

УДК 57:632.9: 631.8

DOI 10.33814/AFP-2222-5366-2026-2-41-49

**БИОПРАЙМИНГ СЕМЯН КОРМОВЫХ БОБОВ ИЗОЛЯТАМИ ШТАММОВ  
*TRICHODERMA* С ПОВЕРХНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ\***

**А. В. Акимов**<sup>1,2</sup>, научный сотрудник  
**Е. В. Думачева**<sup>1,2</sup>, доктор биологических наук  
**В. И. Чернявских**<sup>1,2</sup>, доктор сельскохозяйственных наук  
**П. В. Максимова**<sup>1,2</sup>, научный сотрудник  
**А. В. Гаар**<sup>1,2</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup>ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»

141055, Россия, Московская область, г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85

[dumacheva63@mail.ru](mailto:dumacheva63@mail.ru)**BIOPRIMING OF FODDER BEAN SEEDS WITH ISOLATES  
OF *TRICHODERMA* STRAINS FROM THE SURFACE OF SCOTS PINE**

**A.V. Akimov**<sup>1,2</sup>, Researcher  
**E.V. Dumacheva**<sup>1,2</sup>, Doctor of Biological Sciences  
**V.I. Chernyavskikh**<sup>1,2</sup>, Doctor of Agricultural Sciences  
**P.V. Maksimova**<sup>1,2</sup>, Researcher  
**A.V. Gaar**<sup>1,2</sup>, Researcher

<sup>1</sup>Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology

141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1

<sup>2</sup>Belgorod State National Research University

308015, Russia, Belgorod, Pobedy St., Bldg. 85

[dumacheva63@mail.ru](mailto:dumacheva63@mail.ru)

Представлены результаты комплексного исследования по оценке влияния шести новых штаммов *Trichoderma* на рост и развитие кормовых бобов (*Vicia faba* L.) в условиях искусственного инфицирования *Fusarium solani* и *Fusarium culmorum*. Работа направлена на изучение биоконтрольного и ростостимулирующего потенциала изолятов *Trichoderma*, выделенных с поверхности *Pinus sylvestris*, в отношении семян и проростков *V. faba*. Исследования проводили в 2025 г. в лаборатории физиологии растений ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». Объектами исследования являлись новые изоляты *Trichoderma* (Tr-1, Tr-2, Tr-3, Tr-4, Tr-5, Tr-6), коммерческий штамм *Trichoderma viride* (штамм 471 ГНУ ВНИИСХМ РАСХН, ТМ «Ваше Хозяйство») — стандарт для сравнения, фитопатогены: *F. solani* и *F. culmorum* из коллекции ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», семена и проростки

\*Исследования выполнены при поддержке Госзадания FGGW-2025-0010 «Оценка генофонда и создание коллекции видов рода *Medicago* и других бобовых трав с высокими кормовыми качествами на основе сопряженных морфобиологических признаков для селекции высокопродуктивных сортов, устойчивых к изменяющимся условиям среды».

*V. faba*. Контроль — необработанные семена. На фоне заражения *F. solani* штаммы Tr-2, Tr-3 и Tr-4 достоверно увеличили длину зародышевых корешков относительно коммерческого штамма на 105,4, 91,9 и 77,7 % соответственно, а относительно контроля — в 1,8 раз (Tr-2). Применение штаммов Tr-1 и Tr-2 обеспечило снижение пораженности семян на 45–50 % по сравнению со стандартом. В условиях инокуляции *F. culmorum* максимальный ростостимулирующий эффект отмечен у штаммов Tr-1 и Tr-2 — увеличение длины корней в 2,8 раза относительно коммерческого штамма. Консорциум штаммов (Tr-1, Tr-2, Tr-3, Tr-4, Tr-5, Tr-6) снизил пораженность семян на 90,9 % относительно коммерческого штамма. Выделенные изоляты *Trichoderma* характеризуются высоким биоконтрольным потенциалом и могут служить основой для создания специализированных биопрепаратов, сочетающих фунгицидное и ростостимулирующее действие, направленных против фузариозов кормовых бобов.

