

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ *BACILLUS THURINGIENSIS* ДЛЯ ЗАХИСТУ ЯБЛУНЬ ВІД ФІТОФАГІВ

А.А. Бунас¹, О.В. Шерстобоева¹, А.Б. Крижанівський^{1,2}

¹Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: bio-206316@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4806-7004

e-mail: ovsher@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8239-0847

²Інститут прикладної біотехнології БТУ-Центр (м. Київ, Україна)

e-mail: Andrew.506@ukr.net

Усі складові екосистем, зокрема отримана агропродукція перебувають у тісній взаємодії, і через низку трофічних ланцюгів як опосередкованих, так і безпосередніх впливають на стан здоров'я людини, а також якість її життя. Один з універсальних і найдоступніших дієтичних продуктів для людей є яблука. Саме в плодах яблуні можна знайти добовий вміст вітамінів С — 14%, К — 2–4, калію — 5%, а також Сu, Мп, вітамінів А, Е, В₁, В₂ та В₆. *Malus* — це джерело пектину, кверцетину, флаванолігів, антоціану, мінералів та вітамінів. Однак нині агровиробники вимушені впродовж вегетаційного періоду яблуні, щонайменше використовувати шість разів пестициди для запобігання хвороб та шкідників. Щорічні втрати від хвороб та комах-фітофагів коливаються від 30 до 70%. Відповідно пошук еколого-безпечних засобів захисту, а саме біоінсектицидів та біофунгіцидів набувають дедалі більшої поширеності в агровиробництві. Оскільки дані засоби беззаперечно мають переваги стосовно впливу на екосистему, зменшують виникнення стійких збудників хвороб і шкідників, підвищують кількісні та якісні показники врожаю. Метою дослідження є визначення впливу ентомоцидних штамів *Bacillus thuringiensis* на фізіологічні показники яблуні, урожайність і якість плодів. Встановлено, що біоконтроль комах-фітофагів у яблуневому саду забезпечив отримання врожаю у середньому контрольного варіанта на 11–58%. Найвищу врожайність одержали за оброблення рослин препаратами на основі штамів *B. thuringiensis* 0408 і 0376. Виявлено, що досліджувані біоінсектициди на основі штамів *B. thuringiensis* 0376, 0408, 787 не впливали на вміст цукрів і органічних кислот у плодах. Отримані результати свідчать, що нанесені на листки яблуні рідкі захисні біопрепарати на основі штамів *B. thuringiensis* не спричиняють стресового стану рослини, а навпаки, здійснюють помірний стимулювальний ефект на ферментативну активність листків, що вказує на стійкість рослин до інших стрес-чинників. Зауважимо, що оброблення яблуні препаратом на основі штаму *B. thuringiensis* 0408 сприяло одержанню плодів із підвищеною концентрацією вітаміну С, що зумовлено відсутністю значного стресового впливу на фізіологічний стан яблуні.

Ключові слова: екологічна безпека, садовий біоценоз, біоінсектициди, якість продукції, вітамін С, врожайність, ферментативна активність, цукровий індекс, комахі-шкідники.

ВСТУП

Яблуня є найрозповсюдженішою плодовою культурою в Україні, на 2022 р. яблуневі сади займали 84,5 тис. га, або майже 55% площ усіх плодових культур [1]. Агровиробники за рік використовують близько 3 млрд т пестицидів, щоб запобігти хворобам і шкідникам, які викликають 65 тис.

біологічних агентів [2]. Зазвичай за однорічний вегетаційний період яблуні застосовують різні пестициди, щонайменше 6 разів [3]. Оскільки щороку втрати врожаю — колосальні, а саме від 30 до 70% залежно від культури, погодних умов, агротехнічних прийомів (збору врожаю втрати становлять приблизно 40% і після збору — до 10%) [2; 4]. Ефективна боротьба зі шкідниками і хворобами має вирішальне зна-

чення через їх значний вплив на кінцеву врожайність та якість отриманих плодів.

Альтернативою хімічному контролю фітофагів є мікробіометод, який забезпечує отримання екологічно безпечної продукції садівництва. У світі ринок біопрепаратів захисної дії на 90–95% представлено спорово-кристалічними комплексами *B. thuringiensis* [5]. Біоінсектициди призначені для боротьби з імаго (доросла (статевозріла) стадія комах та деяких інших членистоногих) і личинками шкочочинних комах, кліщів і комарів. Дослідження біологічного потенціалу природних метаболітів ентомопатогенних спорочих бактерій *B. thuringiensis*, їх метагеному дає можливість створювати серії високоефективних біопрепаратів для контролю чисельності фітофагів, розробляти біотехнологію їх виробництва та застосування в агробіоценозах [6].

