

tion. **Results.** All studied cultivars were evaluated as resistant to the common pathotype of the pathogen. Potato cultivars resistant to aggressive pathotypes were identified: — 11(M1) — Mizhhirya: Alverstone Russet, Euroviva, Cardima, Sunred, Tiger; — 13(R2) — Rakhiv: Alverstone Russet, Euroviva, Cardima, Corazon, Sunred, Triple 7; — 22(B1) — Bystrets: Alverstone Russet, Euroviva, Cardima, Sunred, Spectra. Only two

cultivars — Corazon and Tiger — were selected as resistant to the aggressive pathotype 18(Ya) — Yasynia. The potato cultivars Brook and Sensation were susceptible to all four aggressive pathotypes of the pathogen. **Conclusions.** The selection of potato cultivars resistant to D1 — the common pathotype of the wart pathogen — was the most effective. These cultivars have been included in the State Register of Plant Varieties Suitable

for Dissemination in Ukraine. Potato cultivars that showed a negative reaction to infection by aggressive pathotypes of the wart pathogen are recommended for use in disease-infested areas.

potato; wart disease; evaluation; selection; pathotypes; implementation

Надійшла до редакції: 27.03.2025

Прийнята до друку: 10.11.2025

Надруковано й опубліковано онлайн:
грудень 2025

УДК 634.711:632.937.15

© Я.В. Чабанюк, О.В. Жмур, 2025

DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2025.4.19-25>

ЕФЕКТ СИМБІОТРОФНОЇ АСОЦІАЦІЇ

грибів і бактерій з кореневою системою малини європейської (*Rubus idaeus* L.)

Мета. Дослідження ефективності симбіотичних взаємовідносин у системі «рослина малини (*Rubus* L.) — мікоризоутворювальні гриби *Trichoderma* spp., *Glomus* sp. та бактерії *Agrobacterium radiobacter*» за інокуляції у лабораторних контрольованих умовах. **Методи.** Аналітичний, лабораторний та статистичний. Дослідження проводили у 2023—2024 рр. у клімокамері ТОВ «Інститут Агробіології» за схемою, яка передбачала застосування інокуляції мікоризоутворювальними грибами із родів *Trichoderma* spp. та *Glomus* spp., а також нефітопатогенними бактеріями роду *Agrobacterium* за прикореневого їх внесення у ґрунт як окремо, так і у комбінаціях (11 дослідних варіантів + контроль). Використано сорт малини (*Rubus idaeus* L.) української селекції — Вогник. Штами мікоризоутворювальних грибів *Trichoderma viride* еко/103, *T. harzianum* еко/101 та *Glomus* sp. еко/104 отримано із колекції культур ТОВ «Інститут Агробіології» (діючі інгредієнти препаратів). Бактеріальні ендосимбіонти *A. radiobacter* були виділені прямо чи опосередковано авторами. **Результати.** Застосування інокуляції штамами мікоризоутворювальних грибів і бактерій *Trichoderma* spp., *Glomus* sp. та *A. radiobacter* як окремо, так і у комбінаціях, сприяє істотному покращенню основних біометричних показників підземної частини рослин малини *R. idaeus* L., зокрема щодо довжини та щільності корневих волосків, кількості бокових (латеральних) коренів,

^{1,2}**Я.В. ЧАБАНЮК,**
доктор сільськогосподарських наук

²**О.В. ЖМУР**

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

щільності їх мікоризації, а також морфолого-морфометричних параметрів коренів — товщини кори та ширини провідного циліндра коренів. Позитивний вплив різного ступеня вираженості щодо цільових показників після 60 діб вегетаційного періоду відзначено в усіх дослідних варіантах на тлі контролю. **Висновки.** Використання окремих та комбінованих інокуляцій мікоризоутворювальними грибами *Trichoderma* spp., *Glomus* sp. та бактеріями *Agrobacterium radiobacter* сприяє стимуляції морфо-анатомічних змін коренів та формуванню високого ступеня активності мікоризи *Rubus idaeus* L. Даний ефект симбіозу грибів і бактерій (особливо трикомпонентних мікробних консорціумів) з кореневою системою рослин малини *R. idaeus* L. зумовлений як синергічною дією мікроорганізмів у багатокомпонентній системі, так і їхнім взаємним впливом один на одного. Дані мають практичне значення для під-

вищення ефективності вирощування малини у закритому ґрунті.

***Trichoderma*, *Glomus*, *Agrobacterium*, *Rosaceae*, мікоризація, біометричні показники**

З метою зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення родючості ґрунту, на європейському та світовому рівнях прагнуть обмежити використання хімічних речовин для удобрення та захисту рослин. Це створює потребу у впровадженні інноваційних технологій вирощування рослин, здатних підвищити їхню стійкість до поширених патогенів і ефективність використання природних ґрунтових ресурсів (мінеральних елементів, води тощо).

За останнє десятиліття численні дослідження показали вплив органічних та традиційних систем на мікробіологічну динаміку ґрунту. Зокрема, мікоризні гриби відіграють важливу роль у забезпеченні поживного статусу молодих рослин на етапі розсадника та під час їхньої акліматизації. Крім того, вони забезпечують біозахисний ефект проти ґрунтових грибкових патогенів, оскільки деякі патогенні гриби вважаються ключовою причиною «втоми ґрунту», зокрема й у плодово-ягідних насадженнях [1].