**Ключевые слова:** *Trichoderma*, биопрайминг семян, *Fusarium solani*, *Fusarium culmorum*, биоконтроль, ростостимуляция, *Vicia faba*, *Pinus sylvestris*.

The results of a comprehensive study on the effect of six new *Trichoderma* strains on the growth and development of faba bean (*Vicia faba* L.) under artificial infection with *Fusarium solani* and *Fusarium culmorum* are presented. The work is aimed at studying the biocontrol and growth-promoting potential of *Trichoderma* isolates derived from the surface of *Pinus sylvestris* in relation to seeds and seedlings of *V. faba*. The research was conducted in 2025 at the Laboratory of Plant Physiology of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology. The objects of study were new *Trichoderma* isolates (Tr-1, Tr-2, Tr-3, Tr-4, Tr-5, Tr-6), the commercial strain *Trichoderma viride* (strain 471, TM "Vashe Khozyaistvo") as a reference standard, phytopathogens *F. solani* and *F. culmorum* from the collection of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, and seeds and seedlings of *V. faba*. Untreated seeds served as the control. Under *F. solani* infection, strains Tr-2, Tr-3, and Tr-4 significantly increased the length of embryonic roots relative to the commercial strain by 105.4%, 91.9%, and 77.7%, respectively, and relative to the control — by 1.8 times (Tr-2). The use of strains Tr-1 and Tr-2 reduced seed infection by 45–50% compared to the reference standard. Under *F. culmorum* inoculation, the maximum growth-promoting effect was observed for strains Tr-1 and Tr-2, which increased root length by 2.8 times relative to the commercial strain. The consortium of strains (Tr-1, Tr-2, Tr-3, Tr-4, Tr-5, Tr-6) reduced seed infection by 90.9% relative to the commercial strain. The isolated *Trichoderma* strains are characterized by high biocontrol potential and can serve as a basis for the development of specialized biopreparations combining fungicidal and growth-promoting effects against fusariosis of faba bean.

**Keywords:** *Trichoderma*, seed biopriming, *Fusarium solani*, *Fusarium culmorum*, biocontrol, growth promotion, *Vicia faba*, *Pinus sylvestris*.

**Введение.** В условиях экологизации сельского хозяйства и сокращения применения химических фунгицидов особую актуальность приобретают биологические методы защиты. Грибы рода *Trichoderma* являются одними из наиболее изученных и эффективных агентов биоконтроля против широкого спектра фитопатогенов, включая *Fusarium* spp. [1; 2]. Их применение для биопрайминга семян и вегетирующих растений кормовых

бобов представляется перспективным направлением для создания устойчивых агроценозов. Исследования показывают, что инокуляция *Trichoderma* не только снижает пораженность растений патогенами, но и способствует ростостимулирующему эффекту, улучшая азотфиксирующую активность и повышая устойчивость к абиотическим стрессам [3; 4].

Спектр антагонистической активности *Trichoderma* реализуется через мно-

гоуровневую систему механизмов, включая прямой микопаразитизм, антибиоз и конкуренцию, а также опосредованную индукцию системной резистентности (ИСР) у растений-хозяев [5; 6]. Важно отметить, что ростостимулирующий эффект часто связан со способностью *Trichoderma* улучшать фосфорное питание и синтез регуляторов роста, что для бобовых культур может синергически сочетаться с активностью клубеньковых бактерий [7].

Таким образом, интеграция применения штаммов *Trichoderma* в технологии возделывания кормовых бобов является научно обоснованным подходом для одновременного решения задач защиты растений, повышения урожайности и улучшения качества продукции. Целью данного обзора является анализ современных данных о потенциале использования грибов рода *Trichoderma* для биоконтроля болезней и стимуляции продукционного процесса у кормовых бобов (*V. faba*) [1].

