



УДК 632.93:581.9:635.63

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.27>

## БІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ОГІРКІВ (*CUCUMIS SATIVUS L.*) ВІД ХВОРОБ У ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

В. Ю. Пелих<sup>1</sup>

Хвороби огірків у тепличних умовах залишаються серйозною загрозою для виробництва, тоді як традиційні хімічні методи захисту супроводжуються екологічними й економічними ризиками, що зумовлює необхідність пошуку альтернативних рішень. Метою огляду є систематизація сучасних знань про біологічні методи захисту огірків від хвороб у закритому ґрунті. Встановлено, що основними збудниками є грибні патогени (*Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*) і оомікоти (*Pseudoperonospora cubensis*), які спричиняють кореневі гнилі, в'янення та листкові захворювання з потенційними втратами врожаю до 70%. Показано, що сучасний біологічний захист огірків у закритому ґрунті базується на застосуванні антагоністичних мікроорганізмів (грибів і бактерій), арбускулярних мікоризних грибів і препаратів на їх основі. Біологічний контроль за участю *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* забезпечує високу ефективність завдяки поєднанню механізмів антагонізму, мікопаразитизму та стимуляції системної стійкості рослин. Додатково арбускулярні мікоризні гриби підвищують стійкість огірків до ґрунтових патогенів, покращують мінеральне живлення та загальний фізіологічний стан рослин. Зроблено висновок, що біологічні методи є екологічно безпечними, не призводять до накопичення токсичних залишків у продукції, не сприяють розвитку резистентності в патогенів і можуть застосовуватися протягом тривалого часу. Найвищої ефективності досягають інтегровані системи захисту, що поєднують біологічні засоби з агротехнічними прийомами, вироцунням стійких сортів і оптимізацією умов культивування. Водночас біологічні засоби потребують профілактичного застосування та врахування впливу зовнішніх чинників. Перспективи розвитку біологічного захисту пов'язані зі створенням нових високоефективних штамів, локально адаптованих препаратів, а також інтеграцією біотехнологічних і генетичних підходів. Обґрунтовано доцільність упровадження біологічних методів як ефективної альтернативи хімічним засобам, що відповідає принципам екологічної безпеки та сталого розвитку аграрного сектору. Наведено рекомендації щодо підвищення ефективності застосування біологічних препаратів у системі захисту огірків у закритому ґрунті.

**Ключові слова:** патогени, оомікоти, антагоністичні мікроорганізми, арбускулярні мікоризні гриби, стійкість, екологічна безпека.

<sup>1</sup> аспірант кафедри захисту рослин  
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)  
e-mail: vladyslav.pelykh@pdau.edu.ua  
ORCID: 0009-0000-9518-0494

## BIOLOGICAL METHODS FOR DISEASE CONTROL OF CUCUMBER (*CUCUMIS SATIVUS* L.) IN PROTECTED CULTIVATION: CURRENT STATE AND PROSPECTS

V. Yu. Pelykh

*Cucumber diseases under greenhouse conditions remain a serious threat to production, while conventional chemical protection methods are associated with significant environmental and economic risks, necessitating the search for alternative solutions. The purpose of this review is to systematize current knowledge on biological methods for cucumber disease control in protected cultivation. It has been established that the main causative agents are fungal pathogens (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp.) and oomycetes (*Pseudoperonospora cubensis*), which cause root rots, wilting, and foliar diseases, with potential yield losses of up to 70%. Modern biological protection of cucumbers in protected cultivation is based on the use of antagonistic microorganisms (fungi and bacteria), arbuscular mycorrhizal fungi, and commercial preparations based on them. Biological control involving *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., and *Pseudomonas* spp. ensures high effectiveness through a combination of antagonism, mycoparasitism, and stimulation of plant systemic resistance. Additionally, arbuscular mycorrhizal fungi enhance cucumber resistance to soil-borne pathogens, improving mineral nutrition and the general physiological state of plants. It is concluded that biological methods are environmentally safe, do not lead to toxic residue accumulation in products, do not contribute to pathogen resistance development, and can be used over extended periods. The highest effectiveness is achieved through integrated protection systems that combine biological agents with agronomic practices, the use of resistant cultivars, and optimization of growing conditions. At the same time, biological agents require preventive application and consideration of environmental factors. The prospects for developing biological protection involve creating new highly effective strains, locally adapted formulations, and the integration of biotechnological and genetic approaches. The expediency of implementing biological methods as an effective alternative to chemical agents has been substantiated, aligning with the principles of environmental safety and sustainable agricultural development. Recommendations are provided for improving the effectiveness of biological products in cucumber protection systems in protected cultivation.*

**Key words:** pathogens, oomycetes, antagonistic microorganisms, arbuscular mycorrhizal fungi, resistance, environmental safety.

### Вступ

Вирощування огірків у закритому ґрунті є одним із найбільш поширених і економічно вигідних напрямів овочівництва в Україні та світі (Núñez-Paleniús et al., 2022). Тепличне вирощування дозволяє отримувати високі врожаї протягом цілого року, незалежно від погодних умов, та забезпечує стабільний попит на свіжі овочі на ринку. Водночас специфічні умови закритого ґрунту – підвищена вологість, стабільна температура й обмежена циркуляція повітря – створюють сприятливе середовище для розвитку різноманітних фітопатогенних мікроорганізмів (Plocek et al., 2024).

Проблема хвороб огірків у тепличних умовах набуває особливої гостроти через інтенсивний характер вирощування та можливість швидкого поширення інфекції в замкнутому просторі. Основними збудниками є гриби, бактерії та оомікоти, що спричиняють кореневі гнилі, в'янення, плямистості листя та інші захворювання, які можуть призвести до значних втрат урожаю та погіршення якості продукції (Shoukry et al., 2021).

Традиційні хімічні засоби захисту, хоча й демонструють високу ефективність, мають суттєві недоліки: накопичення залишків пестицидів у продукції, розвиток резистентності в патогенів, негативний вплив на корисну мікрофлору ґрунту та навколишнє середовище, а також через зростання вимог споживачів до екологічно чистої продукції (Osman et al., 2023). Ці чинники стимулюють пошук альтернативних, екологічно безпечних методів контролю хвороб.