Рід *Rubus* L., який належить до родини Rosaceae, складається з тисяч видів ожини та малини, що вирощуються у всьому світі. В останні роки спостерігається зростання популярності споживання свіжих ягід *Rubus* у світі, що зумовлено, як зазначають вчені [2], наявністю споживачів з вищою освітою, вищими доходами та більшою свідомістю щодо піклування про своє здоров'я. Малина звичайна (*Rubus idaeus* L.) є економічно важливою культурою в Україні, ягоди якої високо цінуються за свої смакові та лікувальні властивості. Вирощування малини є значним сегментом сільського господарства в Україні. Найбільший попит наразі спостерігається на малину, вирощену за принципами органічного землеробства. Проблема впливу систем захисту та удобрення на врожайність та якість малини, як стверджують дослідники [3], продовжує залишатися ключовим питанням в органічному землеробстві в Україні. Саме тому, задля забезпечення стабільних врожаїв необхідно використовувати оптимальну систему удобрення культури.

Мікоризоутворювальні гриби, особливо арбускулярні мікоризні гриби (АМГ) роду *Glomus* Tul. & C. Tul. 1845 (Glomeromycota) та сапрофітні ґрунтові гриби роду *Trichoderma* Pers. (1801) (Ascomycota) давно розглядаються як перспективні компоненти біотизації кореневих систем ягідних культур завдяки їхній здатності покращувати поживний статус рослин, підвищувати стійкість до абіотичного і біотичного стресу та сприяти росту й розвитку кореневої системи [4].

У дослідженні китайських та американських вчених [5], застосування п'яти біоінокулянтів з різним складом видів АМГ (*Glomus* spp., *Gigaspora* spp., *Paraglomus* spp., *Rhizophagus* spp.) та трьома джерелами добрив на розсаді малини у теплиці, через 14 тижнів показало позитивний вплив на поглинання фосфору та води, збільшення вегетативної маси та підвищення врожайності за умов як органічного, так і традиційного удобрення.

Болгарські дослідники [6] зазначають, що у виноградниках, мікоризна інокуляція лоз пропонується як біотехнологічна альтернатива традиційним підходам для контролю ґрунтових хвороб та підтримки росту й здоров'я рослин. Їх результати досліджень демонструють позитивний вплив *Glomus* spp. та *Trichoderma* spp. на ріст і здоров'я винограду, ефективність поглинання поживних речовин, підвищення родючості ґрунту та загальну екологічну стабільність виноградників.

Загальновідомо, що зазвичай виробляють багатокомпонентні інокулянти з ефективними мікроорганізмами, а не ті, що містять лише один штам грибів чи бактерій. Спільна інокуляція мікоризоутворювальними грибами та бактеріями може значно стимулювати ріст і розвиток сільськогосподарських рослин, у т. ч. ягідних культур [7]. Даний вплив зумовлений як синергічною дією обох мікроорганізмів у багатокомпонентній системі, так і їхнім взаємним впливом один на одного. Проте механізми, що лежать в основі цих взаємодій, залишаються ще недостатньо вивченими [8].

За даними українських вчених [9], застосування мікоризоутворювальних грибів (*Trichoderma harzianum* Rifai. та *Tuber melanosporum* Vittad., препарати Мікофренд та Міковітал) та бактерій із азотфіксуючими та фосфатмобілізуючими властивостями (*Bacillus subtilis* Cohn., препарат Флоробацилін) позитивно впливає на ріст і продуктивність проса прутноподібного (*Panicum virgatum* L.). У варіантах із *T. harzianum* Rifai., *T. melanosporum* Vittad. та *B. subtilis* Cohn. площа листової поверхні, маса листків і коренів, а також висота рослин протягом 30–120 днів вегетації перевищувала контроль. Водночас підвищувалась вологотримувальна здатність ґрунту та зменшувалась частка дрібних агрегатів (<0,25 мм).

Інше дослідження [10], у якому оцінювали швидкість колонізації кінчиків коренів саджанців *Quercus ilex* L. ектомікоризним аскоміцетом *T. melanosporum* під

дією трьох бактеріальних агентів, показало, що за чотири місяці після спільної інокуляції у варіанті з *Pseudomonas* sp. швидкість колонізації була у 2,5 раза вищою, ніж у саджанців, інокульованих лише *T. melanosporum*. Така ж інокуляція спричинила зменшення росту рослин як надземної, так і кореневої частин. Водночас колонізація ектомікоризних грибів у поєднанні з бактеріями *Bradyrhizobium* sp. та *Pseudomonas* sp. + *Bradyrhizobium* sp. зменшила відносну щільність мичкуватих коренів (поглинання поживних речовин).

Одним із найбільш популярних ефективних мікроорганізмів, що використовують у інокулянтах, є бактерії з роду *Agrobacterium* Conn, 1942 (Rhizobiaceae). Представники роду *Agrobacterium* spp. належать до групи α -протеобактерій, філогенетично споріднених із ризобіями, що утворюють асоціації з рослинами. Серед них відомі як патогенні види, що індукують короноподібні пухлини (*crown gall*) та волосистокореневу хворобу (*hairy root*), так і авірулентні штами. Найбільш детально дослідженим є *A. tumefaciens* (Smith et Townsend 1907) Conn 1942 — збудник бактеріального раку, неопластичного захворювання, поширеного серед широкого спектра рослин-хазяїв, вірулентність якого зумовлюється наявністю великих плазмід, зокрема пухлинно-індукуючої (Ti — tumorigenic) плазмиди, яка забезпечує здатність бактерії до трансферу генетичного матеріалу в клітини рослин [11]. Завдяки цій унікальній властивості *A. tumefaciens* посідає центральне місце у сучасній рослинній біотехнології, як універсальний інструмент генної трансформації, та водночас розглядається як модельний об'єкт для досліджень взаємодії «хазяїн — мікроорганізм», горизонтального переносу генів, міжклітинної сигналізації та формування біоплівки [12].