Гифы *Trichoderma* проявляют хемотропизм к фитопатогенам, плотно обвивают их мицелий и осуществляют лизис клеточных стенок за счет секреции хитиназ,  $\beta$ -1,3-глюканаз и протеаз. Этот механизм высокоэффективен против *Fusarium spp.* — основных возбудителей корневых гнилей бобовых [5; 8].

Многие штаммы *Trichoderma* продуцируют широкий спектр антимикробных вторичных метаболитов (пептаиболы, пироны, изоцианаты), которые ингибируют рост и развитие патогенов в ризосфере и на поверхности семян [6].

Обладая высокой скоростью роста и эффективным метаболизмом, *Trichoderma* успешно конкурирует с фитопатогенами

за пространство и питательные субстраты (углерод, железо), создавая «биологический барьер» в зоне корня [9].

Колонизация корней *Trichoderma* приводит к прайминг-эффекту — состоянию повышенной готовности защитной системы растения. При последующем поражении патогенами в тканях бобов происходит усиленная и быстрая активация защитных генов, накопление фитоалексинов, ферментов PR-протеинов и укрепление клеточных стенок. Это обеспечивает длительную системную защиту [7].

Штаммы *Trichoderma* способны мобилизовывать труднодоступные формы фосфора и микроэлементов в почве, что критически важно для энергоемкого процесса симбиотической азотфиксации у бобовых [2].

Грибы могут продуцировать или индуцировать синтез ауксинов, цитокининов и гиббереллинов в растении, стимулируя развитие корневой системы и надземной биомассы [4].

Инокуляция *Trichoderma* усиливает устойчивость растений к засухе и засолению за счет аккумуляции пролина и повышения активности антиоксидантных ферментов, что поддерживает ростовые процессы и жизнеспособность клубеньков [7; 8].

Современные научные данные свидетельствуют о высоком потенциале грибов рода *Trichoderma* как многофункциональных агентов для устойчивого возделывания кормовых бобов. Их применение позволяет интегрировано решать проблемы биологической защиты от почвенных патогенов (в первую очередь фузариозов) и повышения продуктивности

культуры за счет ростостимулирующего и адаптогенного действия [1].

Кормовые бобы (*Vicia faba* L.) представляют собой высокопродуктивную зернобобовую культуру, имеющую важное кормовое и пищевое значение благодаря высокому содержанию белка (20–35 %) и способности к симбиотической фиксации азота. Однако их продуктивность и качество урожая существенно ограничиваются поражением комплексом почвенных патогенов, среди которых грибы рода *Fusarium*, вызывающие корневые гнили и трахеомикозные увядания, занимают ведущее место. Это приводит к значительным потерям урожая и снижению питательной ценности бобов из-за накопления микотоксинов [1; 9].

Цель исследования заключалась в изучении биоконтрольного и ростостимулирующего потенциала новых штаммов *Trichoderma*, выделенных с поверхностей *Pinus sylvestris*, при биопряминге семян кормовых бобов в условиях искусственного заражения *F. solani* и *F. culmorum*.

**Материалы и методы.** Исследования выполнены в 2025 г. на базе лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». Объектами исследования служили шесть новых штаммов *Trichoderma*, изолированных с поверхности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), а также коммерческий штамм *Trichoderma viride* 471 (ТМ «Ваше Хозяйство»), принятый в качестве эталона сравнения. Тест-культурами выступали семена кормовых бобов (*Vicia faba* L.), фитопатогенные изоляты *F. solani* и *F. culmorum* были получены из коллекции микроорганизмов ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». Кон-

трольную группу составляли интактные (необработанные) семена.

Выделение штаммов *Trichoderma* из природных субстратов осуществляли согласно общепринятым микологическим методикам с последующим культивированием на стандартных питательных средах [10]. Видовая принадлежность выделенных изолятов подтверждена методами молекулярного анализа в НИЦ «Курчатовский институт».