Препаративні форми біоінсектицидів забезпечують ефективну боротьбу з такими шкідниками, як: *Leptinotarsa decemlineata* S., *Mamestra brassicae* L., *Cydia pomonella* L., *Hyponomeuta malinellus* Z., *Hyponomeuta padellus* H., *Loxostege sticticalis* L., *Hyphantria cunea* L., *Tetranychidae* L., *Tortricidae* L., тощо. Дані біопрепарати абсолютно безпечні для бджіл [5; 7–9]. Українським споживачам на основі різних ентомопатогенних *B. thuringiensis* пропонують Лепідоцид-БТУ, Бітоксикацилін-БТУ, Бітоксик, Бацілотурінг [10].

Зважаючи на те, що в екосистемах тісно пов'язані санітарний стан ґрунту та рослин з якістю і кількістю зібраного врожаю, застосування еколого-безпечних засобів захисту стає дедалі перспективнішим. Отже, поставлено мету дослідити вплив ентомоцидних штамів *B. thuringiensis* на фізіологічні показники яблунь, урожайність і якість плодів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Біоінсектициди на основі мікроорганізмів, як бактерій, так і грибів застосовують проти різних фітофагів у агрофітоценозах, лісових та водних екосистемах країн ЄС.

У 2020 р. площі використання біологічних методів сягали 1827,2 тис. га, або 3,6% від усіх площ [1]. В умовах сьогодення вважається, що контролювальними біоагентами для шкідників можуть бути понад 100 видів бактерій, 800 видів грибів та 300 видів нематод, для контролю бур'янів 50 видів бактерій і грибів, для контролю збудників хвороб рослин — усього 20 видів бактерій та грибів.

Дослідженнями М.В. Патики, М.В. Бойко та ін. [6; 11] показано, що ентомопатогенні препарати, які отримують на основі мікроорганізмів, виділених із природних умов і внесених знову у ті самі природні умови у вигляді мікробних патогенів, не викликають небажаних змін у біоценозах і не порушують екологічний стан у регіоні. Колективом учених, М.В. Бойко, М.В. Патики, Ю.П. Бортко, Т.І. Патики [12] здійснено дослідження штамів *B. thuringiensis* 87 і 800 для захисту картоплі й інших сільськогосподарських культур від колорадського жука. Досліджувані штами *B. thuringiensis* 87 і 800 в лабораторних умовах демонструють рівень ентомоцидної дії від 96%. Вчені експериментально фіксують, що оброблення агроценозу картоплі штамом *B. thuringiensis* 87 сприяло зниженню чисельності шкідників на рівні 95–98% [6; 11; 12]. Полташовою в польових дослідженнях зазначено ефективність *B. thuringiensis* var *thuringiensis* (біоагент Бітоксикациліну-БТУ) на рівні 90–95% проти гусениць 1–2 віку капустиного та ріпакового біланів, вогнівок, капустиної молі. Проти павутинного кліща і баштаної попелиці на рівні 86,5–88% [13].

Дослідженнями М. Гунчак і співавт. [14] показано, що врожайність яблуні за використання біологічної системи захисту, яка передбачала лише застосування біопрепаратів як інсектицидної, так і фунгіцидної дій у середньому врожайність була у межах 22,60 т/га, зокрема І сорт урожаю сягав не менше ніж 58%. Також цей колектив авторів досліджував вплив сучасних біоінсектицидів на біологічні особливості зеленої яблуневої попелиці (*Aphis pomi* Deg.) та її чисельність у Південно-Західному Лісо-

стеpped України. Ефективність мікробіологічних препаратів проти фітофага коливалась у межах 65,0–89,7% залежно від варіанта досліду, терміну та кількості оброблень. Однак авторами встановлено, що найбільшу ефективність показав препарат на основі *Streptomyces avermitilis* (Актарофіт, к.е.): 89,7% через 7 діб після третього оброблення яблунь. Суміш біопрепаратів Колорадоцид, п. (біоагент *Bacillus thuringiensis*, титр $7 \cdot 10^9$ КУО/см³) та Гаубсин, р. (*Pseudomonas aureofaciens*, $5 \cdot 10^9$ КУО/см³) зафіксувала синергетичний ефект та високу дію на фітофага: 87,3 % через 7 діб після третьої обробки [15].

З огляду на вищезазначене вважаємо, що доцільно, ефективно та еколого-безпечно застосувати біопрепарати інсектицидної дії на основі ентомоцидних бактерій, мікроміцетів чи нематод проти фітофагів у системі захисту агроценозів сільськогосподарських культур і садів. Використання біоінсектицидів дає можливість контролювати чисельність фітофагів упродовж всієї вегетації рослини, проте ці засоби на 100% не замінюють хімічні засоби, які беззаперечно варто застосовувати у періоди критичного розмноження шкідників. Використання біопрепаратів дає змогу значно знизити стійкість шкідників, зменшити пестицидне навантаження на агроекосистеми, здоров'я людини через якість харчових продуктів та навколишнє природне середовище.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ентомоцидну дію ентомопатогенних токсиноутворювальних бактерій *Bacillus thuringiensis* проти брунькової листовійки (*Tmetocera ocellana* L.), плодової верхньобокової мінуючої молі (*Lithocolletis corylifoliella* L.), чохлакової плодової мінуючої молі (*Coleophora hemerobiella* L.) та яблуневої нижньобокової мінуючої молі (*Lithocolletis pyrifoliella* L.) спостерігали в польовому досліді на базі Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ) у 2013–2015 рр.

