

ВПЛИВ БАКТЕРІАЛЬНО-ГРИБНИХ

консорціумів з фунгіцидною дією на біологічну активність ґрунту кореневої зони малини (*Rubus idaeus* L.)

Мета. Дослідити ефективність впливу полікомпонентної біоінокуляції у вигляді комбінованих консорціумів грибів і бактерій, та їх поєднань щодо пригнічення деяких патогенних мікроорганізмів — збудників мікозів та покращення біологічної активності ґрунту при вирощуванні малини (*Rubus idaeus* L.). **Методи.** Дослідження виконано з використанням польового, мікробіологічного, морфометричного й статистичного методів. Предметом дослідження були полікомпонентні мікробні консорціуми на основі аборигенних штамів мікоризоутворювальних грибів (*Glomus* spp., *Trichoderma* spp.) і бактерій (*Agrobacterium radiobacter*). Оцінювали вплив цих консорціумів на біологічну активність ґрунту та антифунгальну активність. Порівнювали експериментальні дані інокуляції комплексом композицій мікроорганізмів № 1, № 2, № 3 та № 4 з контролем (без інокуляції) та еталоном (біологічним препаратом Біонорма Триходерма). У дослідженнях використовували сорт малини української селекції Вогник. Польові дослідження проводили на базі дослідного полігону ТОВ «Інститут Агробіології» (Житомирська обл.). Вибір ґрунтових проб та усі мікробіологічні дослідження виконували за загальноприйнятими методами. **Результати.** Застосування як бінарних, так і тернарних бактеріально-грибних консорціумів сприяло підвищенню біологічної активності ґрунту, зокрема емісії діоксиду вуглецю та вмісту мікробної біомаси, високі значення яких свідчать про активне протікання мікробіологічних процесів та ефективне функціонування мікробіоценозу за інокуляції на фоні контролю та еталону. Встановлено, що застосування двокомпонентних композицій мікроорганізмів-антагоністів показало свою ефективність щодо грибних патогенів з родів *Fusarium* та *Botrytis* (на рівні комерційного біопрепарату). **Висновки.** Отримані результати підтверджують доцільність використан-

^{1,2}**Я.В. ЧАБАНЮК,**
доктор сільськогосподарських наук,
ORCID: 0009-0006-4541-5404

²**О.В. ТОМАШЕВСЬКА,**
ORCID: 0000-0002-1327-978X

¹ТОВ «Інститут Агробіології»,
бульв. Вацлава Гавела, 4, корп. 45,
м. Київ, 03067, Україна

²Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15,
м. Київ, 03041, Україна

*E-mail: alesya20100@gmail.com

ня полікомпонентних мікробних консорціумів як елемента біологічного захисту рослин малини і підтримання «здоров'я» ґрунту у системах екологічного землеробства. Ці дані можуть бути використані для вдосконалення біологічних систем захисту рослин *R. idaeus* L. та відновлення мікробіологічної рівноваги ґрунтів.

Trichoderma spp.; **Glomus** spp.;
Agrobacterium radiobacter; **ризосфера**; **біоконтроль патогенів**

Рід *Rubus* L. (Rosaceae) охоплює велику кількість видів малини та ожини, що мають широке поширення в культурі на різних континентах. Упродовж останнього десятиліття простежується стійка тенденція до зростання світового споживання свіжих ягід цієї групи культур, що зумовлено їхньою високою харчовою та біологічною цінністю.

Rubus idaeus L. — скороплідна й урожайна культура, посідає важливе місце в структурі ягідництва України та є однією з провідних експортно орієнтованих культур. Виробництво малини формує суттєву частку доходів аграрного сектору, при цьому дедалі більшого значення набуває

продукція, отримана за технологіями органічного землеробства [1]. Підтримання стабільної врожайності та високої якості ягід потребує науково обґрунтованих підходів до мінерального живлення та біологізації агротехнологій. Оптимізація систем удобрення і регуляція мікробіологічних процесів у ризосфері є ключовими чинниками підвищення продуктивності насаджень малини та їхньої екологічної стійкості.

Як зазначає український вчений В.В. Волкогон [2], традиційне для ґрунтознавства положення про те, що ґрунт є складною біодинамічною системою, у сучасних умовах еволюціонувало в поняття «здоров'я ґрунту». Ця концепція підкреслює, що якісний стан ґрунтового покриву визначає стабільність аграрного виробництва, екологічну рівновагу довкілля, фітосанітарний стан агроценозів і, опосередковано, — здоров'я людини. Підтримання та відновлення ґрунтового «здоров'я» безпосередньо пов'язане зі станом мікробних угруповань і спрямованістю мікробіологічних процесів у ґрунті. У сучасних агроєкосистемах виділяють кілька практичних підходів до оптимізації цих показників, серед яких особливе місце посідає регуляція біологічної активності ґрунту. Важливою складовою стабільності агроєкосистем є мікробна біомаса ґрунту, яка виступає інтегральним показником інтенсивності біотичних процесів та функціонального стану ґрунтового мікробіоценозу [2].

З огляду на вищезазначене, використання полікомпонентних мікробних консорціумів (гриби, бактерії) у ягідному садівництві

постає як багатообіцяючий підхід, що дозволяє змінити мікробіологічну структуру ґрунту, підвищити присутність корисних мікроорганізмів, зменшити навантаження патогенів і, відповідно, покращити фітосанітарний стан агроценозу.