Семена подготовлены стандартными методами [11]. Для изучения ростостимулирующего эффекта применяли метод биопряминга. Подготовленные семена раскладывали в чашки Петри на увлажненную фильтровальную бумагу и проращивали в термостате при 22 °С в темноте до инициации прорастания, после чего переносили в климатическую камеру с регулируемыми параметрами: температура 22 °С, фотопериод 16/8 ч (свет/темнота), относительная влажность воздуха 70 %. На седьмые сутки проводили морфометрический анализ, измеряя длину главного корня. Повторность опытов трехкратная.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием стандартных методов вариационной статистики [12].

**Результаты и их обсуждение.** Влияние новых штаммов *Trichoderma* на ростовые показатели проростков *V. faba* в условиях заражения фузариозами.

Проведенные исследования выявили существенное стимулирующее действие новых штаммов *Trichoderma* на ростовые характеристики проростков кормовых бобов даже в условиях предварительной инокуляции семян фитопатогенными микроорганизмами.

При инфицировании *F. solani* обработка семян *V. faba* новыми штаммами *Trichoderma* способствовала увеличению длины зародышевых корешков в 0,18–1,80 раза по сравнению с контролем. Наибольшую эффективность проявили штаммы Tr-2, Tr-3 и Tr-4, которые статистически значимо ( $p < 0,05$ ) превзошли коммерческий штамм *T. viride* 471, показав увеличение длины корней на 105,4, 91,9 и 77,7 % соответственно относительно коммерческого стандарта.

В условиях заражения *F. culmorum* также наблюдалась выраженная ростостимулирующая активность исследованных штаммов. Новые изоляты *Trichoderma* обеспечили увеличение длины корней в 1,5–2,8 раза относительно коммерческого штамма. Наиболее эффективными в сравнительном анализе с *T. viride* 471 оказались штаммы Tr-1, Tr-2 и Tr-6, достоверно ( $p < 0,05$ ) увеличившие длину зародышевых корешков в 2,8; 2,1 и 1,5 раза соответственно (рис. 1).