Біологічні методи захисту рослин належать до перспективного напрямку, що базується на використанні природних антагоністів патогенів, індукції природного імунітету рослин і створенні несприятливих умов для розвитку хвороботворних мікроорганізмів (Sun et al., 2022). Ці методи характеризуються екологічною безпекою, відсутністю токсичних залишків, сумісністю із природними екосистемами та можливістю тривалого використання без розвитку резистентності.

Мета огляду полягає в систематизації сучасних знань про біологічні методи захисту огірків від хвороб у закритому ґрунті,

аналізі їхньої ефективності та перспектив практичного застосування. Завданнями роботи є характеристика основних хвороб огірків у тепличних умовах, огляд сучасних біологічних засобів контролю, аналіз інтегрованих стратегій захисту та формулювання практичних рекомендацій для впровадження біологічних методів у виробництво.

### Матеріал і методи

Робота ґрунтується на результатах аналізу наукової літератури й оригінальних даних багаторічних натурних досліджень вітчизняних та іноземних фахівців, зокрема й неопублікованих результатах власних спостережень.

### Результати та їх обговорення

Основні хвороби огірків у закритому ґрунті. Кореневі та прикореневі гнилі є однією з найбільш поширених і шкідливих груп захворювань огірків у закритому ґрунті. Основними збудниками цих хвороб є комплекс грибних патогенів, що включає *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*, *Macrophomina phaseolina* і *Ascochyta cucumis* (Rose et al., 2003).

*Fusarium spp.* представлений переважно видами *F. oxysporum*, *F. solani* та *F. culmorum*. Ці гриби характеризуються високою живучістю у ґрунті, здатністю утворювати хламідоспори та склероції, що забезпечує їх тривале збереження в несприятливих умовах. Біологічною особливістю фузаріумів є їхня здатність проникати в рослину через кореневі волоски та механічні пошкодження, після чого міцелій поширюється судинною системою (Akhter et al., 2016).

*Rhizoctonia solani* відзначається широкою спеціалізацією і агресивністю. Гриб утворює характерні склероції темно-коричневого кольору та може уражувати рослини на всіх стадіях розвитку. Особливістю патогена є його здатність до сапрофітного існування на рослинних рештках, що ускладнює контроль захворювання (Пелих та ін., 2023).

*Pythium spp.* належать до оомікотів і характеризуються утворенням ооспор і зооспор. Ці патогени особливо активні в умовах підвищеної вологості та можуть швидко поширюватися через поливну воду. Механізм ураження включає ферментативне руйнування клітинних стінок кореня та проникнення міцелію у тканини рослини (Zerillo et al., 2013).

*Macrophomina phaseolina* утворює характерні мікросклероції чорного кольору. Патоген активізується за підвищених температур і може тривало зберігатися у ґрунті.

*Ascochyta cucumis* спричиняє аскохітоз, що проявляється некротичними плямами на корінні та прикореневій частині стебла (Shishido et al., 2016).

Вертицильозне в'янення спричиняється *Verticillium albo-atrum* – судинним патогеном, що проникає в рослину через кореневу систему та поширюється ксилемними судинами. Гриб утворює мікросклероції, які можуть зберігатися у ґрунті протягом багатьох років. Патоген характеризується здатністю до утворення токсинів, що порушують водний баланс рослини та спричиняють характерні симптоми в'янення. Біологічною особливістю *V. albo-atrum* є його температурний оптимум розвитку 22–25 °С, що робить його особливо небезпечним в умовах помірного клімату. Патоген може існувати як сапрофіт на рослинних рештках, що забезпечує накопичення інфекційного потенціалу у ґрунті (Radišek et al., 2003).

Фузаріозне в'янення, що спричиняється *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, є високоспеціалізованою формою, що уражує суто представників родини гарбузових (Gordon, 2017). Патоген проникає в рослину через кореневі волоски та поширюється судинною системою, призводить до закупорки ксилемних судин міцелієм і токсинами.

Особливістю фузаріозного в'янення є поетапність розвитку: спочатку уражується коренева система, потім патоген поширюється вгору по стеблу, призводить до характерного однобічного в'янення листя. Гриб утворює три типи спор: мікроконідії, макроконідії та хламідоспори, останні з яких забезпечують тривале збереження патогена у ґрунті (Zhang et al., 2016).

Рівень захворюваності зазвичай становить 10–30%, однак у несприятливі роки може досягати 50%. Втрати врожаю коливаються від 10 до 50%, а в окремих випадках можливе цілковите його знищення (Ahammed et al., 2020). Посилення захворюваності зумовлене тривалим безперервним вирощуванням культури, виснаженням ґрунту та дисбалансом мікробної флори (Chang et al., 2017).

Пероноспороз, або несправжня борошниста роса, спричиняється *Pseudoperonospora cubensis* – облігатним паразитом із класу оомікотів (Thomas et al., 2017). Патоген характеризується дуже вузькою спеціалізацією й уражує суто представників родини гарбузових. Протягом останнього десятиліття цей патоген став більш шкідливим, спричиняє тяжчий перебіг захворювання.

На інтенсивність зараження та розвиток несправжньої борошнистої роси істотно впливають погодні умови. Листяний некроз розвивається швидше за спекотної та сухої погоди, тоді як низька температура та висока вологість не перешкоджають зараженню (Lebeda & Cohen, 2011; Savory et al., 2011). Водночас точний вплив цих чинників на динаміку щоденного зараження патогеном залишається не досить з'ясованим (Neufeld et al., 2017).

Механізм інфекції включає проникнення зооспор через продири листя, утворення гаусторіїв для живлення та розвиток міцелію в міжклітинних просторах. Патоген утворює спорангіофори зі спорангіями на нижній поверхні листя, що забезпечує масове утворення інфекційного матеріалу (Núñez-Palenius et al., 2022).