Серед перспективних агентів біотизації корневих систем ягідних культур виділяють арбускулярні мікоризні гриби роду *Glomus* Tul. & C. Tul. (1845) та сапрофітні ґрунтові гриби роду *Trichoderma* Pers. (1801) [3]. Їх ефективність зумовлена здатністю покращувати мінеральне живлення рослин, посилювати їхню стійкість до абіотичних і біотичних стресів, а також стимулювати ріст і розвиток кореневої системи. Сучасні біотехнологічні підходи віддають перевагу використанню комплексних інокулянтів, що поєднують кілька ефективних штамів мікроорганізмів, замість застосування окремих грибів або бактерій [4]. Такі багатокомпонентні препарати здатні значно підвищувати ріст і продуктивність сільськогосподарських культур, включно з ягідними рослинами, також створювати пригнічувальний антагоністичний ефект проти фітопатогенів, хоча механізми подібних взаємодій у ризосфері залишаються ще недостатньо вивченими.

Серед найбільш відомих і широко застосовуваних мікроорганізмів у складі біоінокулянтів — азотфіксуючі бактерії (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*), яких активно використовують для вирощування бобових, злакових та овочевих культур. Додатково застосовують фосформобілізуючі бактерії (*Bacillus*, *Pseudomonas*), що забезпечують перетворення малорозчинних форм фосфатів ґрунту у легкодоступні для рослин сполуки [5, 6]. Менш поширеним у практиці є використання бактерій роду *Agrobacterium* Conn, 1942 (Rhizobiaceae), представників α -протеобактерій, близьких до ризобій. У межах цього роду трапляються як патогенні види, так і авірулентні штами. Найбільш вивченим представником є *A. tumefaciens* (Smith et Townsend,

1907) Conn, 1942 — збудник бактеріального раку рослин [7].

У цьому дослідженні фокус було спрямовано на *A. radiobacter* (Beijerinck and van Delden, 1902) Conn, 1942 — авірулентний родич *A. tumefaciens*, який не містить пухлинної Ті-плазмиди та не спричинює утворення пухлин у рослин [8]. Цей вид характеризується вираженими антагоністичними властивостями проти патогенних штамів *Agrobacterium* через конкуренцію за місця адгезії на поверхні рослин [9], здатність формувати біоплівки та синтез антимікробних метаболітів. Завдяки цим особливостям *A. radiobacter* розглядається як перспективний агент біологічного контролю, ефективний у пригніченні бактеріального раку та інших хвороб [10].

Впродовж останніх десятиліть в Україні та низці інших країн було розроблено значну кількість мікробних препаратів, які успішно застосовуються для регуляції мікробних процесів в агроекосистемах. Особливу перспективу представляють комплексні біопрепарати, що створюються на основі двох або більше видів мікроорганізмів і поєднують різноспрямовані біологічні ефекти. Комплексні мікробні препарати виконують багатофункціональну роль у рослинництві, сприяючи покращенню живлення рослин, стимулюванню їхнього росту та розвитку, підвищенню стійкості до фітопатогенів і шкідників, а також покращенню кількісних і якісних характеристик урожаю [11].

Мікоризні гриби виконують суттєву біозахисну функцію, підвищуючи резистентність рослин до ґрунтових грибних патогенів, які часто розглядаються як ключові чинники розвитку «втоми ґрунту» — явища, характерного й для багатьох плодово-ягідних насаджень. Одним із ключових чинників, що обмежують урожайність малини, є ураження рослин комплексом інфекційних хвороб, кількість яких сягає близько п'ятнадцяти. Найбільшою шкоди, незалежно від фази онтогенезу рослин, завдають такі

хвороби: пурпурова плямистість (*Didymella applanata* Sacc.), антракноз (*Gloeosporium venetum* Speg.), септоріоз (*Septoria rubi* Westendorp), сіра гниль (*Botrytis cinerea* Pers). Також з рослин (плодів, листя та стебел) виділяють гриби: *Aspergillus niger* Tiegh, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Fusarium graminearum* Schwabe, які є продуцентами мікотоксинів. За сприятливих для патогенів умов їхній інтенсивний розвиток призводить до некротизації тканин, ослаблення рослин і відмирання як генеративних, так і вегетативних пагонів, що істотно знижує продуктивний потенціал насаджень [12, 13].

Сучасні підходи до біологізації агроекосистем передбачають використання мікробних препаратів полікомпонентного типу, здатних впливати не лише на рослину, а й на мікробіоту ґрунту. У наших попередніх публікаціях [14, 15] наведено результати оцінки ефективності симбіотичної взаємодії у системі «малина (*Rubus* L.) — *Trichoderma* spp. — *Glomus* sp. — *Agrobacterium radiobacter*». Встановлено інтенсифікацію мікоризації кореневої системи, формування активних мікоризних структур та пов'язані з цим морфо-анатомічні зміни коренів за умов інокуляції в контрольованих умовах. Крім того, показано позитивний вплив інокуляції на ростові показники та продуктивність рослин малини в польових умовах за дії абіотичного стресу (посухи) *in situ*.

У даній публікації висвітлено результати дослідження впливу цих полікомпонентних мікробних консорціумів, що володіють фунгіцидною дією, на функціональний стан мікробіоценозу ризосфери малини та їхній внесок у підвищення біологічної стійкості ґрунту до розвитку деяких грибних патогенів.