Вид *Agrobacterium radiobacter* (Beijerinck and van Delden 1902) Conn 1942 — авірулентний родич *A. tumefaciens*, не містить

Ті-плазмід й не викликає пухлинних захворювань у рослин. Натомість він проявляє виражені антагоністичні властивості щодо патогенних штамів, зокрема завдяки конкуренції за місце прикріплення, утворенню біоплівки та синтезу антимікробних метаболітів. Ці особливості роблять *A. radiobacter* перспективним агентом біоконтролю, здатним ефективно пригнічувати розвиток бактеріального раку (*crown gall*) та інших «агробактеріальних» хвороб [13].

Отже, мікориза як форма симбіотичних взаємин між грибами і вищими рослинами, має фундаментальне значення для росту і розвитку останніх. У багатьох культурах, зокрема й плодово-ягідних, ефективність симбіозу з мікоризними грибами зумовлює як біотичну стійкість, так і продуктивність рослин. У випадку *Rubus idaeus* L., потенціал використання мікоризоутворювальних грибів, а також бактеріальних симбіонтів для підвищення ефективності вирощування, ще не повністю реалізований на локальному рівні, що й зумовило мету дослідження.

Мета дослідження — оцінити вплив інокуляції мікоризоутворювальними грибами — *Trichoderma viride* Persoon, 1794, *T. harzianum* Rifai, 1969 (Нуротеасеае), *Glomus* sp. Tul. & C. Tul. 1845 (Glomeromycota) та бактеріями *Agrobacterium radiobacter* (Rhizobiaceae), їх комбінаціями на біометричні та анатомо-морфологічні параметри кореневої системи, а також симбіотичний ефект грибів та бактерій щодо мікоризації малини європейської *Rubus idaeus* L. (Rosaceae) у лабораторних контрольованих умовах.

Матеріали і методи. Дослідження проводили у кліматичній кімнаті (з регульованим контролем температури, вологості повітря та світлового дня) на базі ТОВ «Інститут Агробіології» впродовж весняно-літнього періоду 2023—2024 рр. В експерименті використано дворічні саджанці малини універсального призначення сорту Вогник (оригінація — Інститут помології

ім. Л.П. Симиренка Національної академії аграрних наук України).

Сорт Вогник характеризується урожайністю 180,0 ц/га, середній урожай з одного куща становить 4,1 кг, а середня маса плоду — 3,6 г. У плодах вміст вітаміну С — на рівні 20,0 мг%, загального цукру — 10,9%, сухої речовини — 16,0%, при загальній кислотності 1,4%. Рослини відзначаються підвищеною адаптивністю. Стійкість до посухи становить 7 балів за дев'ятибальною шкалою. Високий рівень стійкості і до основних грибних хвороб: антракнозу, білої плямистості та іржі (по 9 балів), до пурпурової плямистості — 7 балів. Стійкість до пошкодження малиновим довгоносоком і попелицями оцінена на рівні 7 балів. За зимостійкістю сорт демонструє максимальні показники (9 балів), ступінь підмерзання — лише 1 бал, вимерзання квіткових бруньок також відзначено на рівні 1 бала. Сорт має універсальний напрям використання, характеризується доброю транспортабельністю (7 балів) і середніми строками досягання. Схема садіння рекомендована 3,00 × 0,75 м. Дегустайна оцінка свіжих ягід становить 8,5 бала. За географічними та зональними умовами сорт рекомендовано для використання в зоні Лісостепу та Полісся [14].

Саджанці вирощували у 5-літрових горщиках, заповнених субстратом на основі торфу та річкового піску (2:1), рН 6,2—6,4. Усі рослини перед висаджуванням пройшли візуальну перевірку на відсутність ознак хвороб і пошкоджень. Інокуляцію здійснювали згідно зі схемою до сліду — 12 варіантів, які включали як окреме, так і комбіноване внесення грибних і бактеріальних культур. У кожному варіанті було по 5 рослин. Інокуляцію здійснювали одноразово під час висаджування саджанців рослин за наступною схемою:

1. Контроль (дистильована вода);
2. *Trichoderma viride* (суспензія конідій 50 мл під кожен рослину);
3. *Trichoderma harzianum* (50 мл суспензії спор під рослину);

4. *Glomus* sp. (додавання 20 г носія зі спорами в ґрунт при висаджуванні);
5. *Agrobacterium radiobacter* (полив 50 мл бактеріальної суспензії навколо кореня);
6. *T. viride* + *Glomus* sp.;
7. *T. harzianum* + *Glomus* sp.;
8. *T. viride* + *A. radiobacter*;
9. *T. harzianum* + *A. radiobacter*;
10. *Glomus* sp. + *A. radiobacter*;
11. *T. viride* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter*;
12. *T. harzianum* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter*.

Аборигенні штами мікоризоутворювальних грибів (*Trichoderma viride* eko/103, *T. harzianum* eko/101 та *Glomus* sp. eko/104) отримано із колекції культур ТОВ «Інститут Агробіології» (діючі інгредієнти препаратів). Інші бактеріальні ендосимбіонти (*A. radiobacter*), використані у дослідженні, були виділені прямо чи опосередковано авторами. Параметри, що визначалися через 60 діб після інокуляції: довжина та щільність кореневих волосків; кількість бокових (латеральних) коренів; щільність мікоризації (% довжини коренів з арбускулами/везикулами чи гіфами); товщина кори та ширина провідного циліндра.

Кількість латеральних коренів визначали як число коренів першого порядку, що відходять від головного стрижневого кореня на відрізок 5 см від кореневої шийки. Довжину та щільність кореневих волосків визначали, використовуючи офіційний опис сорту [15], та дані дослідників [16]. Ступінь мікоризації визначали візуально за відповідною шкалою [17] (зі змінами [18]). Для мікроскопічного анатомічного аналізу стану гістоструктури малини застосовували загальноприйняті методики [19], забарвлювали трипаном блакитним [20]. Морфометричні дослідження гістологічних препаратів проводили на світлооптичному мікроскопі MICROmed Evolution LUM LS-8530 (Китай) із використанням системи аналізу зображень TouView 3.7 (for Digital Camera). Фотографували об'єкти за допомогою цифрової камери для мік-

роскопа SIGETA MCMOS5100 5.1MP USB2.0 (Китай).