*Sphaerotheca fuliginea* (син. *Podosphaera xanthii*) є збудником справжньої борошнистої роси огірків. Це облигатний паразит, що розвивається на поверхні листя, утворює характерний білий наліт міцелію. Патоген має складний життєвий цикл з утворенням конідій для безстатевого розмноження та клейстотеціїв для статевого. Особливістю патогена є його здатність розвиватися за відносно низької вологості повітря (50–70%), на відміну від більшості грибних хвороб. Гриб утворює гаусторії для живлення, що проникають в епідермальні клітини рослини-хазяїна (McGrath, 2001).

Несправжня борошниста роса спричиняється *Pseudoperonospora cubensis*. Цей патоген відрізняється від справжньої борошнистої роси локалізацією (розвивається всередині тканин листя), вимогами до вологості (потребує високої вологості) та симптомами (жовті плями на верхній поверхні листя із сірувато-фіолетовим нальотом на нижній) (Lebeda & Cohen, 2011).

*Біологічні методи контролю хвороб огірків.* *Trichoderma spp.* є найбільш вивченою та широко використовуваною групою грибів-антагоністів. Основними видами є *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii* та *T. asperellum* (Harman et al., 2004). Ці гриби характеризуються швидким ростом, здатністю колонізувати ризосферу та множинними механізмами антагоністичної дії (Al-Aswad et al., 2021).

Механізми дії *Trichoderma* включають: пряму конкуренцію за поживні речовини та простір, мікопаразитизм через утворення літичних ферментів (хітиназ,  $\beta$ -глюканаз, протеаз), продукцію антибіотичних речо-

вин (віридин, глівіотоксин, триходермін) та індукцію системної стійкості рослин через активацію захисних механізмів (Abdelfatah et al., 2025).

*Gliocladium spp.* (*G. virens*, *G. roseum*) демонструють високу ефективність проти ґрунтових патогенів, особливо *Rhizoctonia solani* та *Sclerotium rolfsii*. Ці гриби продукують широкий спектр антибіотиків, зокрема й глівіотоксин і віридин, а також характеризуються здатністю до швидкої колонізації ризосфери (Howell et al., 2008).

*Coniothyrium minitans* є специфічним мікопаразитом склероціалних грибів. Цей антагоніст особливо ефективний проти *Sclerotinia sclerotiorum* та *Sclerotium cepivorum*, проникають у склероції через ферментативне руйнування їхньої оболонки та споживають внутрішній вміст (Zhao et al., 2020).

*Bacillus spp.* представлені переважно видами *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus* та *B. licheniformis*. Ці спороутворювальні бактерії характеризуються високою стійкістю до несприятливих умов і здатністю продукувати широкий спектр антимікробних сполук.

Механізми дії бацил включають продукцію антибіотиків (субтилізин, бацитрацин, поліміксин), літичних ферментів, сидерофорів для зв'язування заліза, а також індукцію системної стійкості рослин. Особливістю цих бактерій є їхня здатність до ефективної колонізації кореневої системи й утворення біоплівки.

*Pseudomonas spp.* (*P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aureofaciens*) є грамнегативними бактеріями, що колонізують ризосферу та продукують флуоресцентні пігменти. Ці бактерії характеризуються продукцією сидерофорів, антибіотиків (2,4-діацетилфлороглюцинол, піолютеорин, фенізин) та індукцією системної стійкості (Paulitz & Bélanger, 2001).

*Streptomyces spp.* є актиноміцетами, що продукують широкий спектр антибіотиків і літичних ферментів. Ці мікроорганізми особливо ефективні проти грибних патогенів завдяки продукції хітиназ і  $\beta$ -глюканаз (Prapagdee et al., 2008).

Сучасний ринок біопрепаратів для захисту рослин представлений широким асортиментом національних і зарубіжних продуктів. Серед українських розробок варто відзначити Триходермін<sup>®</sup> (на основі *Trichoderma lignorum*), Планриз<sup>®</sup> (на основі *Pseudomonas fluorescens*), Фітоспорин-М<sup>®</sup> (на основі *Bacillus subtilis*) та Гаупсин<sup>®</sup> (на основі *Pseudomonas aureofaciens*).

Зарубіжні біопрепарати включають RootShield® (*Trichoderma harzianum*), SoilGard® (*Gliocladium virens*), Kodiak® (*Bacillus subtilis*), BlightBan® (*Pseudomonas fluorescens*) та Contans® (*Coniothyrium minitans*).

Ефективність біопрепаратів проти конкретних патогенів варіює залежно від штаму мікроорганізму, концентрації, умов застосування та стадії розвитку хвороби (Girma, 2022). Препарати на основі *Trichoderma* демонструють високу ефективність проти корневих гнилей, спричинених *Fusarium* (70–81%) і *Rhizoctonia* (68–74%) (Asad et al., 2014; Arenas et al., 2018). Бактеріальні препарати показують кращі результати проти бактеріальних інфекцій і як індуктори стійкості.

Арбускулярні мікоризні гриби (далі – АМГ) з відділу *Glomeromycota* утворюють симбіотичні відносини з кореневою системою огірків, значно підвищують стійкість рослин до ґрунтових патогенів. Основними родами є *Glomus*, *Gigaspora*, *Scutellospora* і *Acaulospora* (Ahammed et al., 2020).

Механізми захисту через АМГ включають фізичний бар'єр (мікоризна мантія навколо коренів), конкуренцію за поживні речовини, продукцію антимікробних сполук та індукцію системної стійкості рослини (Aseel et al., 2019). Мікоризація також покращує фосфорне та мінеральне живлення, водний баланс і загальну життєздатність рослин (Чайка, 2025).

Ефективність мікоризних грибів особливо виражена проти патогенів, що уражують кореневу систему (*Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*), де спостерігається зниження інтенсивності ураження на 40–44% порівняно з контролем (Aljawasim et al., 2020).

Біологічний контроль листкових хвороб огірків має свої особливості, пов'язані з необхідністю забезпечення адгезії біоагентів на поверхні листя та їхньої активності в умовах змінної вологості.

