

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

(повне найменування закладу вищої освіти)

Біологічний факультет

(повне найменування факультету)

Кафедра мікробіології, вірусології та біотехнології

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»

«Виробництво біопрепарату на основі мікрогрибів роду *Trichoderma*»

«Production of biological preparation based on microfungi of the genus
Trichoderma »

Виконав: здобувач денної

форми навчання

спеціальності 162

Біотехнології та біоінженерія

Освітня програма Біотехнологія

Анатій Владислав Олександрович

Керівник

канд. біол. наук, доцент

Васильєва Наталія Юрївна

Рецензент

канд. біол. наук, доцент

Алексєєва Тетяна Григорівна

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

№ ____ від ____ . ____ . 20 ____ р.

Завідувач(ка) кафедри

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № ____
протокол № __ від ____ . ____ . 20 ____ р.

Оцінка ____ / ____ / ____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Одеса 2022

АНОТАЦІЯ

Проведено дослідження антимікробної активності штамів *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9, які зберігаються у музеї підприємства «НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ «АГРОБІОІНОВАТІКА» по відношенню до фітопатогенних грибів та мікроорганізмів, що мають антимікробну та анти-фунгіцидну активність.

Було встановлено, що штами *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9, мають агресивну антагоністичну активність до досліджених патогенних грибів, крім збудника склеротиніозу. Ці штами пригнічували ріст штамів мікроорганізмів з антимікробною активністю, які були ізольовані з об'єктів навколишнього середовища, однак по відношенню до комерційних штамів (*B. amyloliquefaciens* QST 713 та *B. subtilis* M-22 ВИЗР) штами триходерми були нейтральними. Більш потужну антимікробну та анти-фунгіцидну активність продемонстрував штам *Trichoderma harzianum* № 9. Виявилось, що штам *S. ambofaciens* Myt7, ізольований з мідій Чорного моря був стійким до антимікробної дії штамів *Trichoderma*. Запропоновано комбінацію штамів для розробки нового препарату для захисту рослин від фітопатогенних грибів.

Дипломну роботу викладено на 73 сторінках, вона містить 6 таблиць та 24 рисунка. Наведено посилання на 107 джерел літератури (7 кирилицею та 98 латиницею).

Ключові слова: *Trichoderma*, антимікробна активність, бактеріальний препарат

Antimicrobial activity of strains *Trichoderma viride* No. 8 and *Trichoderma harzianum* No. 9, which are stored in the museum of the enterprise "SCIENTIFIC AND PRODUCTION ASSOCIATION "AGROBIOINOVATIKA" in relation to phytopathogenic fungi and microorganisms with antimicrobial and anti-fungicidal activity, was studied. It was established that strains of *Trichoderma viride* No. 8 and *Trichoderma harzianum* No. 9 have aggressive antagonistic activity against pathogenic fungi except the causative agent of sclerotiniosis. These strains inhibited the growth of strains of microorganisms with antimicrobial activity that were isolated from environmental objects, however, in relation to commercial strains (*B. amyloliquefaciens* QST 713 and *B. subtilis* M-22 VIZR), trichoderma strains were neutral. More powerful antimicrobial and anti-fungicidal activity was demonstrated by strain *Trichoderma harzianum* No. 9. It turned out that strain *S. ambofaciens* Myt7, isolated from Black Sea mussels, was resistant to the antimicrobial action of *Trichoderma* strains. A combination of strains is proposed for the development of a new drug to protect plants from phytopathogenic fungi

Diploma thesis is expounded on 73 pages, it contains 6 tables and 24 figures. References are given to 107 sources of literature (7 in Cyrillic and 98 in Latin).

Key words: *Trichoderma*, antimicrobial activity, bacterial preparation

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Огляд літератур	6
1.1. Характеристика грибів роду <i>Trichoderma</i>	6
1.2. Механізм взаємодії грибів роду <i>Trichoderma</i> з рослинами	13
1.3. Механізм впливу представників роду <i>Trichoderma</i> на фітопатогенні гриби	18
1.4. Біопрепарати на основі грибів роду <i>Trichoderma</i>	21
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1. Дослідження антагоністичної активності штамів <i>Trichoderma</i> по відношенню до штамів мікроміцетів	27
2.2 Дослідження антагоністичної активності штамів <i>Trichoderma</i> по відношенню до штамів мікроорганізмів	28
2.3 Дослідження антагоністичної активності штамів <i>Trichoderma</i> по відношенню до <i>Coniothyrium minitans</i> LBX-141	31
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	32
3.1. Дослідження антагоністичної активності штамів <i>Trichoderma</i>	
3.1.1. Антагоністична активність штамів <i>Trichoderma</i> по відношенню до штамів мікроміцетів	
3.1.2. Антагоністична активність штамів <i>Trichoderma</i> по відношенню до штамів мікроорганізмів	36
3.1.3 Антагоністична активність штамів <i>Trichoderma</i> по відношенню до <i>Coniothyrium minitans</i> LBX-141	44
3.2. Перспективи для продовження дослідження	46
3.3. Опис біотехнологічного процесу	47
3.3.1. Інкубація мікроміцетів	47
3.3.2. Приготування субстрату для росту мікроміцетів	48
3.3.3. Приготування змиву з мікроміцетів для інфікування субстрату	49
3.3.4. Інфікування готового субстрату	51
3.3.5. Приготування біопрепарату	53
3.4. Схема біотехнологічного процесу	54
УЗАГАЛЬНЕННЯ	56
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	60
Додаток А	

ВСТУП

В даний час основними критеріями систем землеробства залишаються економічна ефективність та екологічна безпека. Вирощування високоврожайних сортів потребує високих доз мінеральних добрив та пестицидів, що призводить до виснаження родючості ґрунтів та зниження якості сільгосппродукції. Серед сучасних технологій біологізації землеробства, поряд із районуванням нових сортів, агротехнікою застосовуються різні біопрепарати, що активізують рослинно-мікробні взаємодії.