Мета дослідження — оцінити вплив полікомпонентних мікробних консорціумів (*Trichoderma* spp. — *Glomus* spp. — *Agrobacterium radiobacter*) на біологічну активність ґрунту кореневої зони малини (*Rubus idaeus* L.) та визначити потенціал їхнього засто-

сування як елемента біологічного захисту проти фітопатогенів грибної етіології задля відновлення «здоров'я» ґрунту.

Матеріали і методи. Дослідження із оцінки впливу бактеріально-грибних консорціумів на мікробіоценоз ґрунту та їх застосування у якості антагоністів проти фітопатогенів проводили на існуючих плодоносних насадженнях малини (*Rubus idaeus* L.) дослідного полігону ТОВ «Інститут Агробіології» в умовах південного Полісся (с. Високе, Брусилівський р-н, Житомирська обл.) у 2023—2025 рр. Важливо зазначити, що на цих насадженнях раніше не використовували жодних біопрепаратів. Ґрунт дослідних ділянок — дерново-підзолистий супіщаний. Вміст гумусу — 1,49%, глибина гумусового горизонту — 20—22 см. За гранулометричним складом ґрунт містив фізичної глини 10—20% та мулу 7%. Щільність ґрунту становила 1,51 г/см³, а максимально доступний запас продуктивної вологи на глибині 0—100 см — 175 мм. Гідролітична кислотність — 1,55 мг-екв./100 г, сольовий рН — 5,8, сумарний вміст поглинених основ (Са + Mg) — 1,6 мг-екв./100 г.

У дослідженні використовували сорт малини Вогник (Інститут помології ім. Л.П. Симиренка, НААН), внесений до Державного реєстру сортів України та рекомендований для вирощування у Лісостепу та Поліссі [16]. Рослини відзначаються високою екологічною пластичністю та стійкістю до грибних хвороб (антракноз, біла плямистість, іржа — 9 балів; пурпура плямистість — 7 балів), добрим рівнем толерантності до шкідників (малиновий довгоносик, попелиця — до 7 балів), високою зимостійкістю (9 балів) та мінімальним підмерзанням квіткових бруньок (1 бал).

Інокуляцію малини здійснювали композиції мікроорганізмів, зокрема: арбускулярними мікоризними грибами роду *Glomus* Tul. & C. Tul. (1845) (Glomomycota) та сапрофітними ґрунтовими роду *Trichoderma* Pers. (1801) (Ascomycota); бактеріями роду *Agrobacterium* Conn, 1942

(Rhizobiaceae), а також у якості еталону — комерційним біопрепаратом Біонорма Триходерма, гранули.

Відбір штамів зазначених корисних мікроорганізмів для створення синтетичних мікробних консорціумів базувався на ґрунтовому аналізі наукових публікацій щодо їхніх біоконтрольних властивостей, а також з урахуванням доступних перспективних культур із виробничої колекції ТОВ «Інститут Агробіології». У результаті обрано два грибних штами з колекції культур ТОВ «Інститут Агробіології» — *Trichoderma viride* еко/103 та *Glomus* sp. еко/104, що використовувались як активні компоненти препаратів, а штам бактерії *Agrobacterium radiobacter* (Beijerinck and van Delden, 1902) Conn, 1942 був ізольований безпосередньо авторами дослідження. Додатково, у якості референтного препарату для порівняння, використовували відомий препарат фунгіцидної дії Біонорма Триходерма, гр. (д.р. — спори та міцелій представників грибів роду *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. lignorum* та *T. viride*), титр 10 млрд в 1 мл/г).

Штам *T. viride* еко/103 вирощували на сусло-агарі (агар-агар — 20 г, 7% пивне сусло — 1000 мл) впродовж 12—14 діб при 22—25°C. Спори змивали стерильною водою, після чого їхню кількість визначали за допомогою камери Горяєва. Концентрацію спорової суспензії стандартизували до 1×10^7 спор/мл. Штам *Glomus* sp. еко/104 культивували на рідкому середовищі Чапека (сахароза — 20,0 г, нітрат натрію — 3,0 г, дигідрофосфат калію — 1,0 г, сульфат магнію семиводний — 0,5 г, хлорид калію — 0,5 г, сульфат феруму (II) — 0,01 г).

Схема досліду передбачала варіанти:

1. Контроль — без внесення мікроорганізмів;
2. *T. viride* + *Glomus* sp. — комбінована інокуляція мікоризоутворювальних грибів;
3. *T. viride* + *A. radiobacter* — інокуляція комбінацією грибного та бактеріального компонентів;

4. *Glomus* sp. + *A. radiobacter* — інокуляція комбінацією грибного та бактеріального компонентів;

5. *T. viride* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter* — інокуляція полікомпонентним консорціумом грибів і бактерій;

6. Препарат-еталон Біонорма Триходерма, гранули — стандартна суміш штамів грибів *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. lignorum*, *T. viride*).

Усі обробки у формі комбінованих консорціумів грибів і бактерій проводили у фазу активного весняного росту, поливаючи під корінь робочою суспензією (10^7 — 10^8 КУО/мл) з нормою витрати 5—8 л/га. Мікроміцетний препарат Біонорма Триходерма вносили у ґрунт згідно з рекомендаціями виробника (норма витрати препарату — 400—1000 г/сотку). Площа кожної дослідної ділянки становила 25 м², повторюваність — триразова, розміщення ділянок — рендомізоване.