Статистичну обробку первинних даних здійснювали методами описової та варіаційної статистики, застосовуючи програми обробки даних «IBM SPSS Statistics (v.23.0)» та «Microsoft Excel 2016». Для опису загальних кількісних закономірностей використовували міри центральної тенденції та варіації — вираховування середнього арифметичного (M) та стандартного (m) відхилення. Аналіз тенденцій щодо змін цільових параметрів на культурі малини у відповідних порівнюваних варіантах здійснювали за допомогою багатofакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), порогом статистичної значущості визнали загальноприйнятний рівень 5% (або $p \leq 0,05$).

Результати та обговорення.

Результати дослідження свідчать, що інокуляція рослин *Rubus idaeus* L. мікоризоутворювальними грибами з родів *Trichoderma* spp., *Glomus* sp., а також нефітопатогенними бактеріями роду *Agrobacterium* (рис. 1), сприяла достовірному покращенню ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$) біометричних параметрів кореневої системи у порівнянні з контролем (табл. 1). Зміни були зафіксовані як за окремого внесення, так і комбінованого використання інокулянтів із вище зазначеними біоагентами, що свідчить про активну участь цих мікроорганізмів у стимуляції росту кореневої системи.

У варіантах із інокуляцією монокультурами — *T. viride* та *T. harzianum* спостерігалось помірне, проте статистично достовірне збільшення довжини кореневих волосків (на 37,5—50,0%), щільності кореневих волосків (на 44,2—55,1%) та кількості латеральних коренів (на 26,6—39,1%). Разом з тим, інокуляція грибами *Glomus* sp. забезпечила значно вищі показники, зокрема приріст довжини кореневих волосків досяг +68,7%, щільність кореневих волосків збільшилась на 61,5%, а кількість латеральних коренів — на 60,9% порівняно з контролем. У варіанті із застосуванням бактерій *A. radiobacter* спостерігалось

менш виражене покращення параметрів — приріст по довжині волосків, щільності кореневих волосків та кількості латеральних коренів становив: 43,7%, 39,4 та 32,8%, відповідно (табл. 1).

Найвиразніші зміни зафіксовано у варіантах з комбінованою інокуляцією. При застосуванні інокуляції у тандемі (*Trichoderma* + *Glomus* / *Agrobacterium*; *Glomus* + *Agrobacterium*) довжина кореневих волосків варіювала від 85,4% до 129,1%, щільність кореневих волосків — 50,3—72,5%, а кількість латеральних коренів фіксувалась у межах від 57,8 до 90,6% (див. табл. 1). За внесення тернарної композиції *T. harzianum* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter* довжина кореневих волосків зроста на 175,0%, щільність кореневих волосків — на 90,3%, а кількість латеральних коренів — на 106,2%. Аналогічна тенденція спостерігалась й у іншому комбінованому варіанті *T. viride* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter*, де прирости щодо цільових показників становили відповідно: 160,4%, 84,3 та 103,1% (див. табл. 1).

Зростання наведених біометричних показників рослин *R. idaeus* L. у варіантах із застосуванням представників роду *Trichoderma* пояснюється їхньою здатністю виділяти фітогормоноподібні сполуки (ауксиноподібні речовини, цитокиніни), які активують поділ і розтяг клітин, а також сприяють формуванню додаткових кореневих структур [21]. У варіанті із застосуванням *Glomus* sp. даний ефект пов'язаний із формуванням арбускулярної мікоризи, яка покращує мінеральне живлення рослини, зокрема фосфором, а також водоутримувальні властивості коренів. Це сприяє посиленню меристематичної активності кореневих клітин [22]. Щодо варіанту із застосуванням *A. radiobacter*, то такий ефект пов'язаний із відомою здатністю цього виду бактерій продукувати біологічно активні речовини, зокрема індоліл-оцтову кислоту, а також брати участь у формуванні більш сприятливого мікробного середовища біля ризосфери [13]. Разом з тим, одержані ре-

зультати свідчать про виражений синергізм між компонентами симбіотичної системи. Зокрема, *Trichoderma* spp. та *A. radiobacter*, як свідчать дослідження [23], можуть сприяти більш активному колонізуванню коренів грибами *Glomus* sp., а останні, у свою чергу, значно підвищують ефективність поглинання елементів живлення, що сумарно стимулює розвиток підземної частини рослин.

Водночас, визначали ступінь мікоризації коренів *R. idaeus* L.

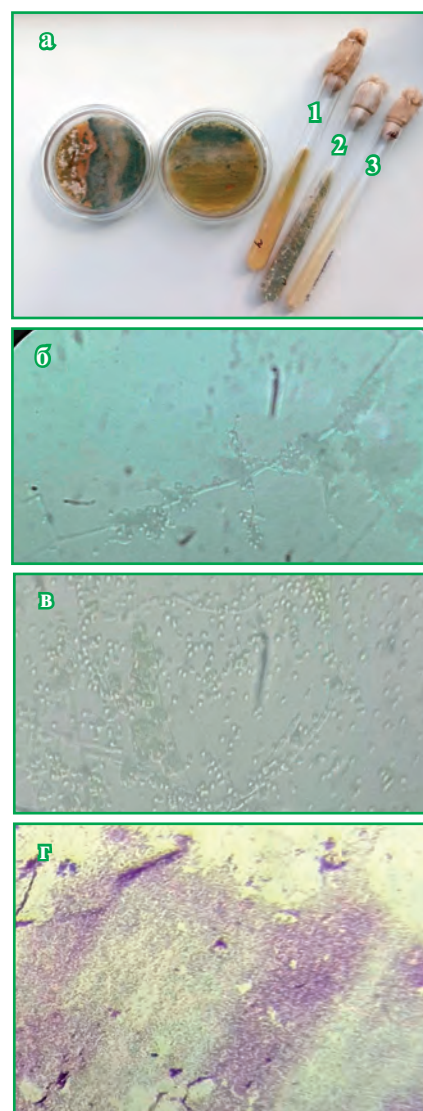


Рис. 1. Мікоризоутворювальні гриби та бактерії, використані у дослідженні (із колекції культур ТОВ «Інститут Агробіології»):