В останні роки у зв'язку з бурхливим розвитком біотехнології зростає інтерес до мікроскопічних грибів роду *Trichoderma*. В останні роки ці мікроміцети знаходять все більше застосування в різних областях діяльності людини. Однак, на даний момент добре вивчені властивості лише невеликої кількості відомих видів. У зв'язку з цим необхідно як детальне вивчення біології видів, що використовуються людиною, так і пошук нових корисних властивостей інших грибів роду *Trichoderma*. Незважаючи на те, що ферменти грибів давно вже широко використовуються в промисловості, постійно виявляються нові властивості відомих ферментів, а також виділяються нові продуценти, які привертають увагу дослідників. Вторинні метаболіти, що секретуються *Trichoderma* вказують, на її роль у придушенні росту патогенних мікроорганізмів та стимуляції росту [Contreras-Cornejo et al., 2014].

При дослідженні біології мікроміцетів у першу чергу акцентують увагу на їх інгібуючу активність щодо фітопатогенних грибів, таких як *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia borealis* та інші. Тому гриби роду *Trichoderma* використовуються у світовій практиці для створення та розробки біологічних препаратів, виходячи з високого економічного потенціалу швидкості росту та можливості культивування у виробничих умовах.

Відомо також що триходерма виділяє різні метаболіти, фактори росту, органічні кислоти, внутрішньоклітинні амінокислоти, вітаміни і багато

антибіотиків [Benitez et al., 2004]. Фітогормони триходерми відповідають за стимуляцію фізіологічних процесів рослин, які надходять у рослинний організм, що призводить до більш активного розвитку [Гвоздяк та ін., 2011]. З тканини грибів можна отримати трихоцин – антибіотик та триходермін – засіб захисту рослин від патогенних грибів [Балан та ін., 2010].

Мікроміцети роду *Trichoderma* є активними продуцентами ферменту целюлази і здатні до глибокої деструкції як клітинних стінок рослин, так і окремих, важко розщеплюваних рослинних полісахаридів, а саме целюлози, геміцелюлози та пектину до мономерних форм [Bisen et al., 2016].

На сьогодні активно досліджується фенолоксидази мікрогриба, відіграє велику роль у біодеградації лігніну. Також триходерма виявляє целюлазну активність на різних поживних середовищах, що робить її універсалом.

Метою цієї роботи була оцінка антагоністичної активності штамів *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 по відношенню до фітопатогенних грибів та мікроорганізмів для оцінки можливості створення на їх основі нового комплексного препарату для боротьби с фітопатогенами.

Для досягнення мети вирішували наступні завдання:

1. Дослідити антагоністичну активність штамів *Trichoderma* по відношенню до штамів мікроміцетів.
2. Дослідити антагоністичну активність штамів *Trichoderma* по відношенню до штамів мікроорганізмів, що мають антимікробну та антифунгіцидну активність.

Об'єкт дослідження – штами *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 які зберігаються у музеї підприємства «НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ «АГРОБІОІНОВАТІКА».

Предмет дослідження – антагоністична активність штамів *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 по відношенню до фітопатогенних грибів та мікроорганізмів

ВИСНОВКИ

1. Штами *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 проявили сильну антагоністичну активність проти фітопатогенних мікроміцетів. По відношенню до *Fusarium sp.* та *Oidium tuckeri* реєстрували гіперпаразитизм. Менший рівень антагоністичної активності штамів *Trichoderma* реєстрували по відношенню до *Sclerotinia borealis*.
2. Штами *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 проявили сильну антагоністичну активність по відношенню до мікроорганізмів роду *Bacillus*. Штами ізольовані з природних джерел (*B. subtilis* ONU 559, *B. megaterium* LBX.001, *B. subtilis* LBX-288 та *B. circulans* LBX-003) виявились не стійкими до антимікробної активності штамів *Trichoderma* на відміну від комерційних штамів (*B. amyloliquefaciens* QST 713 та *B. subtilis* M-22 ВИЗР).
3. Штами *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 не проявили антагоністичної активності проти штаму *S. ambofaciens* Myt7, ізольованого з гідробіонтів Чорного моря.
4. Штами *Trichoderma viride* № 8 та *Trichoderma harzianum* № 9 не проявили антагоністичної активності проти *Coniothyrium minitans* LBX-141.
 - Запропонованим консорціумом для створення нового біотехнологічного препарату є *Trichoderma viride* № 8 або *Trichoderma harzianum* № 9 + *S. ambofaciens* Myt7
 - *Trichoderma viride* № 8 або *Trichoderma harzianum* № 9 + *S. ambofaciens* Myt7
 - *Trichoderma viride* № 8 або *Trichoderma harzianum* № 9 + *Coniothyrium sp.* + *S. ambofaciens* Myt7