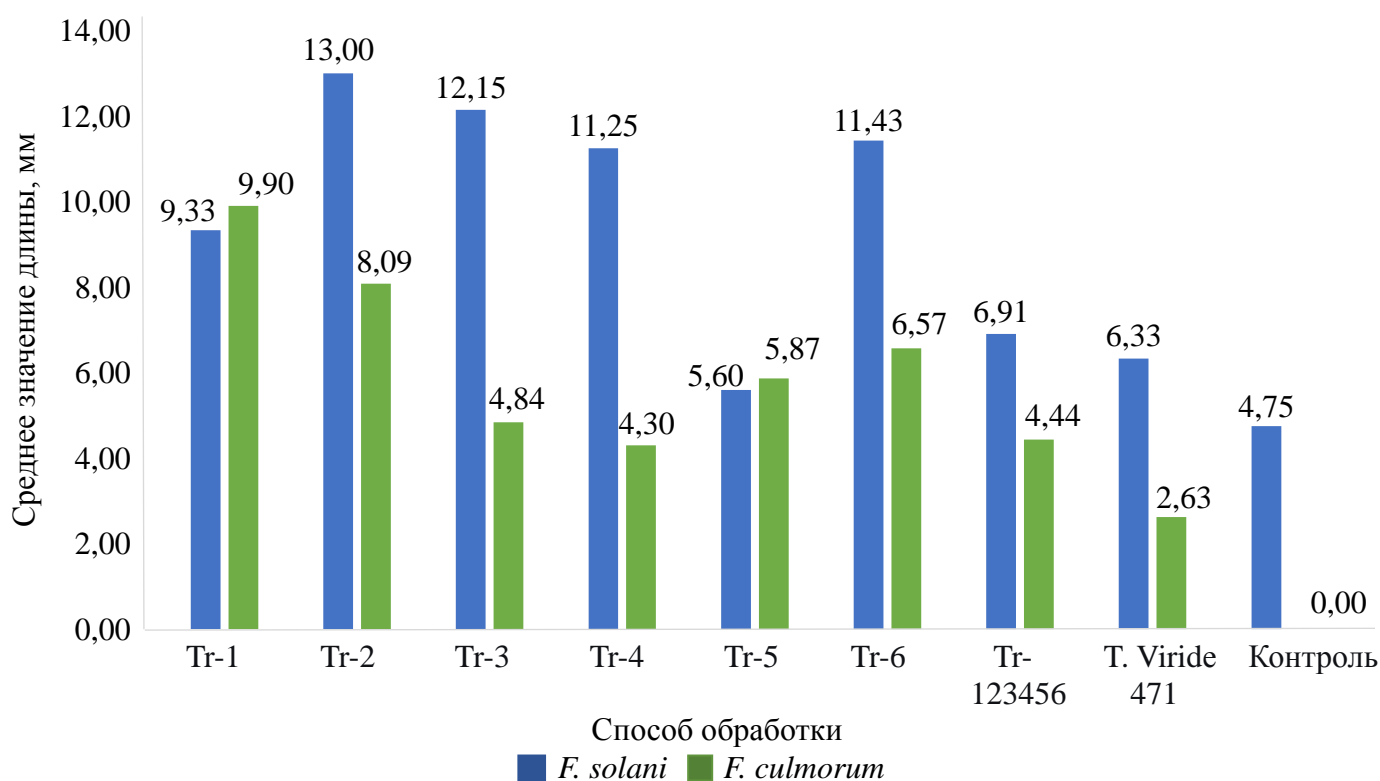


Рис. 1. Оценка стимуляции роста зародышевых корешков проростков *V. Faba*, обработанных различными штаммами *Trichoderma*, при поражении *F. solani* и *F. culmorum*, на седьмые сутки

Параллельно с ростостимулирующим действием все изученные штаммы показали выраженные антагонистические свойства. Пораженность семян *F. solani* в опытных вариантах уменьшилась на 5,0–50,0 % относительно контроля. При этом

штаммы Tr-1 и Tr-2 статистически значимо ( $p < 0,05$ ) превзошли коммерческий штамм *T. viride* 471 по эффективности подавления патогена, снизив пораженность семян на 45,0 и 50,0 % соответственно.

При воздействии *F. culmorum* применение выделенных штаммов *Trichoderma* позволило снизить пораженность семян на 22,7–90,9 % по сравнению с контролем. Консорциум штаммов (Tr-1, Tr-2, Tr-3, Tr-4, Tr-5, Tr-6) достоверно

( $p < 0,05$ ) превзошел коммерческий штамм *T. viride* 471, уменьшив пораженность на 90,9 %, а штаммы Tr-2 и Tr-5 показали снижение на 77,3 % относительно коммерческого стандарта (рис. 2, 3, 4).