а — колонії мікоризоутворювальних грибів та бактерій за культивування на твердих агарних середовищах (1 — *Trichoderma harzianum*; 2 — *Trichoderma viride*; 3 — *Agrobacterium radiobacter*). Білі ділянки не містять спор (конідій), зелені ділянки вкриті щільними покривом спор; б — морфологія *T. harzianum*; в — морфологія *T. viride*; г — морфологія *A. radiobacter*; б, в, г — об. 16 \times , ок. 10 \times . Джерело: розроблено авторами.

за застосування мікоризоутворювальних грибів, бактерій та їхніх комбінацій (табл. 2, рис. 2). У контрольному варіанті, де інокуляція симбіотичними мікроорганізмами не проводилась, мікоризація була відсутня (клас 1), або відсоток мікоризації був мінімальним (< 2%, клас 2). Остання проявлялась у вигляді поодиноких, слабко розвинених гіф у міжклітинних просторах, що, ймовірно, пояснюється наявністю у субстраті поодиноких спор арбускулярних мікоризних грибів, які могли потрапити випадково з частинками ґрунту або з первинним посадковим матеріалом.

Інокуляція *Glomus* sp. призвела до суттєвого підвищення рівня мікоризації коренів (> 40%, клас 4), що свідчить про високу інфекційну активність спор та ефективне утворення арбускул і везикул у кореневій корі. Такий результат узгоджується з літературними даними [22], де представники *Glomus* демонструють швидку колонізацію у культур ягідних рослин, особливо в умовах оптимальної вологості та температури. Варіанти із *Trichoderma* spp. мали помірний рівень мікоризації (< 20%, 4 клас), що можна пояснити непрямим впливом цього роду грибів: *Trichoderma* не є класичним арбускулярним мікоризоутворювачем, проте стимулює розвиток кореневої системи та може активувати латентні форми мікоризних грибів, уже присутніх у середовищі [1]. Їхній ефект у цьому випадку опосередкований і більше пов'язаний зі стимуляцією росту та підвищенням доступності поживних елементів. Інокуляція *A. radiobacter* не призводила до формування мікоризних структур (відсоток колонізації був на рівні контролю або лише незначно вищий), адже ці бактерії виконують інші функції — зокрема, індують системну резистентність та покращують засвоєння мінеральних елементів [24]. Найвищий рівень мікоризації спостерігався при комбінованій інокуляції *Trichoderma* spp. + *Glomus* spp. (> 50%, клас 5), та *Trichoderma* spp. + *Glomus* spp.

1. Біометричні показники кореневої системи *R. idaeus* L. за застосування мікоризоутворювальних грибів (*Trichoderma* spp., *Glomus* sp.), бактерій (*Agrobacterium*), та їхніх комбінацій

№ з/п	Варіант	Довжина кореневих волосків, мм	± до К, %	Щільність кореневих волосків, см ⁻¹	± до К, %	Кількість латеральних коренів, шт.	± до К, %
1	Контроль	0,48 ± 0,02	–	102,3 ± 5,4	–	6,4 ± 0,4	–
2	Tv	0,66 ± 0,03*	+37,5	158,7 ± 6,2 **	+55,1	8,1 ± 0,3*	+26,6
3	Th	0,72 ± 0,04*	+50,0	147,5 ± 5,9 *	+44,2	8,9 ± 0,4*	+39,1
4	Gl	0,81 ± 0,03**	+68,7	165,2 ± 7,1 **	+61,5	10,3 ± 0,5**	+60,9
5	Ar	0,69 ± 0,02*	+43,7	142,6 ± 6,0 *	+39,4	8,5 ± 0,4*	+32,8
6	Tv + Gl	1,02 ± 0,04**	+112,5	176,4 ± 7,3 **	+72,5	11,8 ± 0,6**	+84,4
7	Th + Gl	1,10 ± 0,05**	+129,1	182,1 ± 8,0 **	+78,0	12,1 ± 0,5**	+89,1
8	Tv + Ar	0,89 ± 0,03**	+85,4	171,2 ± 7,5 **	+67,3	10,1 ± 0,4**	+57,8
9	Th + Ar	0,91 ± 0,02**	+89,5	153,8 ± 6,7 *	+50,3	10,4 ± 0,3**	+62,5
10	Gl + Ar	1,08 ± 0,04**	+125,0	166,9 ± 7,2 **	+63,1	12,2 ± 0,5**	+90,6
11	Tv + Gl + Ar	1,25 ± 0,04**	+160,4	188,5 ± 8,3 **	+84,3	13,0 ± 0,6**	+103,1
12	Th + Gl + Ar	1,32 ± 0,04**	+175,0	194,7 ± 8,5 **	+90,3	13,2 ± 0,5**	+106,2

Примітки: дані подано у формі $M \pm m$; * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$ (у порівнянні з контролем).
Умовні позначення: К — контроль; Tv — *Trichoderma viride*; Th — *Trichoderma harzianum*; Gl — *Glomus* spp.; Ar — *Agrobacterium radiobacter*

+ *A. radiobacter* (> 60%, клас 5). Ймовірно, біоагенти *Trichoderma* spp. і *A. radiobacter* посилювали колонізацію *Glomus* sp. за рахунок синергічної дії: перші — завдяки стимуляції росту коренів, другі — через покращення мінерального живлення та активацію імунітету рослин [25].