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабицкая В. Г. Грибы – эффективные деструкторы лигноцеллюлозных субстратов: их морфологическая и физиолого-биохимическая характеристика / В. Г. Бабицкая // Микология и фитопатология. – 1993. – № 5. – С. 38–44.
2. Попова Л.В. Вивчення мікробіопрепаратів, які застосовуються проти збудників хвороб та регламенти їх застосування / Попова Л.В., Балан Г.О. Методичні вказівки з дисципліни « Біологічний захист рослин». – Одеса, ОДАУ, 2018. – 30 с.
3. Балан Г.О. Впровадження біологічних фунгіцидів у сільськогосподарське виробництво // Стратегія інтеграції аграрної освіти, науки, виробництва: глобальні виклики продовольчої безпеки та змін клімату : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції Міжнародного форуму, 27-28 травня 2021 р., м. Миколаїв / Міністерство освіти і науки України ; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2021. – 216 с.
4. Герасименко В.П. Екологічні системи захисту рослин / Герасименко В.П. Агєєва О.В., Балан Г.О. Методичні вказівки з вивчення дисципліни. – Одеса : ОДАУ, 2007.–12с.
5. Гавран І.І. ПЕРЕЛІК допоміжних продуктів для використання в органічному виробництві з врахуванням вимог стандарту міжнародних акредитованих органів 106 сертифікації з органічного виробництва та переробки, що є еквівалентним регламентам ЄС № 834/2007 та № 889/2008/ І. Гавран, С. Прокопець, Л. Богатир, В. Пасацька, С Галашевський, Т Білик, О Рябенко.- ТОВ « Органік стандарт». – Київ, 2019. – 142с.
6. Гвоздяк Р.І. Фітопатогенні бактерії. Бактеріальні хвороби рослин / Р.І. Гвоздяк, Л.А.Пасічник , Л.М. Яковлева, С.М. Мороз, О.О. Литвинчук, Н.В. Житкевич, та ін. – ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2011. – 444 с.
7. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / за ред. В. В. Волкогона. К. : Аграрна наука, 2010. – 464 с.

8. Іваниця В. О. Факультативно-анаеробні спороутворювальні бактерії глибоководних відкладень Чорного моря / В. О. Іваниця, М. Д. Штеніков, А. М. Остапчук // Мікробіологія і біотехнологія. – 2017. – № 4. – С 94–103.
9. Кириленко Л.В. Діагностика і профілактика бактеріальних хвороб козлятника східного. Методичні рекомендації / Л.В. Кириленко, Н.В. Житкевич, Т.Т. Гнатюк, Л.А. Пасічник, А.В. Калініченко, Г.Б. Гуляєва, І.П. Токовенко, В.П. Патики ; За ред. В.П. Патики. – Вінниця: «Віндрук», 2019. – 32 с.
10. Лазарева Е. С. Влияние компонентов среды культивирования на фенолоксидазную активность микромицетов *Trichoderma viride* и *Trichoderma lignorum* / Е. С. Лазарева, В. Ф. Смирнов, И. В. Стручкова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2008 – № 1. – С. 77–80.
11. Новикова И.И. Полифункциональные биопрепараты для защиты растений от болезней // Защита и карантин растений. – 2005. № 2. С. 22 – 24.
12. Патики В.П. Фітопатогенні бактерії. Методи досліджень. Монографія / В.П. Патики, Л.А. Пасічник, Р.І. Гвоздяк , В.Ф. Петриченко, О.В. Корнійчук, Л.М. Калініченко, та ін. ; за ред. В.П. Патики. – Вінниця: ТОВ Віндрук, 2017. – 432 с.
13. Регуляція фітопатогенного фону в агроценозах картоплі / В.В. Бородай, В.А. Колтунов, А.І. Парфенюк, Т.В. Данілкова. – К.: Компринт, 2020. – 329 с.
14. Симонян С. А. Взаимодействие компонентов карпофильных микосинузий в эксперименте / С. А. Симонян, Т. С. Мамиконян // Микология и фитопатология. – 1982. – № 16(3). – С. 219–255.
15. Цехмістер Г. В. Антагоністична активність ґрунтових мікроорганізмів як ефективний засіб захисту рослин від акремоніозу / Г. В. Цехмістер, А. С. Кислинська, А. А. Павленко // Сільськогосподарська мікробіологія. – 2019. Вип. 30. – С. 46–53.