Оцінку стану ґрунтового мікробіоценозу здійснювали за показниками біологічної активності — емісією CO₂ та вмістом мікробної біомаси. Проби ґрунту відбирали у критичні фенологічні фази розвитку культури: висування суцвіть, відокремлення бутонів та інтенсивне плодоношення. Інтенсивність емісії діоксиду вуглецю з ґрунту визначали титруванням у статичній системі впродовж 24 год, підраховуючи обсяг CO₂, який виділився під час «дихання» ґрунту та був поглинутий розчином NaOH [17]. Вміст мікробної біомаси визначали методом регідратації. Зразки попередньо підсушували за температури 65—70°C упродовж 24 год, після чого здійснювали екстракцію органічного вуглецю 0,5 М розчином K₂SO₄ з подальшим аналітичним визначенням його концентрації [18].

У дослідженні, з метою тестування антифунгальної активності комплексу композицій мікроорганізмів *in vitro* використовували два поширених збудники грибних хвороб — *Fusarium* sp. та *Botrytis cinerea* Pers. (1794). Штами патогенів (*Fusarium* sp. та *Botrytis*

cinerea) ізольовано із малинових плантацій, ідентифіковано за морфологічними та культуральними ознаками загальноприйнятими мікробіологічними методами у випробувальній лабораторії ТОВ «Інститут Агробіології». Аборигенні штами *Fusarium* sp. та *B. cinerea* культивували на картопляно-декстрозному агарі (PDA) за стандартних умов. Спорові суспензії отримували зі спороносних культур та доводили до концентрації 1×10^8 спор/мл (*Fusarium* sp.) та 1×10^6 спор/мл (*B. cinerea*) з використанням камери Горяєва.

Антифунгальну активність композицій мікроорганізмів оцінювали методом прямої конфронтації на картопляно-декстрозному агарі (PDA) [19]. Для проведення конфронтації агаризований диск (4 мм) культури патогена розміщували у центрі чашки Петрі. Досліджувані мікроорганізми або їхні композиції вносили на відстані 2–3 см від патогена. Контролем слугували чашки з патогеном без антагоністів. Всі варіанти досліду проводили у триразовій повторності. Чашки інкубували при 25°C впродовж 5–7 діб. Антифунгальну активність визначали за радіальним ростом міцелію патогена, вимірюючи діаметр колоній у кожному варіанті. Відсоток інгібування росту патогена обчислювали за формулою:

$$P = (C - T) / C \times 100,$$

де P — пригнічення росту, %; C — радіус колонії патогена в контрольній групі; T — радіус колонії патогена в дослідному варіанті.

Одержані дані статистично обробляли у програмі Statistica 12.0 та MS Excel. Відмінності між середніми вважали статистично значущими при $p < 0,05$. Експериментальні дослідження рослин, включаючи збір рослинного матеріалу, відповідали інституційним, національним або міжнародним керівним принципам, було дотримано стандартів Конвенції про охорону біологічного різноманіття (1992) [20].

Результати та обговорення.

Взаємодії між кореневою системою рослин та ґрунтовими мікроорганізмами є фундаментальними для підтримання їхньої життєздатності як у природних, так і в агроекосистемах. Сучасні дослідження демонструють, що рослини здатні модулювати склад своєї ризосфери, сприяючи розвитку мікроорганізмів, які підвищують їхню адаптацію та продуктивність у конкретних екологічних умовах [21]. Проте ці взаємодії значною мірою визначаються навколишнім середовищем, рослинним контекстом, доступністю поживних речовин та іншими екологічними факторами. Результати нашого дослідження свідчать, що зміни в мікробному складі корелюють із рівнем різноманітності мікробних спільнот, підкреслюючи роль мікробної різноманітності у формуванні біологічної активності ризосфери.

Встановлено чітко виражену зміну динаміки «дихання» (емісії діоксиду вуглецю) та вмісту мікробної біомаси після застосування інокуляції консорціуму штамів грибів (*Glomus* spp., *Trichoderma* spp.) і бактерій (*Agrobacterium radiobacter*) у критичні фази розвитку малини на фоні контролю (без інокуляції) (табл.).

У фазі висування суцвіть контрольний варіант (без інокуляції) характеризувався найнижчими показниками респірації CO_2 — 5,0 мг/г ґрунту, та вмісту мікробної біомаси — 120 мкг С/г ґрунту. Інокуляція *T. viride* + *Glomus* spp. підвищила респіра-

цію на 22%, до 6,1 мг/г, а біомасу — на 18%, до 142 мкг С/г. Двокомпонентні дослідні варіанти із залученням *A. radiobacter* показали помірний ефект: *T. viride* + *A. radiobacter* збільшив респірацію на 16%, а біомасу — на 12%, тоді як варіант із *Glomus* spp. + *A. radiobacter* відповідно на 18% та 16%. Найвищий рівень активності спостерігався у трикомпонентному консорціумі *T. viride* + *Glomus* spp. + *A. radiobacter*, де респірація CO_2 зросла на 36%, а біомаса — на 30% порівняно з контролем. Дослідний варіант із препаратом-еталоном Біонорма Триходерма показав проміжні значення — респірація +28%, біомаса +25% порівняно з контрольним варіантом (табл.).