Проти пероноспорозу ефективними є препарати на основі *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* і *Trichoderma harzianum*. Ці мікроорганізми діють через конкуренцію за поживні речовини, продукцію антимікробних сполук та індукцію захисних реакцій рослини (Lian et al., 2023).

Для контролю борошнистої роси використовуються біофунгіциди на основі *Ampelomyces quisqualis* (гіперпаразит борошністоросяних грибів), *Bacillus pumilus* і рослинні екстракти з антигрибною актив-

ністю (Dobrzyński et al., 2023; Kimura et al., 2023).

Фітоекстракти із часнику, цибулі, хвоща польового й інших рослин демонструють фунгістатичну дію проти широкого спектра листкових патогенів. Ці засоби містять природні фунгіциди (алліцин, сапоніни, флавоноїди) та індуктори стійкості (Hafez et al., 2018).

*Інтегровані стратегії захисту.* Найбільшої ефективності біологічні методи досягають за їх поєднання з агротехнічними прийомами й іншими елементами інтегрованого захисту рослин. Основою такого підходу є створення несприятливих умов для патогенів за одночасного посилення захисних механізмів рослин (Romero et al., 2007).

Агротехнічні прийоми включають оптимізацію режимів поливу та живлення, забезпечення належної вентиляції, дотримання сівозміни (навіть у теплицях через зміну культур за сезонами), використання здорового посадкового матеріалу та знезараження субстратів (Schnelle & Rebek, 2017).

Сумісність біопрепаратів з іншими засобами захисту потребує ретельного планування. Більшість біологічних агентів несумісні з фунгіцидами широкого спектра дії, але можуть поєднуватися із селективними препаратами й індукторами стійкості. Важливим є дотримання інтервалів між обробками та врахування рН середовища (Saad et al., 2020).

Перспективними є схеми, що включають профілактичне внесення біопрепаратів у ґрунт або субстрат, регулярні обробки рослин індукторами стійкості, використання стійких сортів і гібридів, а також моніторинг фітосанітарного стану посівів для своєчасного втручання (Riseh et al., 2022).

*Перспективи біологічних методів.* Розвиток біологічних методів захисту огірків у закритому ґрунті потребує створення нових, більш ефективних біопрепаратів, адаптованих до конкретних умов вирощування (Saber-Riseh et al., 2021). Перспективними напрямками є селекція штамів антагоністів з підвищеною конкурентоспроможністю, стійкістю до несприятливих чинників і широким спектром дії (Riseh et al., 2022).

Необхідними є локальні випробування біопрепаратів у різних типах теплиць і субстратів, оскільки ефективність біологічних агентів може значно варіювати залежно від умов. Особливої уваги потребує вивчення взаємодії біоагентів з корисною мікрофлорою та розроблення комплексних мікробних препаратів (Saber-Riseh et al., 2021).

Генетика стійкості огірків до хвороб відкриває можливості для поєднання природної стійкості рослин з біологічними методами захисту. Маркер-асоційована селекція дозволяє створювати сорти та гібриди із множинною стійкістю до різних патогенів, що значно підвищує ефективність біологічного контролю.

Перспективним є також розвиток біотехнологічних методів виробництва біопрепаратів, зокрема й мікроінкапсуляція біоагентів, створення пролонгованих форм і розроблення систем контрольованого вивільнення активних речовин (Qi et al., 2023).

**Практичні рекомендації.** Біологічні методи захисту мають низку переваг, як-от: екологічна безпека, відсутність резистентності патогенів, сумісність із природними екосистемами, можливість тривалого використання та покращення мікробіологічної активності ґрунту. Водночас існують обмеження: нижча швидкість дії порівняно з хімічними засобами, залежність від умов навколишнього середовища, необхідність профілактичного застосування та вища вартість деяких препаратів.

Для успішного впровадження біологічних методів рекомендується:

1. Профілактичне застосування: біопрепарати треба вносити до появи симптомів хвороби, бажано на стадії підготовки ґрунту або висіву насіння.

2. Комплексний підхід: поєднання різних біологічних агентів і методів для забезпечення синергетичного ефекту.

3. Оптимізація умов: забезпечення оптимальних температури, вологості та рН для активності біоагентів.

4. Регулярність обробок: дотримання рекомендованих інтервалів між застосуваннями для підтримання ефективних концентрацій біоагентів.

5. Моніторинг ефективності: регулярне оцінювання стану рослин і корекція схем захисту, у разі необхідності.

Упровадження біологічних методів захисту огірків у закритому ґрунті є перспективним напрямом, що забезпечує отримання екологічно безпечної продукції зі збереженням високих урожаїв і рентабельності виробництва, надає додаткові екологічні переваги та має практичне значення для розвитку сталого сільського господарства (Hyder et al., 2023).

#### **Висновки**

На основі проведеного аналізу встановлено, що основними збудниками хво-

роб огірків у закритому ґрунті є комплекс грибних патогенів (*Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*) і оомікотів (*Pseudoperonospora cubensis*), які спричиняють кореневі гнилі, в'янення та листові захворювання, здатні призводити до значних втрат урожаю. Біологічні методи захисту, зокрема використання антагоністичних мікроорганізмів демонструють високу ефективність у контролі фітопатогенів завдяки множинним механізмам дії, включаючи конкуренцію, антагонізм, мікопаразитизм та індукцію системної стійкості рослин. Застосування біологічних засобів гарантує екологічну безпеку, відсутність токсичних залишків у продукції, сумісність із природними екосистемами, а також запобігає розвитку резистентності патогенів. Сучасний ринок пропонує широкий вибір біопрепаратів як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, адаптованих до різних умов вирощування. Особливе значення має використання арбускулярних мікоризних грибів, які підвищують стійкість огірків до ґрунтових патогенів, покращують водно-мінеральне живлення та загальну життєздатність рослин. Найвищі результати досягаються завдяки інтегрованому підходу, що передбачає поєднання біологічних методів з агротехнічними заходами, використанням стійких сортів і оптимізацією умов вирощування. Водночас біологічні засоби характеризуються нижчою швидкістю дії порівняно з хімічними препаратами та потребують профілактичного застосування, що зумовлює необхідність адаптації технологій вирощування до цих особливостей.