16. Abhiram P. In vitro Antagonism of *Trichoderma viride* against *Fusarium oxysporum* strains / P. Abhiram, H. Masih // *Pharmacogn. Phytochem.* – 2018. – Vol. 7(2). – P. 2816–2819.
17. Alfiky A. Deciphering *Trichoderma*-plant-pathogen interactions for better development of biological applications. / A. Alfiky, L. Weisskopf // *J. Fungi.* – 2021. – Vol. 7(61). – P. 1–18.
18. Almeida F.B. The still underestimated problem of fungal diseases worldwide / F.B. Almeida, L.M. Rodrigues, C. Coelho // *Front. Microbiol.* – 2019. – Vol. 10(214). – P. 1 – 5.
19. Alvin A Exploring the potential of endophytes from medicinal plants as sources of antimycobacterial compounds / A. Alvin, K.I. Miller, B.A Neilan // *Microbiol Res.* – 2014. – Vol. 165. – P. 483–495.
20. Atanasova L. Two hundred *Trichoderma* species recognized on the basis of molecular phylogeny. In *Trichoderma: Biology and Applications*; Mukherjee, P.K. Horwitz B.A., Singh U.S., Mukherjee M., Schmoll : Eds (?) // L. Atanasova, I.S. Druzhinina; W.M. Jaklitsch. – Croydon, UK, 2013. – P.10–42.
21. Baiyee C. *Trichoderma spirale* T76-1 displays biocontrol activity against leaf spot on lettuce (*Lactuca sativa* L.) caused by *Corynespora cassicola* or *Curvularia aeria* / C. Baiyee, C. Pornsuriya, S.I. Ito, A. Sunpapao // *Biol. Control.* – 2019. – Vol. 129. – P. 195 – 200.
22. Barrera V.A. Expanding the *Trichoderma harzianum* species complex: Three new species from Argentine natural and cultivated ecosystems // V.A. Barrera, L. Iannone, A.I. Romero, P. Chaverri // *Mycologia.* – 2021. – Vol. 113. – P. 1136–1155.
23. Benitez T.B. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains / T.B. Benitez, A.M. Rincon, M.C. Limon, A.C. Codon // *International Microbiology.* – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 60–63.
24. Bettiol W. “Advances in screening approaches for the development of microbial bioprotectants to control plant diseases,” in *Microbial bioprotectants for plant*

- disease management / W. Bettiol, F. H. V. de Medeiros, J. Barros Chiamonte, Mendes R. – London: Burleigh Dodds Science Publishing, 2011. – P. 1 – 12.
25. Bisen K. *Trichoderma* spp.: efficient inducers of systemic resistance in plants / K. Bisen, C. Keswani, J.S. Patel, B.K. Sarma, H.B. Singh // *Microbial-mediated Induced Systemic Resistance in Plants*. – 2016. – P. 185 – 195.
26. Bissett J. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015 / J. Bissett, W. Gams, W. Jaklitsch, G.J. Samuels // *IMA Fungus*. – 2015. – Vol. 6. – P. 263–295.
27. Bochner B. R. Phenotype micro-arrays for high-throughput phenotypic testing and assay of gene function / B. R. Bochner, P. Gadzinski, E. Panomitros // *Genome*. – 2001. – Vol. 11. – P. 1246–1255.
28. Brotman Y. *Trichoderma* Curr / Y. Brotman, J.G. Kapuganti, A. Viterbo // *Biol*. – 2020. – Vol. 20. – P. 390 – 391.
29. Brotman Y. *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance / Y.B. Brotman, U. Landau, Á. Cuadros-Inostroza, T. Takayuki, AR Fernie, I Chet, A Viterbo and L. Willmitzer // *PLoS Pathog*. – 2013. – Vol. 9(3). – P. 1 – 15.
30. Cai F. In honor of John Bissett: Authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma* / F. Cai, I.S. Druzhinina // *Fungal Divers*. – 2021. – Vol. 107. – P. 1 – 69.
31. Carvalho Daniel Diego Costa / Biocontrol of seed pathogens and growth promotion of common bean seedlings by *Trichoderma harzianum* / Carvalho Daniel Diego Costa, Sueli Corrêa Marques de Mello, Murillo Lobo Júnior, Alaerson Maia Geraldine. – *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. – 2011. – Vol. 46, № 8. – P. 822 – 828.
32. Chao W. Evaluating effective *Trichoderma* isolates for biocontrol of *Rhizoctonia solani* causing root rot of *Vigna unguiculata* / W. Chao, Z. Wen-ying // *Integr Agric*. – 2019. – Vol. 18(9). – P. 2072–2079.
33. Chaverri P. *Hypocrea/Trichoderma* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): species with green ascospores / P. Chaverri, G.J. Samuels // *Stud Mycol*. – 2003. – Vol. 48. – P. 1–116.