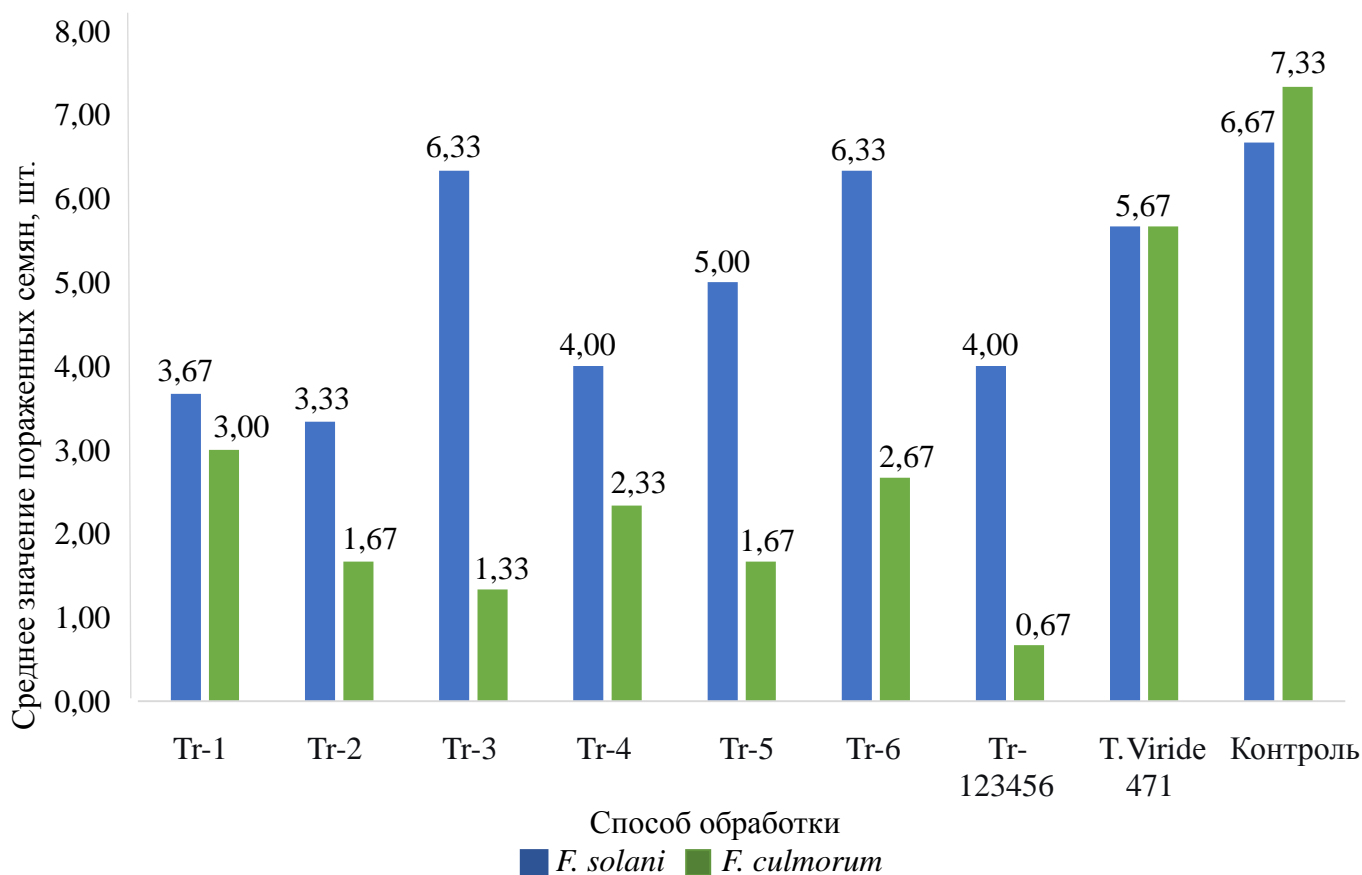


Рис. 2. Оценка среднего количества пораженных семян *V. Faba*, обработанных различными штаммами *Trichoderma*, в условиях поражения *F. solani* и *F. culmorum*, на седьмые сутки

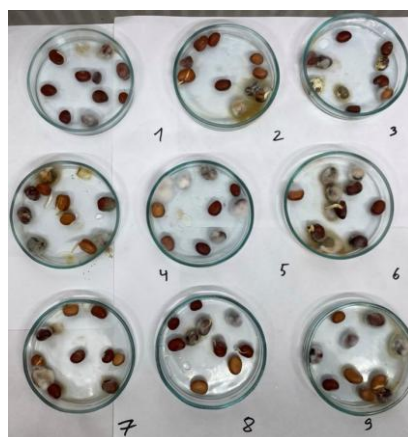
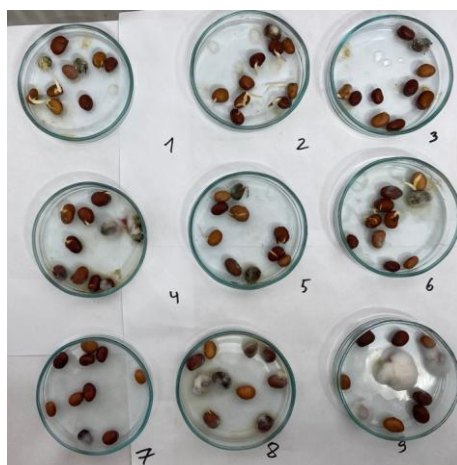