У фазі відокремлення бутонів у суцвіттях тенденції збереглися, але приріст активності мікробів був дещо вищим. Зокрема, у контролі інтенсивність «дихання» зафіксовано на рівні 5,4 мг CO_2 на 1 г ґрунту та 125 мкг С/г щодо мікробної біомаси. Інокуляція *T. viride* + *Glomus* spp. забезпечила збільшення респірації на 26%, а біомаси — на 22%. Варіанти з *A. radiobacter* підвищили респірацію на 20–22%, а біомасу — на 16–21%. Трикомпонентний консорціум стимулював респірацію на 42% та біомасу на 37%, демонструючи максимальну синергію грибів і бактерій у цей період активного росту. Застосування препарату БТ характеризувалося респірацією +30%, порівняно з контролем, та біомасою +29%, тобто трохи нижче

Вплив біоінокуляції на біологічну активність у ґрунті насаджень малини (2023–2025 рр., с. Високе, Брусилівський р-н, Житомирська обл.; середні значення $\pm SD$)[#]

№ з/п	Варіант досліджу	CO_2 виділення (мг/г ґрунту)	Вміст мікробної біомаси (мкг С/г ґрунту)
1	Контроль (без інокуляції)	5,0 \pm 0,2 / 5,4 \pm 0,3 / 6,0 \pm 0,4	120 \pm 5 / 125 \pm 6 / 135 \pm 7
2	<i>T. viride</i> + <i>Glomus</i> spp.	6,1 \pm 0,3* / 6,8 \pm 0,4* / 7,7 \pm 0,5*	142 \pm 6* / 153 \pm 7* / 165 \pm 8*
3	<i>T. viride</i> + <i>A. radiobacter</i>	5,8 \pm 0,2 / 6,5 \pm 0,3 / 7,2 \pm 0,4	134 \pm 5 / 145 \pm 6 / 155 \pm 7
4	<i>Glomus</i> spp. + <i>A. radiobacter</i>	5,9 \pm 0,2 / 6,6 \pm 0,3 / 7,4 \pm 0,4	139 \pm 5 / 150 \pm 6 / 160 \pm 7
5	<i>T. viride</i> + <i>Glomus</i> spp. + <i>A. radiobacter</i>	6,8 \pm 0,3* / 7,7 \pm 0,4* / 8,5 \pm 0,5*	156 \pm 6* / 172 \pm 7* / 187 \pm 8*
6	Біонорма Триходерма	6,4 \pm 0,3* / 7,0 \pm 0,4* / 7,9 \pm 0,5*	150 \pm 6* / 162 \pm 7* / 175 \pm 8*

Примітка: [#]через дріб вказані дані для різних фенологічних фаз розвитку культури: висування суцвіть / відокремлення бутонів / інтенсивне плодоношення; * $p \leq 0,05$, U-критерій Манна-Уїтні (порівняно з контролем).

Джерело: розроблено авторами.

трикомпонентного консорціуму, але вище за двокомпонентні дослідні варіанти.

У фазі інтенсивного плодоношення спостерігався найвищий рівень інтенсивності «дихання» та вмісту мікробної біомаси, що відображає активність корневих виділень й інтенсивний обмін речовин у ризосфері. У контрольному варіанті респірація ґрунту становила 6,0 мг CO₂/г, а мікробна біомаса — 135 мкг С/г. Інокуляція *T. viride* + *Glomus* spp. підвищила респірацію на 28% та біомасу на 22%, що відображає стимуляцію ризосферної активності рослин. Двокомпонентні варіанти із *A. radiobacter* забезпечили помірний приріст: респірація +20—23%, біомаса +15—19%. Трикомпонентний консорціум спричинив максимальне збільшення: респірація +42%, біомаса +38%, тоді як Біонорма Триходерма показала проміжні значення — респірація +32%, біомаса +29%, демонструючи помірну ефективність порівняно з полікомпонентним консорціумом.

Таким чином, по всіх трьох фенологічних фазах чітко проявляється закономірність: інокуляція трикомпонентним консорціумом забезпечує найвищу стимуляцію респірації та біомаси, грибні двокомпонентні варіанти — середню, а контроль — найнижчу. Біонорма Триходерма демонструє ефективність трохи нижчу за трикомпонентний консорціум, але значно вищу за окремі двокомпонентні варіанти. Фінальна градація ефективності виглядає так (у висхідному порядку): контроль < двокомпонентні бактеріально-грибні варіанти (*T. viride* / *Glomus* spp. + *A. radiobacter*) < двокомпонентний грибний варіант (*T. viride* + *Glomus* spp.) < Біонорма Триходерма < повний трикомпонентний консорціум (*T. viride* + *Glomus* spp. + *A. radiobacter*).

Водночас, у дослідженні *in vitro* з метою оцінки відібраних штамів, як агентів біоконтролю, було протестовано два основних грибних патогени, що спричиняють значні втрати врожаю в усьому світі — *Fusarium* sp. та

B. cinerea. Антагоністичну активність перевіряли за допомогою подвійної конфронтації.

Результати експерименту показали, що всі дослідні варіанти з мікроорганізмами суттєво зменшували радіальний ріст патогенів порівняно з контролем ($p < 0,05$; рис.). У випадку *Fusarium* sp. максимальне пригнічення росту (78%) спостерігалось при використанні тернарного консорціуму *T. viride* + *Glomus* spp. + *A. radiobacter*. Інші бінарні комбінації з *T. viride* демонстрували також високий рівень антагоністичної активності — 65—71%, тоді як *Glomus* spp. + *A. radiobacter* пригнічували ріст патогена менш інтенсивно (41%) (рис.). Для *B. cinerea* найбільш ефективним варіантом був той же трикомпонентний консорціум, який забезпечив зменшення росту на 90%, тоді як комбінації з *T. viride* показали 69—75% інгібування, а варіант *Glomus* spp. + *A. radiobacter* — лише 44%. Препарат-еталон Біонорма Триходерма демонстрував ефективність на рівні з комбінаціями, які містять *T. viride*, що свідчить про ключову роль цього біоагента у формуванні фунгіцидної активності проти цільових мікозів (рис.).