Подальший розвиток біологічного захисту огірків потребує створення нових високоефективних штамів антагоністів, розроблення локально адаптованих препаратів, поєднання біологічних методів з генетичними підходами та впровадження сучасних біотехнологічних рішень. Успішне застосування біологічних засобів захисту забезпечує отримання екологічно чистої продукції з високими споживчими якість, збереження економічної ефективності виробництва та відповідність сучасним вимогам сталого розвитку аграрного сектору. Біологічні методи захисту огірків у закритому ґрунті є перспективною альтернативою хімічним засобам, сприяють ефективному контролю фітопатогенів за дотримання водночас принципів екологічної безпеки та сталого виробництва.

### Список використаної літератури

- Пелих В.Ю., Поспелова Г.Д., Нечипоренко Н.І., Коваленко Н.П. Біопрепарати в технологіях захисту огірка від кореневих гнилей у закритому ґрунті. *Грааль науки*. 2023. № 25. С. 155–159. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023>.
- Чайка Т.О. Мікориза – ефективні біотехнології в рослинництві. *Проблеми та досягнення сучасної біотехнології* : V Міжнародна науково-практична конференція, 28 березня 2025 р. Харків : НФаУ, 2025. С. 395–396.
- Abdelfatah A., Mazrou Y.S.A., Arafa R.A., Makhoulouf A.H., El-Nagar A. Control of cucumber downy mildew disease under greenhouse conditions using biocide and organic compounds via induction of the antioxidant defense machinery. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 11705. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81643-0>.
- Ahamed G.J., Mao Q., Yan Ya., Wu M., Wang Ya., Ren J., Guo P., Liu A., Chen S. Role of melatonin in arbuscular mycorrhizal fungi-induced resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Phytopathology*. 2020. Vol. 110 (5). P. 999–1009. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-19-0435-R>.
- Akhter A., Hage-Ahmed K., Soja G., Steinkellner S. Potential of *Fusarium* wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil. *Plant Soil*. 2016. Vol. 406. P. 425–440. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2948-4>.
- Al-Aswad R.M.A., Al-Azzawi Q.K.Z. Control of downy mildew disease on cucumber caused by the fungus *Pseudoperonospora cubensis* by using environmentally friendly materials. *Euphrates Journal of Agriculture Science*. 2021. Vol. 13. P. 98–110.
- Aljawasim B.D., Khaeim H.M., Manshood M.A. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) as potential biocontrol agents against damping-off disease *Rhizoctonia solani* on cucumber. *Journal of Crop Protection*. 2020. Vol. 9 (1). P. 141–147.
- Arenas O.R., Olguín J.F.L., Ramón D.J., Sangerman-Jarquín D.M.D., Lezama C.P., Morales P.S., Lara M.H. Biological control of *Fusarium oxysporum* in tomato seedling production with Mexican strains of *Trichoderma*. *IntechOpen*. 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72878>.
- Asad S.A., Ali N., Hameed A., Khan S.A., Ahmad R., Bilal M., Shahzad M., Tabassum A. Biocontrol efficacy of different isolates of *Trichoderma* against soil borne pathogen *Rhizoctonia solani*. *Polish Journal of Microbiology*. 2014. Vol. 63 (1). P. 95–103. <https://doi.org/10.33073/pjm-2014-014>.
- Aseel D.G., Rashad Y.M., Hammad S. M. Arbuscular mycorrhizal fungi trigger transcriptional expression of flavonoid and chlorogenic acid biosynthetic pathways genes in tomato against tomato mosaic virus. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 9692. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46281-x>.
- Chang C.L., Fu X.P., Zhou X.G., Guo M.Y., Wu F.Z. Effects of seven different companion plants on cucumber productivity, soil chemical characteristics and *Pseudomonas* community. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017. Vol. 16 (10). P. 2206–2214. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61698-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61698-8).
- Dobrzyński J., Jakubowska Z., Kulkova I., Kowalczyk P., Kramkowski K. Biocontrol of fungal phytopathogens by *Bacillus pumilus*. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. P. 1194606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1194606>.
- Girma A. In Vitro Biocontrol Evaluation of Some Selected *Trichoderma* Strains against the Root Pathogen *Fusarium oxysporum* of Hot Pepper (*Capsicum annum* L.) in Bure Woreda, Ethiopia. *International Journal of Microbiology*. 2022. P. 1664116. <https://doi.org/10.1155/2022/1664116>.
- Gordon T.R. *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*. 2017. Vol. 55. P. 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-08061>.
- Hafez Y.M., El-Nagar A.S., Elzaawely A.A., Kamel S., Maswada H.F. Biological control of *Podosphaera xanthii* the causal agent of squash powdery mildew disease by upregulation of defense-related enzymes. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2018. Vol. 28. P. 57. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0058-8>.
- Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet, I., Lorito M. *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*. 2004. Vol. 2 (1). P. 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>.
- Howell C.R., Stipanovic R.D., Lumsden R.D. Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Science and Technology*. 2008. Vol. 3 (4). P. 435–441. <https://doi.org/10.1080/09583159309355298>.
- Hyder M., Li Y., Raza M. F., Zhang M., Chen J., Mao J., Bukero A., Zhang L. Enhancing coccinella beetle biological pest control via a floral approach in cucumber greenhouse. *Life*. 2023. Vol. 13 (10). P. 2080. <https://doi.org/10.3390/life13102080>.