34. Chaverri P. Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the reidentification of commercial biocontrol strains / P. Chaverri, F. Branco-Rocha, W. Jaklitsch, R. Gazis, T. Degenkolb, G.J. Samuels // *Mycologia*. – 2015. – Vol. 107. – P. 558–590.
35. Clarkson J. P. Biological control of *Allium* white rot by sclerotial degrading fungi / J. P. Clarkson, T. Paune, A. Meal, J. M. Whipps // 8th International Congress of Plant Pathology: Chischurch, New Zealand, February 2–7. 2003.– P. 34.
36. Claus H. Laccases: structure, reactions, distribution / H. Claus // *Micron*. – 2004. – Vol. 35. – P. 93–95.
37. Contreras-Cornejo X.A Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: Interactions with plants / X.A. Contreras-Cornejo, L. Macías-Rodríguez, E. del-Val, J. Larsen // *FEMS Microbiol.* – 2016. – Vol. 92. – P. 1–17.
38. De la Cruz-Quiroz R Forced aeration influence on the production of spores by *Trichoderma* strains / R. De la Cruz-Quiroz, F. Robledo-Padilla, C.N. Aguilar, S. Roussos // *Waste Biomass Valor.* – 2017. – Vol. 8. – P. 2263–2270.
39. Druzhinina I.S. An oligonucleotide barcode for species identification in *Trichoderma* and *Hypocrea* / I.S. Druzhinina, A.G. Kopchinskiy, M. Komon, J. Bissett, G. Szakacs, C.P. Kubicek // *Fungal Genet Biol.* – 2005. – Vol. 42. – P. 813–828.
40. Druzhinina IS Global carbon utilization profiles of wild-type, mutant, and transformant strains of *Hypocrea jecorina* / IS Druzhinina, M Schmoll, B Seiboth, CP. Kubicek // *Appl Environ Microbiol.* – 2006. – Vol. 72. – P. 2126–2133.
41. Duffy B. Pathogen self-defense: mechanism to counteract microbial antagonism / B. Duffy, A. Schouten, J. M. Raijmakers // *Annu. Rev. Phytopathol.* – 2003. – Vol. 41. – P. 501–538.
42. Ferraz L. Viabilidade de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* e incidência de fungos antagonistas em solo de cerrado / L., de, C. L. Ferraz, L. C. B. Nasser, A. C. Café-Filho // *Summa Phytopathol.* – 2011. – Vol. 37. – P. 208–210.

43. Friedl M. A. Photostimulation of *Hypocrea atroviridis* growth occurs due to a crosstalk of carbon metabolism, blue light receptors and response to oxidative stress / M. A. Friedl, M. Schmoll, C. P. Kubicek, I. S. Druzhinina // *Microbiology*. – 2008. – Vol. 154. – P. 1229–1241.
44. Kubicek C.P. Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma*: a case study on South-East Asian isolates / C.P. Kubicek, J. Bissett, I. Druzhinina, C. Kullnig-Gradinger, G. Szakacs // *Fungal Genet Biol.* – 2003. – Vol. 38. – P. 310–319.
45. Geraldine A. M. Cell wall-degrading enzymes and parasitism of sclerotia are key factors on field biocontrol of white mold by *Trichoderma* spp / A. M. Geraldine, F. A. C. Lopes, D. D. C. Carvalho, E. T. Barbosa, A. R. Rodrigues, R. S. Brandão et al // *Biol. Control*. – 2013. – Vol. 67. – P. 308–316.
46. Gwa V. In vitro antagonistic potential of *Trichoderma harzianum* for biological control of *Fusarium moniliforme* isolated from *Dioscorea rotundata* tubers / V. Gwa, A. Nwankiti // *Virol. Mycol.* – 2018 – Vol. 6(2). – P. 2–8.
47. Halifu S. Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients and fungal community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* annual seedlings / S. Halifu, X. Deng, X. Song, R. Song // *Forests*. – 2013. – Vol. 10. – P. 758.
48. Hanson L.E. Reduction of *Verticillium* wilt symptoms in cotton following seed treatment with *Trichoderma virens* / L. E. Hanson // *The Journal of Cotton Science*. – 2000. – Vol. 4. – P. 224. – 231.
49. Harman G. E. Myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22 / G. E. Harman // *Plant*. – 2000. – Vol. 84. – P. 377–393.
50. Hermosa R. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes / R. Hermosa, A. Viterbo, I. Chet, E. Monte // *Microbiology*. – 2012. – Vol. 158. – P. 17–25.
51. Hermosa R. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes / R. Hermosa, A. Viterbo, I. Chet, E. Monte // *Microbiology*. – 2012. – Vol. 158. – P. 17–25.

52. Hoynes C. D. Biological control agents in combination with fertilization or fumigation to reduce sclerotial viability of *Sclerotium rolfsii* and disease of snap beans in the greenhouse / C. D. Hoynes, J. A. Lewis, R. D. Lumsden, G. A. Bean // *J. Phytopathol.* – 1999. – Vol. 147(3). – P. 175–182.
53. Hyde K.D. The amazing potential of fungi, 50 ways we can exploit fungi industrially / K.D. Hyde, J.C. Xu, S. Lumyong, S. Rapior et al // *Fungal Divers.* – 2019. – Vol. 97. – P. 1–136.
54. Inuwa M. Screening of fungi isolated from environmental samples for xylanase and cellulase production / M. Inuwa // *Microbiol.* – 2013. – Vol. 12, №6. – P. 23–28.
55. Izquierdo-García L. F. *Trichoderma virens* Gl006 and *Bacillus velezensis* Bs006: a compatible interaction controlling *Fusarium* wilt of cape gooseberry / L. F. Izquierdo-García, A. González-Almario A. M. Cotes, C. A. Moreno-Velandia // *Scientific RepoRtS.* – 2020. – Vol. 10(1). – P. 1–13.
56. Jaklitsch WM European species of *Hypocrea*. Part I. The green-spored species / W.M. Jaklitsch // *Stud Mycol.* – 2009. – Vol. 63. – P. 1 – 91.
57. Jaklitsch, W.M. Biodiversity of *Trichoderma* (Hypocreaceae) in Southern Europe and Macaronesia / W.M. Jaklitsch, H. Voglmayr // *Stud. Mycol.* – 2015. – Vol. 80. – P. 1–87.
58. Kant P. Disease resistance / P. Kant, Y. Reinprecht, C.J. Martin, R. Islam, K.P. Pauls // *Comprehensive Biotechnology (Third Edition).* – 2017. – Vol. 4. – P. 789 – 805.
59. Karuppiyah V. Co-cultivation of *Trichoderma asperellum* GDFS1009 and *Bacillus amyloliquefaciens* 1841 causes differential gene expression and improvement in the wheat growth and biocontrol activity / V. Karuppiyah, J. Sun, T. Li, M. Vallikkannu, J. Chen // *Frontiers in microbiology.* – 2019. – Vol. 10. – P. 1–16.
60. Kaur T. Advances in microbial bioresources for sustainable biofuels production: current research and future challenges. In: 13 Biodiversity of Genus *Trichoderma* and Their Potential Applications 455 Yadav AN, Rastegari AA, Yadav N, Gaur R (eds) *Biofuels production—sustainability and advances in microbial bioresources /*