Рис. 3. Проростки кормовых бобов (*V. Faba*), пораженные *F. solani*, семена которых предварительно обработаны различными штаммами *Trichoderma*, на седьмые сутки (1 – Tr-1, 2 – Tr-2, 3 – Tr-3, 4 – Tr – 4, 5 – Tr-5, 6 – Tr-6, 7 – консорциум штаммов, 8 – *T. Viride* 471, 9 – контроль)



**Рис. 4.** Проростки кормовых бобов (*V. Faba*), пораженные *F. culmorum*, семена, которых предварительно обработаны различными штаммами *Trichoderma*, на седьмые сутки (1 – Tr-1, 2 – Tr-2, 3 – Tr-3, 4 – Tr-4, 5 – Tr-5, 6 – Tr-6, 7 – консорциум штаммов, 8 – *T. Viride* 471, 9 – контроль)

**Заключение.** Новые изоляты *Trichoderma* с поверхности *P. sylvestris* обладают выраженным биоконтрольным и ростостимулирующим действием против *F. solani* и *F. culmorum* на семенах кормовых бобов. Максимальная эффектив-

ность отмечена у штаммов Tr-1, Tr-2 и консорциума. Результаты обосновывают перспективу разработки биопрепаратов на их основе для устойчивого возделывания *V. faba* в системах адаптивного кормопроизводства.

## Литература

1. El-Mougy N. S., Abdel-Kader M. M. Long-term activity of bio-priming seed treatment for biological control of faba bean root rot pathogens // Australasian Plant Pathology. – 2008. – Vol. 37. – № 5 – Pp. 464–471. – EDN YJVLEM. – DOI 10.1071/ap08043.
2. Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth / R. Tyśkiewicz, A. Nowak, E. Ozimek, J. Jaroszk-Ścisiel // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23. – № 4. – Art. 2329. – EDN OKOSRW. – DOI 10.3390/ijms23042329.
3. Trichoderma: The «Secrets» of a Multitalented Biocontrol Agent / M. Sood, D. Kapoor, V. Kumar, et al. // Plants. – 2020. – Vol. 9. – № 6. – Art. 762. – EDN QUWDLY. – DOI 10.3390/plants9060762.
4. Zin N. A., Badaluddin N. A. Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications // Annals of Agricultural Sciences. – 2020. – Vol. 65. – № 2 – Pp. 168–178. – EDN ILFXAK. – DOI 10.1016/j.aos.2020.09.003.
5. Bio-priming with salt tolerant endophytes improved crop tolerance to salt stress via modulating photosystem II and antioxidant activities in a sub-optimal environment / K. Irshad, Z. Shaheed Siddioqui, J. Chen, et al. // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1082480. – EDN HLJYAC. – DOI 10.3389/fpls.2023.1082480.
6. Potential of Trichoderma spp. and Pinus sylvestris Bark Extracts as Biocontrol Agents against Fungal Pathogens Residing in the Botryosphaerales / V. Karličić, J. Jovičić-Petrović, V. Marojević, et al. // Environmental Sciences Proceedings. – 2021. – Vol. 3. – № 1. – Art. 99. – DOI 10.3390/IECF2020-07960.

7. Efficacy of Seed-Biopriming with *Trichoderma* spp. and Foliar Spraying of ZnO-Nanoparticles induce Cherry Tomato Growth and resistance to *Fusarium* wilt disease / A. H. M. Shams, A. A. Helaly, A. M. Algeblawi, et al. // *Plants*. – 2023. – Vol. 12. – № 17. – Art. 3117. – EDN HEKUAA. – DOI 10.3390/plants12173117.
8. 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. – № 1 (44). – С. 107–114. – EDN AVWQYP. – DOI 10.21285/2227-2925-2023-13-1-107-114.
9. Булгакова В. М., Терещенко С. А. Продуктивность кормовых бобов (*Vicia faba* L.) в условиях Калининградской области // *Вестник молодежной науки*. – 2020. – № 1 (23). – С. 2. – EDN BSGXZA.
10. Поворова О. В. *Микробиология. Практикум*. – Могилев : Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова, 2015. – 88 с. – EDN UWXGCB.
11. *Практикум по физиологии растений*. 4-е издание, перераб. и доп. / Н. Н. Третьяков, Л. А. Паничкин, М. Н. Кондратьев, и др. — М. : КолосС, 2003. – 288 с. — EDN WFCDFH.
12. Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. 6-е издание, стер., перепеч. с 5-го изд. – М. : Альянс, 2011. – 351 с. – EDN QLCQEP.