Отримані результати підтверджують гіпотезу про можливість екологічного оздоровлення ризосферного мікробоценозу малини шляхом цілеспрямованого мікробного консорціумного впли-

ву. Внесення полікомпонентних консорціумів забезпечує екологічну ремедіацію ризосфери малини, зменшуючи інфекційний потенціал ґрунту та покращуючи його фітосанітарний стан [22]. Як зазначають дослідники [23], розробка та впровадження біотехнологій, що включають методи контролю поширення фузаріозних збудників, є перспективним напрямом, оскільки біологічні підходи не спричиняють розвитку резистентності і водночас поєднують захисну функцію з підвищенням продуктивності культур. Згідно з їх даними, ефективність хімічних фунгіцидів значно знижується через здатність грибів роду *Fusarium* формувати стійкість до діючих речовин. Поява резистентних штамів підтверджується відходом певних фунгіцидів із світового ринку через втрату їхньої ефективності або навіть стимуляцію синтезу мікотоксинів.

ВИСНОВКИ

Застосування полікомпонентних мікробних консорціумів на основі грибів (*Trichoderma* spp., *Glomus* spp.) та бактерій (*Agrobacterium radiobacter*) у малинових насадженнях (*Rubus idaeus* L.) сприяє посиленню метаболічної активності мікробіоти ґрунту, активізує процеси поліпшення «здоров'я» ґрунту як ключового фактору його екологічної стабільності. Застосування двокомпонентних та трикомпонентних

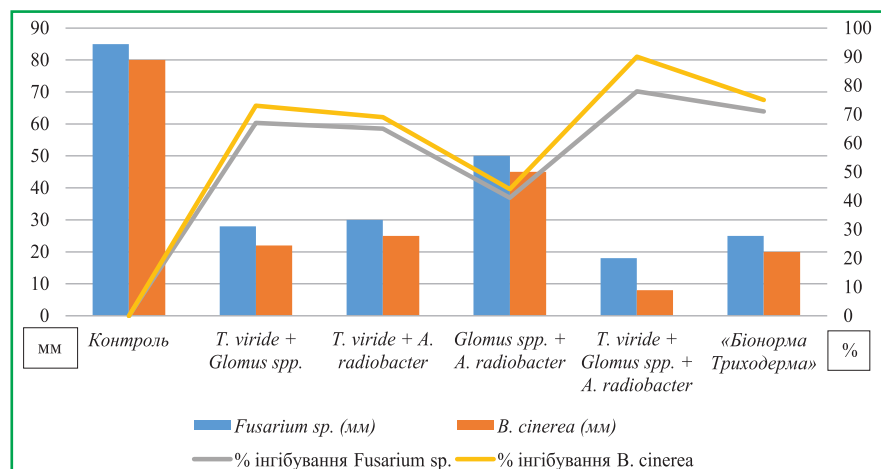


Рис. Вплив різних мікробних консорціумів на радіальний ріст грибних патогенів та відсоток інгібування*

Примітка: *для всіх дослідних варіантів зафіксовано достовірну різницю порівняно з контролем ($p \leq 0,05$, U-критерій Манна-Уїтні).

Джерело: розроблено авторами

бактеріально-грибних консорціумів сприяло підвищенню біологічної активності ґрунту (емісії діоксиду вуглецю та вмісту мікробної біомаси), високі значення яких свідчать про ефективне функціонування мікробіоценозу за інокуляцій. Встановлено, що застосування композицій мікроорганізмів-антагоністів показало свою ефективність щодо грибних фітопатогенів, зокрема представників родів *Fusarium* та *Botrytis*, які є типовими збудниками комплексу ґрунтових і прикореневих гнилей, а також хвороб надземних органів рослин. Наголошено на необхідності розробки та впровадження біотехнологічних методів контролю збудників даних мікозів.

Виявлено, що варіант із застосуванням біопрепарату Біонорма Триходерма демонстрував стабільний біологічний ефект, однак у більшості випадків поступався трикомпонентному консорціуму на основі грибів та бактерій (*Trichoderma* spp., *Glomus* spp. та *Agrobacterium radiobacter*), що свідчить про наявність синергічної взаємодії між грибними та бактеріальними компонентами. Отже, даний комплекс композиції мікроорганізмів є перспективним для створення сучасного полікомпонентного біопрепарату з фунгіцидними властивостями, який у подальшому дозволить отримати еколого-безпечну агропродукцію.

Фінансування: це дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів: автори декларують про відсутність конфлікту інтересів.

Штучний інтелект: У процесі підготовки рукопису окремі формулювання розділу «Вступ» були уточнені за допомогою інструментів штучного інтелекту, що застосовувалися виключно як допоміжний засіб редагування. Усі наукові положення та інтерпретації даних належать авторам.

^{1,2} Ya. V. Chabaniuk,
Doctor of Agricultural Sciences,
ORCID: 0009-0006-4541-5404

^{*2} O. V. Tomashevskaya,
ORCID: 0000-0002-1327-978X

¹ LLC «Institute of Agrobiology»,
4, Vatslava Havela Blvd., Building 45,
Kyiv, 03067, Ukraine

² National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine,
15, Heroiv Oborony str., Kyiv,
03041, Ukraine

*E-mail: alesya20100@gmail.com

The effect of bacterial-fungal consortia with fungicidal properties on the biological activity of soil in the root zone of raspberry plants (*Rubus idaeus* L.)