- T. Kaur, R. Devi, D. Kour, N. Yadav, S. Prasad, A. Singh et al // Springer International Publishing. – 2020. – P. 371–387.
61. Keswani C. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. / C. Keswani, S. Mishra, B.K. Sarma // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2014. – Vol. 92(2). – P.533–544.
 62. Klein D. Ecology of *Trichoderma* in: *Trichoderma and Gliocladium*. In: Kubicek C.P., Harman G.E. (eds) *Basic biology, taxonomy and genetics* / D. Klein, D.E. Eveleigh. – Taylor & Francis Ltd., London, 1998. – P. 57–74.
 63. Kredics L. Molecular tools for monitoring *Trichoderma* in agricultural environments / L. Kredics, L. Chen, O. Kedves, R. Büchner, L. Hatvani, H. Allaga, V.D. Nagy, J.M. Khaled, N.S. Alharbi, C. Vágvölgyi // *Microbiol.* – 2018. – Vol. 9. – P. 1–17.
 64. Kubicek C.P. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral lifestyle of *Trichoderma* / C.P. Kubicek, A. Herrera-Estrella, V. Seidl-Seiboth, D.A. Martinez, I.S. Druzhinina et. al // *Genome Biol.* – 2011. – Vol. 12(4). – P. 1–15.
 65. Kubicek C.P. Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma*: a case study on South-East Asian isolates / C.P. Kubicek, J. Bissett, I. Druzhinina, C. Kullnig-Gradinger, G. Szakacs // *Fungal Genet Biol.* – 2003. – Vol. 38. – P. 310 – 319.
 66. Kullnig C.M. Confusion abounds over identities of *Trichoderma* biocontrol isolates / C.M. Kullnig, T. Krupica, S.L. Woo, R.L. Mach, M. Rey, T. Benítez, M. Lorito, C.P. Kubicek // *Mycol Res.* – 2001. – Vol. 105. – P. 769–772.
 67. Lieckfeldt E. A. Morphological and Molecular Perspective of *Trichoderma viride*: Is It One or Two Species? / Elke Lieckfeldt, Gary J. Samuels, Helgard I. Nirenberg, and Orlando Petrin // *Appl Environ Microbiol.* – 1999. – Vol. 65(6). – P. 2418–2428.
 68. Lord J.C. From Metchnikoff to Monsanto and beyond: The path of microbial control / J.C. Lord // *J. Invertebrate Pathology.* – 2005. – Vol. 89, №1. – P. 19-29.
 69. Macías-Rodríguez Lourdes The interactions of *Trichoderma* at multiple trophic levels: inter-kingdom / Lourdes Macías-Rodríguez, Hexon Angel Contreras-

- Cornejo, Sandra Goretti Adame-Garnica, Ek del-ValJohn Larsen // Communication Microbiological Research. – 2020. – Vol. 240. – P. 1–15.
70. Macías-Rodríguez Lourdes Trichoderma atroviride promotes tomato development and alters the root exudation of carbohydrates, which stimulates fungal growth and the biocontrol of the phytopathogen *Phytophthora cinnamomi* in a tripartite interaction system / Lourdes Macías-Rodríguez, Araceli Guzmán-Gómez, Perla García-Juárez, Hexon Angel Contreras-Cornejo // FEMS Microbiology Ecology. – 2018. – Vol. 94, № 9. – P. 1–11.
71. Masso B. Biological Inoculants for Sustainable Intensification of Agriculture in Sub-Saharan Africa Smallholder Farming Systems In Climate change and multi-dimensional sustainability in African agriculture / B. Masso, R.W. Mukhongo, M. Thuita, R. Abaidoo, J. Ulzen, G. Kariuki, M. Kalumuna // Springer. – 2016. – P. 639 – 658.
72. McGovern R. J. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum* / R. J. McGovern // Crop Prot. – 2015. – Vol. 73. – P. 78 – 92.
73. Mehrabi-Koushki M. Differential display of abundantly expressed genes of *Trichoderma harzianum* during colonization of tomato-germinating seeds and roots / M. Mehrabi-Koushki, H. Rouhani, E. Mahdikhani-Moghaddam // Microbiol. – 2012. – Vol. 65. – P. 524–533.
74. Mohamed Taha YassinAshraf Abdel-Fattah MostafaAbdulaziz A. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro / A. Mohamed Taha YassinAshraf Abdel-Fattah MostafaAbdulaziz, R.M. Al-AskarShaban, SayedAhmed Mostafa RadyDa Silva et al // Journal of King Saud University – Science. – 2021. Vol. 33. – P. 1–33.
75. Monfil V.O. Molecular mechanisms of biocontrol in *Trichoderma* spp. and their applications in agriculture. In: V. G. Gupta, M. Schmoll, A. Herrera-Estrella, R. S. Upadhyay, I. Druzhinina, M. Tuohy (eds). Biotechnology and biology of *Trichoderma* / V.O. Monfil, S. Casas-Flores // Elsevier Press, Amsterdam. – 2014. V. – 32. – P. 429–453.