Отримані результати вказують, що максимальна ефективність стосовно розвитку мікоризних структур досягається саме при поєднанні облигатних арбускулярних мікоризних грибів (*Glomus* sp.) із додатковими мікробними партнерами, які створюють сприятливі

умови для швидкої та стабільної колонізації.

У той же час, проаналізовано морфолого-анатомічну характеристику основних структур кореня *R. idaeus* L. за застосування мікоризоутворювальних грибів, бактерій та їхніх комбінацій (табл. 3).

У контрольному варіанті морфологічна будова кореневої системи характеризувалася пухкою паренхімою кори з тонкими клітинними стінками та недостатньо диференційованими провідними пучками. Інокуляція *Glomus* sp., як було зазначено вище, спричинила формування характерних

2. Ступінь мікоризації коренів *Rubus idaeus* L. за застосування мікоризоутворювальних грибів, бактерій та їхніх комбінацій

№ з/п	Варіант	*Щільність мікоризації, %	*Клас інтенсивності колонізації коренів	Мікоризні структури, +/-
1	Контроль	2,0 ± 0,5	1	– (поодинокі сліди)
2	Tv	15,6 ± 1,5	4	Гіфи
3	Th	17,8 ± 1,6	4	Гіфи
4	Gl	42,1 ± 1,8	4	Арбускули/везикули
5	Ar	2,5 ± 0,5	1	– (незначні поодинокі сліди)
6	Tv + Gl	56,2 ± 2,0	5	Арбускули/везикули
7	Th + Gl	59,4 ± 1,9	5	+
8	Tv + Ar	28,7 ± 1,6	4	±
9	Th + Ar	31,2 ± 1,7	4	±
10	Gl + Ar	61,8 ± 2,3	5	Арбускули/везикули
11	Tv + Gl + Ar	65,9 ± 2,2	5	Арбускули/везикули
12	Th + Gl + Ar	68,5 ± 2,1	5	Арбускули/везикули

Примітки: # — дані подано у формі $M \pm m$; * — згідно з візуальною оцінкою за шкалою [17] (зі змінами за [18]).
Умовні позначення: Tv — *Trichoderma viride*; Th — *Trichoderma harzianum*; Gl — *Glomus* sp.; Ar — *Agrobacterium radiobacter*

мікоризних структур — численних арбускул і везикул у клітинах кори, при цьому спостерігалось ущільнення клітинних стінок паренхіми, а провідні пучки демонстрували більший діаметр ксилемних судин у порівнянні з контрольними рослинами (+50%), що може свідчити про покращену водопровідну здатність кореня (табл. 3). Інокуляція різними штамами *Trichoderma* spp. не призвела до утворення класичних мікоризних структур, але сприяла потовщенню епідермісу і формуванню

більш щільної корої паренхіми, товщина кори та ширина осьового (провідного) циліндра у порівнянні з контролем зростала на 19,3–24,6% та 14,6–18,8% відповідно. У міжклітинних просторах часто виявлялися гіфи *Trichoderma*, що розташовувалися переважно поверхнево, іноді проникаючи в зовнішні шари кори. Внутрішня анатомічна структура у варіанті із інокуляцією *Agrobacterium radiobacter* суттєво не змінювалась, показники щодо основних елементів були найнижчими серед дослідних варіантів (див. табл. 3). Комбінована інокуляція *Glomus* sp. + *Trichoderma* spp. показала найвираженіші анатомічні зміни — відзначалося значне потовщення корої паренхіми, щільне розта-

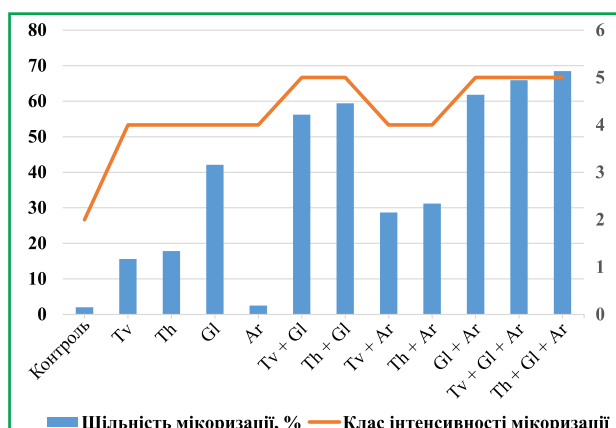


Рис. 2. Ступінь мікоризації коренів *R. idaeus* L. за застосування мікоризоутворювальних грибів, бактерій та їхніх комбінацій

шування клітин та добре розвинених провідних пучків, товщина кори та ширина провідного циліндра залежно від варіанту зростала на: 78,9–85,9% та 68,7–75,0% відповідно (див. табл. 3). Ці ознаки вказують на синергію між грибами. *Glomus* забезпечував симбіоз і живлення, тоді як *Trichoderma* покращував кореневий морфогенез. Щодо комбінації *Glomus* sp. + *A. radiobacter*, то тут спостерігалось краще формування ксилемних елементів, товщина кори та ширина провідного циліндра становила 92,9% та 79,1% відповідно. Максимальний приріст показників зафіксовано серед двох комбінованих варіантів *Trichoderma* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter*, де прирости у порівнянні з контролем становили: >110% щодо товщини

кори, та >90% відносно ширини провідного циліндра (див. табл. 3).