Goal. To investigate the effectiveness of multicomponent bioinoculation in the form of combined consortia of fungi and bacteria, as well as their combinations, in suppressing certain pathogenic microorganisms that cause mycoses and in improving soil biological activity in raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivation. **Methods.** The study was conducted using field, microbiological, morphometric and statistical methods. The study focused on multicomponent microbial consortia comprising indigenous strains of mycorrhizal fungi (*Glomus* spp., *Trichoderma* spp.) and bacteria (*Agrobacterium radiobacter*). The effect of these consortia on soil biological and antifungal activity was evaluated. Experimental data on inoculation with complexes of microorganisms No. 1, No. 2, No. 3 and No. 4 were compared with control data (without inoculation) and reference data (the biological preparation 'Bionorma Trichoderma'). The Ukrainian raspberry variety 'Vognik' was used in the studies. Field studies were conducted at the experimental site of the Institute of Agrobiology LLC (Zhytomyr region). Soil samples were selected, and all microbiological studies were conducted using standard methods. **Results.** Using both binary and ternary bacterial-fungal consortia increased soil biological activity, particularly carbon dioxide emissions and microbial biomass content. High values of these parameters indicate active microbiological processes and the effective functioning of the microbiocenosis compared to the control and reference samples. The use of two-component compositions of antagonist microorganisms was found to be effective against fungal pathogens, such as *Fusarium* and *Botrytis*, at the level of a commercial biological product. **Conclusions.** The results obtained confirm the feasibility of using multicomponent microbial consortia to protect raspberry plants biologically and maintain soil 'health' in ecological farming systems. These data could be used to enhance biological plant protection systems for *R. idaeus* L. and to restore the microbiological balance of soils.

Trichoderma spp.; *Glomus* spp.; *Agrobacterium radiobacter*; rhizosphere; biocontrol of pathogens

REFERENCES

1. Ovcharuk V., Muliarchuk O., Stepanchenko V., Kozina T., Padalko T. (2025). Organic raspberry cultivation in Lviv region. *Scientific Horizons*, 28(2), 43-54. doi: 10.48077/scihor2.2025.43
2. Volkohon V.V. (2024). Znachennia mikroorganizmiv dlia zdorovia gruntiv ta optymizatsii formuvannia biotsenoziv. [The significance of microorganisms for soil health and optimization of the formation of biocenoses]. *Fiziologia roslin i henetyka*, [Plant physiology and genetics], 56(1), 3-26. doi: 10.15407/frg2024.01.003 (in Ukrainian).
3. Oszust K., Pylak M., Frac M. (2021). *Trichoderma*-based biopreparation with prebiotics supplementation for the naturalization of raspberry plant rhizosphere. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12), Article 6356. doi: 10.3390/ijms22126356
4. Robledo-Buritica J., Aristizabal-Loaiza J.C., Ceballos-Aguirre N., Cabra-Cendales T. (2018). Influence of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on blackberry (*Rubus glaucus* Benth. cv. thornless) growth under semi-cover and field conditions. *Acta Agronomica*, 67(2), 258-263. doi: 10.15446/acag.v67n2.62572
5. Sabluk V., Dymytrov S. (2020). Efekt symbiozu hrybiv i bakterii z korenevoi systemoiu prosa prutopodibnoho *Panicum virgatum* L. [The effect of fungi and bacteria symbiosis with switchgrass (*Panicum virgatum* L.) root system]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*, [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], (28), 173-181. doi: 10.47414/np.28.2020.211071 (in Ukrainian).
6. Giorgi V., Amicucci A., Landi L., Castelli I., Romanazzi G., Peroni C., ..., Neri D. (2024). Effect of bacteria inoculation on colonization of roots by *Tuber melanosporum* and growth of *Quercus ilex* seedlings. *Plants*, 13(2), Article 224. doi: 10.3390/plants13020224
7. Brown P.J.B., Chang J.H., Fuqua C. (2023). *Agrobacterium tumefaciens*: a transformative agent for fundamental insights into host-microbe interactions, genome biology, chemical signaling, and cell biology. *J Bacteriol*, Article 205(4):e0000523. doi: 10.1128/jb.00005-23
8. Zhang L., Li X., Zhang F., Wang G. (2014). Genomic analysis of *Agrobacterium radiobacter* DSM 30147(T) and emended description of *A. radiobacter* (Beijerinck and van Delden 1902) Conn 1942 (Approved Lists 1980) emend. Sawada et al. 1993. *Standards in genomic sciences*, 9(3), 574-584. doi: 10.4056/signs.4688352
9. Hryhorenko V. (2019). Zdatnist dykykh shtamiv *Agrobacterium* spp. do adhezii. [The ability of wild strains of *Agrobacterium* spp. to adhere]. *Zbirka materialiv naukovoho tovarystva studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh. Repozytarii naukovi biblioteki ONU imeni I.I. Mechnykova*, [A collection of materials from the scientific society of students, graduate students, and young scientists. Repository of the scientific library of Odesa I.I. Mechnikov National University], 15-17. <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/24686> (in Ukrainian).
10. Konup L., Pikovskiy M., Riabyi M., Konup A., Kyryk M. (2024). Crown gall of grapevine and prospects for its biological control. *Plant and Soil Science*, 15(3), 54-67. doi: 10.31548/plant3.2024.54
11. Bunas A., Tkach Ye. (2020). Vplyv mikroorganizmiv z funhitydynoi ta insektydynoi

diiamy na biolohichnu aktyvnist gruntu korenevoi zony kukurudzy. [Effect of microorganisms with fungicidal and insecticidal actions on biological activity of soil of root zone of maize]. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy, [Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine], 16(4). doi: 10.31548/dopovidi2020.04.005 (in Ukrainian).