76. Nogueira-Lopez G. The apoplastic secretome of *Trichoderma virens* during interaction with maize roots shows an inhibition of plant defense and scavenging oxidative stress secreted proteins / G. Nogueira-Lopez, D.R. Greenwood, M. Middleditch, C. Winefield, C. Eaton, J.M. Steyaert, A. Mendoza-Mendoza // *Front. Plant Sci.* – 2018. – Vol. 9. – P. 1–29.
77. O’Sullivan C. A. Tackling control of a cosmopolitan phytopathogen: *Sclerotinia* / C. A. O’Sullivan, K. Belt, L. F. Thatcher // *Front. Plant Sci.* – 2021. – Vol. 12. – P. 1–18.
78. Raman J. Response of *Azotobacter*, *Pseudomonas* and *Trichoderma* on Growth of Apple Seedling / J. Raman // *Department of Botany and Microbiology.* – 2012. – Vol. 40, №3. – P. 83–90.
79. Rawat R. Transmission electron microscopic study of the cytological changes in *Sclerotium rolfsii* parasitized by a biocontrol fungus *Trichoderma* sp / R. Rawat, T. Lakshmi // *Mycology.* – 2010. – Vol. 1, № 4. – P. 237–241.
80. Rifai M.A. / A revision of the genus *Trichoderma* / M.A. Rifai // *Mycol Pap.* – 1969. – Vol. 116. – P. 1–56.
81. Rubio M.B. Identifying *Trichoderma parareesei* beneficial qualities for plants / M. B. Rubio, N. M. Quijada, E. Perez, S. Domnguez, E. Monte, R. Hermosa // *Appl Environ Microbiol.* – 2013. – Vol. 10, №5. – P. 18–19.
82. Salas-Marina M.A. Colonization of *Arabidopsis* roots by *Trichoderma atroviride* promotes growth and enhances systemic disease resistance through jasmonic acid/ethylene and salicylic acid pathways / M.A. Salas-Marina, M.A. Silva-Flores, E.E. Uresti-Rivera, E. Castro-Longoria, A. Herrera-Estrella and S. Casas-Flores // *Plant Pathol.* – 2011. – Vol. 131. – P. 15–26.
83. Sallam N. Powder formulations of *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp. and *Coniothyrium minitans* for biocontrol of Onion White Rot / N. Sallam, A.A. Abd Elrazik, M. Hassan, E. Koch // *Archives of Phytopathology and Plant Protection.* – 2009. – Vol. 42(2). – P. 142–147.

84. Sallenave-Namont C. Toxigenic saprophytic fungi in marine shellfish farming areas / C. Sallenave-Namont, Y.F. Pouchus, T. Robiou du Pont, P. Lassus, J.F. Verbist // *Mycopathologia*. – 2000. – Vol. 149. – P. 21–22.
85. Samuels G.J. *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology / G. J. Samuels // *Phytopathology*. – 2006. – Vol. 96. – P. 195–206.
86. Savita S.A. Fungi as biological control agents. In: Giri B., Prasad R., Wu Q.S., Varma A / S.A. Savita // *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment: Soil Biology*. – 2019. – Vol. 55. – P. 395 – 411.
87. Schmoll M. / Envoy, a PAS/LOV domain protein of *Hypocrea jecorina* (anamorph *Trichoderma reesei*), modulates cellulase gene transcription in response to light / M. Schmoll, L. Franchi, C.P. Kubicek // *Eukaryot Cell*. – 2005. – Vol. 4. – P. 1998–2007.
88. Schmoll M. Envoy, a PAS/LOV domain protein of *Hypocrea jecorina* (anamorph *Trichoderma reesei*), modulates cellulase gene transcription in response to light / M. Schmoll, U.E Esquivel-Naranjo, A. Herrera-Estrella // *Eukaryot Cell*. – 2010. – Vol. 47(11-2). – P. 909–916.
89. Schuster A. *Biology and biotechnology of Trichoderma* / A. Schuster and M. Schmoll – *Appl Microbiol Biotechnol* – 2010. – Vol.87, № 3. – P. 787 –799.
90. Sharma S *Trichoderma*: biodiversity, ecological significances, and industrial applications. In: Yadav A.N., Mishra S., Singh S., Gupta A. (eds) *Recent advancement in white biotechnology through fungi* / S. Sharma, D. Kour, K.L. Rana, A. Dhiman, S. Thakur, P. Thakur et. al // *Diversity and enzymes perspectives*. – 2019. – Vol. 1. – P. 85–120.
91. Sheridan L. Woo. *Trichoderma based Products and their Widespread Use in Agriculture* / L. Woo Sheridan, R. Michelina, V. Francesco, Marco, N. M. Roberta, L. Nadia, P. Alberto, L. Stefania, M. Gelsomina and L. Matteo // *The Open Mycology Journal*. – 2014. – Vol. 8. – P. 71–126.
92. Shi M. Antimicrobial peptaibols from *Trichoderma pseudokoningii* induce programmed cell death in plant fungal pathogens / M. Shi, L. Chen, X.-W. Wang,