ВИСНОВКИ

Одержані дані стосовно біометричних та морфо-анатомічних змін підтверджують, що поєднання арбускулярних мікоризних грибів із стимулюючими мікроорганізмами (як грибного, так і бактеріального походження) є найбільш ефективним підходом для інтенсифікації росту й функціонування

кореневої системи *R. idaeus* L. Комбіновані варіанти інокуляції дали значно вищі показники по всіх параметрах кореневої системи малини, та формування високого ступеня активності мікоризації, особливо варіанти з *Glomus* sp. Найвищі показники досягнуто при комплексній тернарній інокуляції *T. harzianum* + *Glomus* sp. + *A. radiobacter*, що вказує на їхню синергічну дію. Встановлено, що роль бактерій *Agrobacterium* при колонізації ендомікоризними грибами *Glomus* / *Trichoderma* впливає як на ступінь мікоризного симбіозу, так і на процеси розвитку коренів рослин, що є важливим, зокрема, для поліпшення якості саджанців малини, вирощених у комерційних розсадниках.

Результати досліджень можуть бути використані у сільськогосподарській практиці (у комерційних розсадниках) при вирощуванні *Rubus idaeus* L., а також покладені в основу для розробки нових біоінокулянтів в органічному ягідництві, особливо в умовах закритого ґрунту.

Пропозиції щодо подальших досліджень. Провести польові випробування з використанням трикомпонентних консорціумів, щоб оцінити їхню ефективність та стабільність у природних умовах, особливо в умовах стресу (посуха, дефіцит поживних речовин тощо).

Фінансування. Це дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

3. Морфолого-анатомічна характеристика структур кореня *Rubus idaeus* L. за застосування мікоризоутворювальних грибів, бактерій та їхніх комбінацій

№ з/п	Варіант	Товщина кори, мм	± до К, %	Ширина провідного циліндра, мм	± до К, %
1	Контроль	57 ± 3	–	48 ± 2	–
2	Tv	68 ± 4*	+19,3	55 ± 3*	+14,6
3	Th	71 ± 3*	+24,6	57 ± 3*	+18,8
4	Gl	91 ± 4**	+59,6	72 ± 3**	+50,0
5	Ar	65 ± 3*	+14,0	54 ± 2*	+12,5
6	Tv + Gl	102 ± 5**	+78,9	81 ± 4**	+68,7
7	Th + Gl	106 ± 5**	+85,9	84 ± 3**	+75,0
8	Tv + Ar	84 ± 3**	+47,4	68 ± 2**	+41,7
9	Th + Ar	86 ± 3**	+50,9	69 ± 3**	+43,8
10	Gl + Ar	110 ± 5**	+92,9	86 ± 3**	+79,1
11	Tv + Gl + Ar	121 ± 5**	+112,3	91 ± 4**	+89,5
12	Th + Gl + Ar	125 ± 5**	+119,3	95 ± 4**	+97,9

Примітки: дані подано у формі: $M \pm m$; * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$ (у порівнянні з контролем).

Умовні позначення: К — контроль; Tv — *Trichoderma viride*; Th — *Trichoderma harzianum*; Gl — *Glomus* sp.; Ar — *Agrobacterium radiobacter*

Конфлікт інтересів. Автори декларують про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