- Kimura Y., Németh M.Z., Numano K., Mitao A., Shirakawa T., Seress D., Takikawa Y., Kakutani K., Matsuda Y., Kiss L., Nonomura T. Hyperparasitic fungi against melon powdery mildew pathogens: quantitative analysis of conidia released from single colonies of *Podosphaera xanthii* parasitised by *Ampelomyces*. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (5). P. 1204. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051204>.
- Lebeda A., Cohen Y. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – Biology, ecology, epidemiology, host-pathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*. 2011. Vol. 129. P. 157–192. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9658-1>.
- Lian H., Li R., Ma G., Zhao Z., Zhang T., Li M. The effect of *Trichoderma harzianum* agents on physiological-biochemical characteristics of cucumber and the control effect against Fusarium wilt. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. P. 17606. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44296-z>.
- McGrath M.T. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experiences and challenges. *Plant Disease*. 2001. Vol. 85 (3). P. 236–245.
- Neufeld K.N., Keinath A.P., Ojiambo P.S. A model to predict the risk of infection of cucumber by *Pseudoperonospora cubensis*. *Microbial Risk Analysis*. 2017. Vol. 6. P. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2017.05.001>.
- Núñez-Paleniús H.G., Orosco-Alcalá B.E., Espitia-Vázquez I., Olalde-Portugal V., Hoflack-Culebro M., Ramírez-Santoyo L.F., Ruiz-Aguilar G.M.L., Cruz-Huerta N., Valiente-Banuet J.I. Biological control of downy mildew and yield enhancement of cucumber plants by *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) under greenhouse conditions. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (12). P. 1133. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121133>.
- Osman H.E.M., Nehela Y., Elzaawely A.A., El-Morsy M.H., El-Nagar A. Two bacterial bioagents boost onion response to Stromatinia cepivora and promote growth and yield via enhancing the antioxidant Defense System and Auxin Production. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9 (7). P. 780. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070780>.
- Paulitz T.C., Bélanger R.R. Biological control in greenhouse systems. *Annual Review of Phytopathology*. 2001. № 39. P. 103–133. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.103>.
- Plocek G., Kunz D.R., Simpson C. Impacts of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma* spp. on Pac Choi (*Brassica rapa* var. chinensis) grown in different hydroponic systems. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. P. 1438038. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1438038>.
- Prapagdee B., Kuekulvong C., Mongkolsuk S. Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygroscopicus* against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biology Sciences*. 2008. Vol. 4 (5). P. 330–337. <https://doi.org/10.7150/ijbs.4.330>.
- Qi Q., Fan C., Wu H., Sun L., Cao C. Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. *Microbiology Spectrum*. 2023. Vol. 11 (3). P. e05084-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.05084-22>.
- Radišek S., Jakše J., Simončič A., Javornik B. Characterization of *Verticillium albo-atrum* field isolates using pathogenicity data and AFLP analysis. *Plant Disease*. 2003. Vol. 87 (6). P. 633–638.
- Riseh Saberi R., Hassanisaadi M., Vatankhah M., Soroush F., Varma R.S. Nano/microencapsulation of plant biocontrol agents by chitosan, alginate, and other important biopolymers as a novel strategy for alleviating plant biotic stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 222 (A). P. 1589–1604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.278>.
- Romero D., De Vicente A., Zeriouh H., Cazorla F.M., Fernández-Ortuño D., Torés J.A., Pérez-García A. Evaluation of biological control agents for managing cucurbit powdery mildew on greenhouse-grown melon. *Plant Pathology*. 2007. Vol. 56. P. 976–986. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3059.2007.01684.X>.
- Rose S., Parker M., Punja Z.K. Efficacy of biological and chemical treatments for control of fusarium root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Disease*. 2003. Vol. 97 (12). P. 1462–1470. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.12.1462>.
- Saad M.M., Eida A.A., Hirt H. Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful applications. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71 (13). P. 3878–3901. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa111>.
- Saberi-Riseh R., Moradi-Pour M., Mohammadinejad R., Thakur V.K. Biopolymers for biological control of plant pathogens: advances in microencapsulation of beneficial microorganisms. *Polymers (Basel)*. 2021. Vol. 13 (12). P. 1938. <https://doi.org/10.3390/polym13121938>.
- Savory E.A., Granke L.L., Quesada-Ocampo L.M., Varbanova M., Hausbeck M.K., Day B. The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular Plant Pathology*. 2011. Vol. 12. P. 217–226. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00670.x>.



Schnelle M., Rebek E. IPM in the greenhouse series: integrated pest management in commercial greenhouses: an overview of principles and practices. 2017 [Електронний ресурс]. URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/ipm-in-the-greenhouse-series-integrated-pest-management-in-commercial-greenhouses-an-overview-of-principles-and-practices.html> (дата звернення 11.06.2025).

Shishido K., Murakami H., Kanda D., Fuji S., Toda T., Furuya H. Effect of soil inoculum density and temperature on the incidence of cucumber black root rot. *Plant Disease*. 2016. Vol. 100. P. 125–130.

Shoukry M.R., Gazar A., EL-Sheshtawi M. Ability of some antagonistic fungi for controlling cucumber downy mildew disease caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Plant Protection and Pathology*. 2021. Vol. 12. P. 67–69.

Sun Z., Yu S., Hu Y., Wen Y. Biological control of the cucumber downy mildew pathogen *pseudoperonospora cubensis*. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (5). P. 410. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050410>.

Thomas A., Carbone I., Cohen Y., Ojiambo P.S. Occurrence and distribution of mating types of *Pseudoperonospora cubensis* in the United States. *Phytopathology*. 2017. Vol. 107. P. 313–321.

Zerillo M.M., Adhikari B.N., Hamilton J.P., Buell C.R., Lévesque C.A., Tisserat N. Carbohydrate-active enzymes in *Pythium* and their role in plant cell wall and storage polysaccharide degradation. *PLoS One*. 2013. Vol. 8 (9). P. e72572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072572>.

Zhang D., Meng K.X., Hao Y.H., Fan H.Y., Cui N., Wang S.S., Song T.F. Comparative proteomic analysis of cucumber roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerium* Owen. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2016. Vol. 96. P. 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2016.09.002>.

Zhao H., Zhou T., Xie J., Cheng J., Chen T., Jiang D., Fu Y. Mycoparasitism illuminated by genome and transcriptome sequencing of *Coniothyrium minitans*, an important biocontrol fungus of the plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbial Genomics*. 2020. Vol. 6 (3). P. e000345. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000345>.