- T. Zhang, P.-B. Zhao, X.-Y. Song, C.-Y. Sun, X.-L. Chen, B.-C. Zhou, Y.-Z. Zhang // *Microbiol.* – 2012. – Vol. 158. – P. 166 – 175.
93. Smith W.H. Forest occurrence of *Trichoderma* species: emphasis on potential organochlorine (xenobiotic) degradation / W.H. Smith // *Ecotoxicol Environ Safety.* - 1995. – Vol. 32. – P. 179 – 183.
94. Smolińska U. Biological control of the soil-borne fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* / U. Smolińska, B. Kowalska // *Plant Pathol.* – 2018. – Vol. 100. – P. 1–12.
95. Thambugala K.M. Fungi vs. fungi in biocontrol: An overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens / K.M. Thambugala, D.A. Daranagama, A.J.L. Phillips, S.D. Kannangara, I. Promptuttha // *Front. Cell. Infect. Microbiol.* – 2020. – Vol. 10. – P. 718.
96. Tyśkiewicz R. *Trichoderma*: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth / R. Tyśkiewicz, A. Nowak, O. Ewa, Jaroszuk-Ścisiel Jolanta // *Mol Sci.* – 2022. – Vol. 23, № 4. – P. 23–29.
97. Velázquez-Robledo R. Role of the 4-phosphopantetheinyl transferase of *Trichoderma virens* in secondary metabolism, and induction of plant defense responses / R. Velázquez-Robledo, H.A. Contreras-Cornejo, L. Macías-Rodríguez, A. Hernández-Morales, J. Aguirre, S. Casas-Flores, J. López-Bucio, A. Herrera-Estrella // *Plant Microbe Interact.* – 2011. – Vol. 24. – P. 1459–1471.
98. Vinale F. *Trichoderma* secondary metabolites that affect plant metabolism/ F. Vinale, K. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, S. Wood, M. Lorito // *Nat Prod Commun.* – 2012. – Vol. 11, №7. – P. 50–52.
99. Vinale F. *Trichoderma* plant-pathogen interactions / F. Vinale, K. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, R. Marra, S.L. Woo, M. Lorito // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2008. – Vol. 40. – P. 1–10.
100. Wu Q. Co - culture of *Bacillus amyloliquefaciens* ACCC11060 and *Trichoderma asperellum* GDFS1009 enhanced pathogen - inhibition and amino acid yield / Q. Wu et. al // *Microbial Cell Factories.* – 2018. – Vol. 17. – P. 1 – 12.

101. Xu X.-M Combined use of biocontrol agents to manage plant diseases in theory and practice / X.-M. Xu, P. Jeffries, M. Pautasso, M. J. Jeger // *Phytopathology*. – 2011. – Vol. 101. – P. 1024 – 1031.
102. Yadav A.N. Agriculturally important fungi for crop productivity: current research and future challenges. In: Yadav A.N., Mishra S., Kour D., Yadav N., Kumar A. (eds) *Agriculturally important fungi for sustainable agriculture, Perspective for diversity and crop productivity* / A.N. Yadav, D. Kour, T. Kaur, R. Devi, N. Yadav // Springer International Publishing. – 2020. – Vol. 1. – P. 275–286.
103. Yadav A.N. Functional annotation of agriculturally important fungi for crop protection: current research and future challenges. In: Yadav A.N., Mishra S., Kour D., Yadav N., Kumar A. (eds) *Agriculturally important fungi for sustainable agriculture* / A.N. Yadav, D. Kour, T. Kaur, R. Devi, N. Yadav // *Functional annotation for crop protection*. – 2020. – Vol. 2. – P. 1–15.
104. Yoder J.A. The giant Madagascar hissing-cockroach (*Gromphadorhina portentosa*) as a source of antagonistic moulds: concerns arising from its use in a public setting / J.A. Yoder, B.D. Glenn, J.B. Benoit, L.W. Zettler // *Mycoses*. – 2008. – Vol. 51. – P. 95 – 98.
105. Zeilinger S. Signal transduction in host sensing and mycoparasitic response of *Trichoderma atroviride* / S. Zeilinger, K. Brunner, B. Reithner, I. Peissl // *Molecular Biotechnology*. – 2012. – Vol. 8, №1. – P. 34–38
106. Zhang C-L. *Trichoderma* biodiversity in China: evidence for a North to South distribution of species in East Asia / C-L. Zhang, I.S. Druzhinina, C.P. Kubicek, T. Xu // *FEMS Microbiol.* – 2005. – Vol. 2. – P. 251 – 257.
107. Zhang, S. / Interkingdom microbial consortia mechanisms to guide biotechnological applications / S. Zhang, N. Merino, A. Okamoto, P. Gedalanga // *Microb. Biotechnol.* – 2018. – Vol. 11. – P. 833–847.