- Oszust K., Pylak M., Frac M. *Trichoderma*-based biopreparation with prebiotics supplementation for the naturalization of raspberry plant rhizosphere. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22(12). Article 6356. doi: 10.3390/ijms22126356
- Schulz M., Chim J. F. Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries. *Food Bioscience*. 2019. Vol. 31. Article 100438. doi: 10.1016/j.fbio.2019.100438
- Ovcharuk V., Muliarchuk O., Stepanchenko V. et al. Organic raspberry cultivation in Lviv region. *Scientific Horizons*. 2025. Vol. 28(2). P. 43-54. doi: 10.48077/scihor.2025.43
- Kim M. R., Bernard F. R. *Glomus*. In N. Amaran, M. Senthil Kumar, K. Annapurna, Krishna Kumar, & A. Sankaranarayanan (Eds.), *Beneficial Microbes in Agro-Ecology*. Academic Press. 2020. P. 561-569. doi: 10.1016/B978-0-12-823414-3.00027-7
- Guzman-Guzman P., Kumar A., de Los Santos-Villalobos S. et al. *Trichoderma* species: our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases — A Review. *Plants*. 2023. Vol. 12(3). Article 432. doi: 10.3390/plants12030432
- Lu Q., Bunn R., Whitney E. et al. Arbuscular mycorrhizae influence raspberry growth and soil fertility under conventional and organic fertilization. *Frontiers in microbiology*. 2023. 14. Article 1083319. doi: 10.3389/fmicb.2023.1083319
- Tsvetkov I., Dzhabazova T., Kondakova V., Batchvarova R. Mycorrhizal fungi *Glomus* spp. and *Trichoderma* spp. in viticulture (review). *Bulg. J. Agric. Sci.* 2014. 20(4). P. 849-855. https://www.agrojournal.org/20/04-19.pdf
- Robledo-Buritica J., Aristizabal-Loaiza J.C., Ceballos-Aguirre N., Cabra-Cendales T. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on blackberry (*Rubus glaucus* Benth. cv. thornless) growth under semi-cover and field conditions. *Acta Agronómica*. 2018. 67(2). P. 258-263. doi: 10.15446/acag.v67n2.62572
- Дацько О.М., Бакуменко О.М., Гордієнко В.В. Ефект інокуляції на вирощування кукурудзи та покращення здоров'я ґрунту. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 139. С. 62-71. doi: 10.32782/2226-0099.2024.139.1.9
- Саблук В., Дмитров С. Ефект симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою проса прутноподібного *Panicum virgatum* L. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. № 28. С. 173-181. doi: 10.47414/np.28.2020.211071
- Giorgi V., Amicucci A., Landi L. et al. Effect of bacteria inoculation on colonization of roots by *Tuber melanosporum* and growth of *Quercus ilex* seedlings. *Plants*. 2024. 13(2). Article 224. doi: 10.3390/plants13020224
- Brown P.J.B., Chang J.H., Fuqua C. *Agrobacterium tumefaciens*: a transformative agent for fundamental insights into host-microbe interactions, genome biology, chemical signaling, and cell biology. *J Bacteriol*. 2023. Article 205(4):e0000523. doi: 10.1128/jb.00005-23
- Zhang L., Li X., Zhang F., Wang G. 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*. 2014. Vol. 9(3). P. 574-584. doi: 10.4056/sigs.4688352
- Konup L., Pikovskiy M., Riabyi M. et al. Crown gall of grapevine and prospects for its biological control. *Plant and Soil Science*. 2024. 158(3). P. 54-67. doi: 10.31548/plant3.2024.54
- Інститут експертизи сортів рослин України. Охорона прав на сорти рослин: Бюлетень. 2018. № 6. С. 185-186. http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/220/218
- Saengwilai P., Strock C., Rangarajan H. et al. Root hair phenotypes influence nitrogen acquisition in maize. *Annals of Botany*. 2021. 128(7). P. 849-858. doi: 10.1093/aob/mcab104
- Pietrzyk P., Phan-Udom N., Chutote C. DIRT/μ: automated extraction of root hair traits using combinatorial optimization. *Journal of Experimental Botany*. 2025. 76(2). P. 285-298. doi: 10.1093/jxb/erae385
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazzi (Eds.), *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, INRA. Paris. 1986. P. 217-221.
- Sciascia I., Crosino A., Genre A. Quantifying root colonization by a symbiotic fungus using automated image segmentation and machine learning approaches. *Sci Rep*. 2023. Vol. 13. Article 14830. doi: 10.1038/s41598-023-39217-z
- Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 2003. 51(4). P. 335-380. doi: 10.1071/BT02124
- Phillips J.M., Hayman D.A. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 1970. Vol. 55. P. 158-161. doi: 10.1016/S0007-1536(70)80110-3
- Guzman-Guzman P., Etesami H., Santoyo G. *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. *BMC Microbiol*. 2025. 25(1). Article 434. doi: 10.1186/s12866-025-04158-2
- Ouhaddou R., Anli M., Ben-Laouane R. et al. The importance of the *Glomus* genus as a potential candidate for sustainable agriculture under arid environments: A review. *International Journal of Plant Biology*. 2025. 16(1). Article 32. doi: 10.3390/ijpb16010032
- Guo H., Glaeser S.P., Alabid I. et al. The abundance of endofungal bacterium *Rhizobium radiobacter* (syn. *Agrobacterium umefaciens*) increases in its fungal host *Piriformospora indica* during the tripartite sebacinean symbiosis with higher plants. *Front. Microbiol*. 2017. Vol. 8. Article 629. doi: 10.3389/fmicb.2017.00629
- Matrood A.A.A., Khriebe M.I., Okon O.G. Synergistic interaction of *Glomus mosseae* T. and *Trichoderma harzianum* R. in the induction of systemic resistance of *Cucumis sativus* L. to *Alternaria alternata* (Fr.) K. *Plant Sci. Today*. 2020. 7(1). P. 101-108. doi: 10.14719/pst.2020.7.1.629

^{1,2}Chabaniuk Ya.,

ORCID: 0009-0006-4541-5404

²Zhmur O.,

ORCID: 0000-0002-1327-978X

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

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

**The effect of symbiotic association
of fungi and bacteria with the root**

**system of European raspberry
Rubus idaeus L.**

Goal. To study the effectiveness of symbiotic relationships in the «raspberry plant (*Rubus* L.) — mycorrhizal fungi (*Trichoderma* spp., *Glomus* sp.) — bacteria (*Agrobacterium radiobacter*)» system during inoculation under controlled laboratory conditions. **Methods.** Analytical, laboratory and statistical. The study was conducted in the climate chamber of the «Institute of Agrobiology» LLC from 2023 to 2024, according to a scheme involving inoculation with mycorrhizal fungi of the genera *Trichoderma* and *Glomus*, as well as non-phytopathogenic *Agrobacterium bacteria*, applied to the soil both separately and in combinations (n = 11 experimental variants + control). The raspberry variety (*Rubus idaeus* L.) 'Vognik' of Ukrainian origin was used. The strains of mycorrhizal fungi (*Trichoderma viride* eko/103, *T. harzianum* eko/101, and *Glomus* sp. eko/104) were obtained from the «Institute of Agrobiology» LLC culture collection (the active ingredients in the preparations). The bacterial endosymbionts (*A. radiobacter*) were isolated by the authors, either directly or indirectly. **Results.** Using inoculations of mycorrhizal fungi and bacteria (*Trichoderma* spp., *Glomus* sp. and *A. radiobacter*) separately or in combination significantly improves the main biometric indicators of *R. idaeus* L. raspberry plants. This includes the length and density of root hairs, the number of lateral roots and the density of mycorrhization. It also improves the morphological and morphometric parameters of the roots, such as bark thickness and conducting cylinder width. A positive effect of varying degrees of severity on the target indicators was noted after 60 days of the growing season in all experimental variants compared to the control. **Conclusions.** Using separate or combined inoculations of mycorrhizal fungi (*Trichoderma* spp. and *Glomus* sp.) and bacteria (*Agrobacterium radiobacter*) stimulates morphological and anatomical changes in the roots of *Rubus idaeus* L., as well as promoting a high level of mycorrhizal activity. This symbiotic effect is due to the combined action of the microorganisms in the multicomponent system, as well as their mutual influence. These findings are of practical importance for enhancing the efficiency of raspberry cultivation in enclosed spaces.

***Trichoderma*; *Glomus*; *Agrobacterium*; Rosaceae; mycorrhization level; biometric indicators**

Надійшла до редакції: 17.09.2025

Прийнята до друку: 28.10.2025

Надруковано й опубліковано онлайн:
зрудень 2025