## References

Pelykh, V., Pospelova, H., Nechyporenko, N., & Kovalenko N. (2023). Biopreparaty v tekhnolohiiakh zakhystu ohirka vid korenyvykh hnylei u zakrytomu grunti [Biological preparations in cucumber root rot control technologies in protected cultivation]. *Hraal nauky [Grail of Science]*, 25, 155–159. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023> [in Ukrainian].

Chaika, T.O. (2025). Mikoryza – efektyvni biotekhnolohii v roslynnytstvi [Mycorrhiza – effective biotechnologies in crop production]. *Problemyta dosiahnennia suchasnoi biotekhnolohii: VMizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia [Problems and Achievements of Modern Biotechnology: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference]*. Kharkiv, 395–396 [in Ukrainian].

Abdelfatah, A., Mazrou, Y.S.A., Arafa, R.A., Makhlof, A.H., & El-Nagar, A. (2025). Control of cucumber downy mildew disease under greenhouse conditions using biocide and organic compounds via induction of the antioxidant defense machinery. *Scientific Reports*, 15, 11705. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81643-0> [in English].

Ahamed, G.J., Mao, Q., Yan, Ya., Wu, M., Wang, Ya., Ren, J., Guo, P., Liu, A., & Chen, S. (2020). Role of melatonin in arbuscular mycorrhizal fungi-induced resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Phytopathology*, 110 (5), 999–1009. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-19-0435-R> [in English].

Akhter, A., Hage-Ahmed, K., Soja, G., & Steinkellner, S. (2016). Potential of *Fusarium* wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil. *Plant Soil*, 406, 425–440. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2948-4> [in English].

Al-Aswad, R.M.A., & Al-Azzawi, Q.K.Z. (2021). Control of downy mildew disease on cucumber caused by the fungus *pseudoperonospora cubensis* by using environmentally friendly materials. *Euphrates Journal of Agriculture Science*, 13, 98–110 [in English].

Aljawasim, B.D., Khaeim, H.M., & Manshood, M.A. (2020). Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) as potential biocontrol agents against damping-off disease *Rhizoctonia solani* on cucumber. *Journal of Crop Protection*, 9 (1), 141–147 [in English].

Arenas, O.R., Olguín, J.F.L., Ramón, D.J., Sangerman-Jarquín, D.M.D., Lezama, C.P., Morales, P.S., & Lara, M.H. (2018). Biological control of *Fusarium oxysporum* in tomato seedling production with Mexican strains of *Trichoderma*. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72878> [in English].

Asad, S.A., Ali, N., Hameed, A., Khan, S.A., Ahmad, R., Bilal, M., Shahzad, M., & Tabassum, A. (2014). Biocontrol efficacy of different isolates of *Trichoderma* against soil borne pathogen *Rhizoctonia solani*. *Polish Journal of Microbiology*, 63 (1), 95–103. <https://doi.org/10.33073/pjm-2014-014> [in English].

Aseel, D.G., Rashad, Y.M., & Hammad, S.M. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi trigger transcriptional expression of flavonoid and chlorogenic acid biosynthetic pathways genes in tomato against tomato mosaic virus. *Scientific Reports*, 9, 9692. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46281-x> [in English].

Chang, C.L., Fu, X.P., Zhou, X.G., Guo, M.Y., & Wu, F.Z. (2017). Effects of seven different companion plants on cucumber productivity, soil chemical characteristics and *Pseudomonas* community. *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (10), 2206–2214. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61698-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61698-8) [in English].

Dobrzyński, J., Jakubowska, Z., Kulkova, I., Kowalczyk, P., & Kramkowski, K. (2023). Biocontrol of fungal phytopathogens by *Bacillus pumilus*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1194606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1194606>.

Girma, A. (2022). In Vitro Biocontrol Evaluation of Some Selected *Trichoderma* Strains against the Root Pathogen *Fusarium oxysporum* of Hot Pepper (*Capsicum annum* L.) in Bure Woreda, Ethiopia. *International Journal of Microbiology*, 1664116. <https://doi.org/10.1155/2022/1664116> [in English].

Gordon, T.R. (2017). *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-08061> [in English].

Hafez, Y.M., El-Nagar, A.S., Elzaawely, A.A., Kamel, S., & Maswada, H.F. (2018). Biological control of *Podosphaera xanthii* the causal agent of squash powdery mildew disease by upregulation of defense-related enzymes. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28, 57. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0058-8> [in English].

Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2 (1), 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797> [in English].

Howell, C.R., Stipanovic, R.D., & Lumsden, R.D. (2008). Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Science and Technology*, 3 (4), 435–441. <https://doi.org/10.1080/09583159309355298> [in English].

Hyder, M., Li, Y., Raza, M.F., Zhang, M., Chen, J., Mao, J., Bukero, A., & Zhang, L. (2023). Enhancing coccinella beetle biological pest control via a floral approach in cucumber greenhouse. *Life*, 13 (10), 2080. <https://doi.org/10.3390/life13102080> [in English].

Kimura, Y., Németh, M.Z., Numano, K., Mitao, A., Shirakawa, T., Seress, D., Takikawa, Y., Kakutani, K., Matsuda, Y., Kiss, L., & Nonomura, T. (2023). Hyperparasitic fungi against melon powdery mildew pathogens: quantitative analysis of conidia released from single colonies of *Podosphaera xanthii* parasitised by *Ampelomyces*. *Agronomy*, 13 (5), 1204. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051204>.

Lebeda, A., & Cohen, Y. (2011). Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – Biology, ecology, epidemiology, host-pathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*, 129, 157–192. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9658-1> [in English].

Lian, H., Li, R., Ma, G., Zhao, Z., Zhang, T., & Li, M. (2023). The effect of *Trichoderma harzianum* agents on physiological-biochemical characteristics of cucumber and the control effect against *Fusarium* wilt. *Scientific Reports*, 13, 17606. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44296-z> [in English].

