287-9303. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10209-2>.

13. Zuev P. How to get and store Trichodermin. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 1971;5(6):44. (In Russian).

14. Yamaliev A.M., Apaeva N.N. Application of biological preparations in the cultivation of spring wheat. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaistvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki = Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2019;5(4):432-439. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-4-432-439>. (In Russian).

15. Yapparov A.Kh., Aliev Sh.A., Yapparov I.A., Degtyareva I.A., Ezhkova A.M., Ezhkov V.O., et al. *Scientific*

substantiation of obtaining nanostructured and nanocomposite materials and technology of their use in agriculture: monograph. Kazan': Tsentr innovatsionnykh tekhnologii; 2014. 304 p. (In Russian).

16. Kirillova N.I., Prishchepenko E.A., Degtyareva I.A., Koshpaeva T.V., Novichkov V.L. Development of a storage method for the biological product Trichodermin. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*. 2022;(3):60-64. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-3-011>. (In Russian).

17. Gorshkov V.Yu. *Plant bacterioses: molecular basis for the formation of plant-microbial pathosystems*. Kazan': Izd-vo Sergeya Buzukina; 2017. 301 p. (In Russian).

18. Matarese F., Sarrocco S., Gruber S., Seidl-Seiboth V., Vannacci G. Biocontrol of *Fusarium* head blight: interactions between *Trichoderma* and mycotoxigenic *Fusarium*. *Microbiology*. 2012;158:98-106. <https://doi.org/10.1099/mic.0.052639-0>.

19. Khan R.A.A., Najeeb S., Hussain S., Xie B., Li Y. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against Phytopathogenic Fungi. *Microorganisms*. 2020;8(6):817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>.

20. Kolesnikov L.E., Popova E.V., Novikova I.I., Priyatkin N.S., Arkhipov M.V., Kolesnikova Yu.R., et al. Joint use of strains of microorganisms and chitosan complexes to increase the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2019;54(5):1024-1040. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus>. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кириллова Надежда Игоревна,
младший научный сотрудник,
Татарский научно-исследовательский институт
агрехимии и почвоведения – обособленное
структурное подразделение Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии
наук»,
420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20А,
Российская Федерация,
Nadyakirillova13@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8316-5780>

Дегтярева Ирина Александровна,
д.б.н., доцент, главный научный сотрудник,
Татарский научно-исследовательский институт
агрехимии и почвоведения – обособленное
структурное подразделение Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии
наук»,
420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20А,
Российская Федерация,
peace-1963@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1575-8493>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nadezhda I. Kirillova,
Junior Researcher,
Scientific Institution Tatar Scientific Research
Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science –
Subdivision of the Federal State Budgetary Institution
of Science «Kazan Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences»,
20A, Orenburg trakt St., 420059, Kazan,
Russian Federation,
Nadyakirillova13@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8316-5780>

Irina A. Degtyareva,
Dr. Sci. (Biology), Associate Professor,
Chief Researcher,
Scientific Institution Tatar Scientific Research
Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science –
Subdivision of the Federal State Budgetary Institution
of Science «Kazan Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences»,
20A, Orenburg trakt St., 420059, Kazan,
Russian Federation,
peace-1963@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1575-8493>

Прищепенко Елена Александровна,
к.с.-х.н., руководитель,
Татарский научно-исследовательский институт
агрохимии и почвоведения – обособленное
структурное подразделение Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии
наук»,
420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20А,
Российская Федерация,
pea77@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9068-3014>

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 21.11.2022.
Одобрена после рецензирования 31.01.2023.
Принята к публикации 28.02.2023.

Elena A. Prishchepenko,
Cand. Sci. (Agriculture), Director,
Scientific Institution Tatar Scientific Research
Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science –
Subdivision of the Federal State Budgetary Institution
of Science «Kazan Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences»,
20A, Orenburg trakt St., 420059, Kazan,
Russian Federation,
pea77@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9068-3014>

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 21.11.2022.
Approved after reviewing 31.01.2023.
Accepted for publication 28.02.2023.