12. Ostapenko V., Hradchenko S., Makovkin I. (2013). Stiikist perspektivnykh sortiv malyny (*Rubus idaeus* L.) proty osnovnykh khvorob zi steblovoiu formoiu proiavu [Resistance of raspberry promising varieties (*Rubus idaeus* L.) to main diseases of stem expression type]. Sortovvyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn, [Plant Varieties Studying and Protection], 2(19), 50-52. doi: 10.21498/2518-1017.2(19).2013.58559 (in Ukrainian).

13. Mineralova V., Parfeniuk A., Mineralov O. (2021). Phytopathogenic mycobioma in organic production of raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars J Jay and Himbo-Top. Plant and Soil Science, 12(1), 94-101. doi: 10.31548/agr2021.01.0094

14. Chabaniuk Ya., Zhmur O. (2025). Vplyv hrybiv-mikoryzoutvoriuvachiv i bakterialnykh endosymbiontiv na produktyvnist malyny v umovakh vodnoho stresu [The effect of mycorrhizal fungi and bacterial endosymbionts on the productivity of raspberry plants under water-stressed conditions]. Fitosanitarna bezpeka, [Phytopathology Safety], (71), 186-201. doi: 10.36495/PHSS.2025.71.186-201 (in Ukrainian).

15. Chabaniuk Ya., Zhmur O. (2025). Efekt symbiotrofnoi asotsiatsii hrybiv i bakterii z korenevoiu systemoiu malyny yevropeiskoi

(*Rubus idaeus* L.). [The effect of symbiotic association of fungi and bacteria with the root system of European raspberry *Rubus idaeus* L.]. Karantyn i zakhyst roslyn, [Quarantine and Plant Protection], 4(283), 19-25. doi: 10.36495/2312-0614.2025.4.19-25 (in Ukrainian).

16. Instytut ekspertyzy sortiv roslyn Ukrainy. (2018). Okhorona prav na sorty roslyn: Biulleten. [The plant variety rights protection Bulletin], (6), 185-186. <http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/220/218> (in Ukrainian).

17. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2006). Yakist gruntu. Laboratorni metody vyznachennia mikrobnogo dykhannia hruntu: DSTU ISO 16072:2005. (Chynnyi vid 2006-01-07, Natsionalnyi standart Ukrainy). Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 20 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [Laboratory methods for determination of microbial soil respiration : DSTU ISO 16072:2005. (Effective from 2006-01-07, National Standard of Ukraine)]. Kyiv. 20 s. (in Ukrainian).

18. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2004). Yakist gruntu. Vyznachennia gruntovoi mikrobnoi biomasy. Chastyna 1: metod substrat-stymulovanoho dykhannia: DSTU ISO 14240-1:2003. (Chynnyi vid 2004-01-07, Natsionalnyi standart Ukrainy). Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 8 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [Soil quality. Determination of soil microbial biomass. Part 1: Substrate-induced respiration method: DSTU ISO 14240-1:2003. (Effective from 2004-01-07, National Standard of Ukraine)]. Kyiv. 8 s. (in Ukrainian).

19. Minchev Z., Kostenko O., Soler R., Pozo MJ. (2021). Microbial Consortia for Effec-

tive Biocontrol of Root and Foliar Diseases in Tomato. Front. Plant Sci, Article 12:756368. doi: 10.3389/fpls.2021.756368

20. Verkhovna Rada Ukrainy. (1992). Konventsia pro okhoronu biolohichnoho riznomanittia. [Convention on Biological Diversity]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030#Text (in Ukrainian).

21. Oszust K., Frac M. (2021). First report on the microbial communities of the wild and planted raspberry rhizosphere — A statement on the taxa, processes and a new indicator of functional diversity. Ecological Indicators, 121, Article 107117. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107117

22. Zeng W., Xiang D., Li X., Gao Q., Chen Y., Wang K., ..., Xiang H. (2025). Effects of combined inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizosphere bacteria on seedling growth and rhizosphere microecology. Front Microbiol, Article 15:1475485. doi: 10.3389/fmicb.2024.1475485

23. Andriushchenko O., Strashnova I. (2023). Kharakterystyka predstavnykiv rodu *Fusarium*, shcho vyklykaiut zakhvoriuvannia zernovykh kultur. [Characteristics of representatives of the genus *Fusarium* causing cereal crops diseases]. Mikrobiolohiia i biotekhnolohiia, [Microbiology and biotechnology], (3), 37-59. doi: 10.18524/2307-4663.2023.3(59).293001 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 25.02.2026

Прийнята до друку: 04.05.2026

Надруковано й опубліковано онлайн:

червень 2026

Науково-виробничий журнал

КАРАНТИН і ЗАХИСТ РОСЛИН

Ми знаємо, як зберегти
врожай без шкоди
для себе й довкілля

Передплатний індекс —
74668