McGrath, M.T. (2001). Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experiences and challenges. *Plant Disease*, 85 (3), 236–245 [in English].

Neufeld, K.N., Keinath, A.P., & Ojiambo, P.S. (2017). A model to predict the risk of infection of cucumber by *Pseudoperonospora cubensis*. *Microbial Risk Analysis*, 6, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2017.05.001> [in English].

Núñez-Palenius, H.G., Orosco-Alcalá, B.E., Espitia-Vázquez, I., Olalde-Portugal, V., Hoflack-Culebro, M., Ramírez-Santoyo, L.F., Ruiz-Aguilar, G.M.L., Cruz-Huerta, N., & Valiente-Banuet, J.I. (2022). Biological control of downy mildew and yield enhancement of cucumber plants by *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) under greenhouse conditions. *Horticulturae*, 8 (12), 1133. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121133> [in English].

Osman, H.E.M., Nehela, Y., Elzaawely, A.A., El-Morsy, M.H., & El-Nagar, A. (2023). Two bacterial bioagents boost onion response to *Stromatinia cepivora* and promote growth and yield via enhancing the antioxidant Defense System and Auxin Production. *Horticulturae*, 9 (7), 780. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070780> [in English].

Paulitz, T.C., & Bélanger, R.R. (2001). Biological control in greenhouse systems. *Annual Review of Phytopathology*, 39, 103–133. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.103> [in English].

Plocek, G., Kunz, D.R., & Simpson, C. (2024). Impacts of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma* spp. on Pac Choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) grown in different hydroponic systems. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1438038. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1438038> [in English].

- Prapagdee, B., Kuekulvong, C., & Mongkolsuk, S. (2008). Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygrosopicus* against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biology Sciences*, 4 (5), 330–337. <https://doi.org/10.7150/ijbs.4.330> [in English].
- Qi, Q., Fan, C., Wu, H., Sun, L., & Cao, C. (2023). Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. *Microbiology Spectrum*, 11 (3), e05084–22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.05084-22> [in English].
- Radišek, S., Jakše, J., Simončič, A., & Javornik, B. (2003). Characterization of *Verticillium albo-atrum* field isolates using pathogenicity data and AFLP analysis. *Plant Disease*, 87 (6), 633–638 [in English].
- Riseh, S.R., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Soroush, F., & Varma, R.S. (2022). Nano/microencapsulation of plant biocontrol agents by chitosan, alginate, and other important biopolymers as a novel strategy for alleviating plant biotic stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222 (A), 1589–1604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.278> [in English].
- Romero, D., De Vicente, A., Zerriouh, H., Cazorla, F.M., Fernández-Ortuño, D., Torés, J.A., & Pérez-García, A. (2007). Evaluation of biological control agents for managing cucurbit powdery mildew on greenhouse-grown melon. *Plant Pathology*, 56, 976–986. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3059.2007.01684.X> [in English].
- Rose, S., Parker, M., & Punja, Z.K. (2003). Efficacy of biological and chemical treatments for control of fusarium root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Disease*, 97 (12), 1462–1470. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.12.1462> [in English].
- Saad, M.M., Eida, A.A., & Hirt, H. (2020). Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful applications. *Journal of Experimental Botany*, 71 (13), 3878–3901. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa111> [in English].
- Saberi-Riseh, R., Moradi-Pour, M., Mohammadinejad, R., & Thakur, V.K. (2021). Biopolymers for biological control of plant pathogens: advances in microencapsulation of beneficial microorganisms. *Polymers (Basel)*, 13 (12), 1938. <https://doi.org/10.3390/polym13121938> [in English].
- Savory, E.A., Granke, L.L., Quesada-Ocampo, L.M., Varbanova, M., Hausbeck, M.K., & Day, B. (2011). The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular Plant Pathology*, 12, 217–226. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00670.x> [in English].
- Schnelle, M., & Rebek, E. (2017). IPM in the greenhouse series: integrated pest management in commercial greenhouses: an overview of principles and practices. [Electronic resource] URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/ipm-in-the-greenhouse-series-integrated-pest-management-in-commercial-greenhouses-an-overview-of-principles-and-practices.html> (access date 11.06.2025) [in English].
- Shishido, K., Murakami, H., Kanda, D., Fuji, S., Toda, T., & Furuya, H. (2016). Effect of soil inoculum density and temperature on the incidence of cucumber black root rot. *Plant Disease*, 100, 125–130 [in English].
- Shoukry, M.R., Gazar, A., & EL-Sheshtawi, M. (2021). Ability of some antagonistic fungi for controlling cucumber downy mildew disease caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 12, 67–69 [in English].
- Sun, Z., Yu, S., Hu, Y., & Wen, Y. (2022). Biological control of the cucumber downy mildew pathogen *pseudoperonospora cubensis*. *Horticulturae*, 8 (5), 410. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050410> [in English].
- Thomas, A., Carbone, I., Cohen, Y., & Ojiambo, P.S. (2017). Occurrence and distribution of mating types of *Pseudoperonospora cubensis* in the United States. *Phytopathology*, 107, 313–321 [in English].
- Zerillo, M.M., Adhikari, B.N., Hamilton, J.P., Buell, C.R., Lévesque, C.A., & Tisserat, N. (2013). Carbohydrate-active enzymes in *Pythium* and their role in plant cell wall and storage polysaccharide degradation. *PLoS One*, 8 (9), e72572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072572> [in English].
- Zhang, D., Meng, K.X., Hao, Y.H., Fan, H.Y., Cui, N., Wang, S.S., & Song, T.F. (2016). Comparative proteomic analysis of cucumber roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerium* Owen. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 96, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2016.09.002> [in English].
- Zhao, H., Zhou, T., Xie, J., Cheng, J., Chen, T., Jiang, D., & Fu, Y. (2020). Mycoparasitism illuminated by genome and transcriptome sequencing of *Coniothyrium minitans*, an important biocontrol fungus of the plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbial Genomics*, 6 (3), e000345. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000345> [in English].

Отримано: 31.07.2025

Прийнято: 27.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025