## Reference

1. El-Mougy N.S., Abdel-Kader M.M. Long-term activity of bio-priming seed treatment for biological control of faba bean root rot pathogens. *Australasian Plant Pathology*. 2008. Vol. 37. No. 5. Pp. 464–471. DOI 10.1071/ap08043.
2. Tyśkiewicz R., Nowak A., Ozimek E., Jaroszek-Ścisiel J. *Trichoderma*: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23. No. 4. Art. 2329. DOI 10.3390/ijms23042329.
3. Sood M., Kapoor D., Kumar V., et al. *Trichoderma*: The "Secrets" of a Multitalented Biocontrol Agent. *Plants*. 2020. Vol. 9. No. 6. Art. 762. DOI 10.3390/plants9070762.
4. Zin N.A., Badaluddin N.A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 65. No. 2. Pp. 168–178. DOI 10.1016/j.aos.2020.09.003.
5. Irshad K., Shaheed Siddioqui Z., Chen J., et al. Bio-priming with salt tolerant endophytes improved crop tolerance to salt stress via modulating photosystem II and antioxidant activities in a sub-optimal environment. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. 1082480. DOI 10.3389/fpls.2023.1082480.
6. Karličić V., Jovičić-Petrović J., Veljko Marojević. et al. Potential of *Trichoderma* spp. and *Pinus sylvestris* Bark Extracts as Biocontrol Agents against Fungal Pathogens Residing in the Botryosphaeriales. *Environmental Sciences Proceedings*. 2021. Vol. 3. No. 1. Art. 99. DOI 10.3390/IECF2020-07960.
7. Shams A.H.M. Helaly A.A., Algeblawi A.M., et al. Efficacy of Seed-Biopriming with *Trichoderma* spp. and Foliar Spraying with ZnO-Nanoparticles to Control *Fusarium solani* and Improve Growth of Cherry Tomato. *Plants*. 2023. Vol. 12. No. 17. Art. 3117. DOI 10.3390/plants12173117.
8. Kirillova N.I., Degtyareva I.A., Prishchепенко E.A. *Perspektivy primeneniya modifitsirovannogo biofungitsida na osnove Trichoderma viride dlya ozdorovleniya pochv* [Prospects of a Modified Biofungicide Based on *Trichoderma viride* for Soil health Improvement]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. 2023. Vol. 13. No. 1 (44). Pp. 107–114. DOI 10.21285/2227-2925-2023-13-1-107-114.

9. Bulgakova V.M., Tereshchenko S.A. *Produktivnost kormovykh bobov (Vicia faba L.) v usloviyakh Kaliningradskoy oblasti* [Productivity of fodder Beans (*Vicia faba* L.) in the Conditions of the Kaliningrad Region]. *Vestnik molodezhnoy nauki*. 2020. No. 1 (23). P. 2.
10. Povorova O.V. *Mikrobiologiya: praktikum* [Microbiology: A Practical Guide]. Mogilev. *Mogilevskii gosudarstvennyi universitet imeni A.A. Kuleshova*. 2015. 88 p.
11. Tretyakov N.N., Panichkin L.A., Kondratyev M.N., et al. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Plant Physiology Practical Guide]. 4th ed. Moscow. *KolosS Publ*. 2003. 288 p.
12. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy)* [Methods of Field Experimentation (With Basics of Statistical Processing of Research Results)]. Moscow. *Alyans Publ*. 2011. 351 p.