Досліджували рідкі біоінсектициди, де агентами були штами ентомопатогенних

токсиноутворювальних бактерій *Bacillus thuringiensis* 0371, 0376, 0408 і 787. Особливість штаму *B. thuringiensis* 787 є синтез білкового кристалічного ендотоксину, специфічного для листогризухих комах-фітофагів із рядів *Coleoptera* та *Lepidoptera*. Штами *B. thuringiensis* 0371, 0376, 0408, крім синтезу білкового кристалічного ендотоксину, продукують термостабільний водорозчинний екзотоксин. Для порівняння ентомоцидних властивостей використовували хімічний системний інсектицид Конфідор Екстра ВГ (діюча речовина імідаклоприд) контактної і кишкової дії, оброблення одноразове за вегетацію, очікування до збирання врожаю яблуні — 30 діб [10].

Облікова площа дослідної ділянки — 250 м². Повторення 3-разове. Розміщення ділянок — рядкове по 10 дерев у рядку. Оброблення дерев яблунь сорту Джонаголд здійснювали: 1-й раз відразу після цвітіння яблуні (найчутливіша фаза розвитку досліджуваних комах-фітофагів); 2-й і подальші за необхідності під час появи нових генерацій комах.

Норма витрати препарату — 20 дм³/га, розведеного в 1 м³ води. Титр спор *B. thuringiensis* у робочій рідині близько $1 \cdot 10^8$ КУО/см³. За контроль використовували дерева, що оброблені водою. Обробку яблунь проводили вечірньої пори у безвітряну погоду за допомогою обприскувача SADKO SPR-5.

Вплив культур штамів *B. thuringiensis* на фізіологічні показники яблуні визначали через активність пероксидази/поліфенолоксидази у листках яблуні, за методом Бояркина. Аналіз здійснювали через 2, 6 і 12 доби після оброблення. Отримані результати відображали зміну оптичної густини на 1 г сирої маси. Вміст зелених та жовтих пігментів вимірювали спектрофотометрично [16; 17].

Якість одержаних плодів визначали за вмістом цукрів, аскорбінової кислоти, загальної кислотності. Вміст цукрів у плодах яблуні виконували за допомогою ареометра. Загальну кислотність виявляли об'ємним методом, шляхом титрування.

Концентрацію аскорбінової кислоти (вітамін С) в яблучному соку встановлювали титриметричним методом [18].

Математико-статистичне оброблення отриманих результатів проводили за допомогою стандартних комп'ютерних програм Statistica та Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вчені вважають, що серед найважливіших процесів формування й розвитку захисних реакцій у клітинах рослин є рівень пероксидази, як протидії стресу, оскільки цей фермент змінює свою активність пропорційно збільшенню ступеня антропогенного навантаження на рослину. Не зважаючи на те, що поліфенолоксидаза не входить до складу антиоксидантних систем, але саме вона бере участь в окисленні фенольних сполук, посилення її активності сприяє утворенню захисних бар'єрів рослини [19; 20]. Вітамін С — потужний антиоксидант, який відіграє важливу роль у регуляції окислювально-відновних процесів. Плоди зерняткових культур не багаті на вітамін С, його вміст у плодах яблук знаходиться в

межах 8–17 мг/100 г сирової маси. На вміст вітаміну С у плодах більшою мірою, ніж на інші складові впливають сорт, міра стиглості та умови вирощування.

Вплив рідких культур на основі ентомопатогенних штамів *B. thuringiensis* та хімічного інсектициду Конфідор Екстра на фізіологічні показники, а саме пероксидазну та поліфенолоксидазну активність у листках та вміст вітаміну С у плодах яблуні сорту Джонаголд представлені на *рис. 1 і 2, табл.*

Отримані результати вказують на збільшення пероксидазної активності у перші шість діб після обприскування рідкими культурами штамів *B. thuringiensis* 0371, 0376 та 0408. Штам Bt 787, що не синтезує β -екзотоксин, сприяв помірному підвищенню пероксидазної активності у період від 2 до 6 діб. Однак у період з 6 по 12 доби штам Bt 787, на відміну від інших штамів жваво стимулював пероксидазну активність. Слід відзначити низьку ферментативну активність листків рослин за оброблення Конфідор Екстра, що впродовж усього дослідження була нижчою від контролю в усіх варіантах обробки проти шкідників.

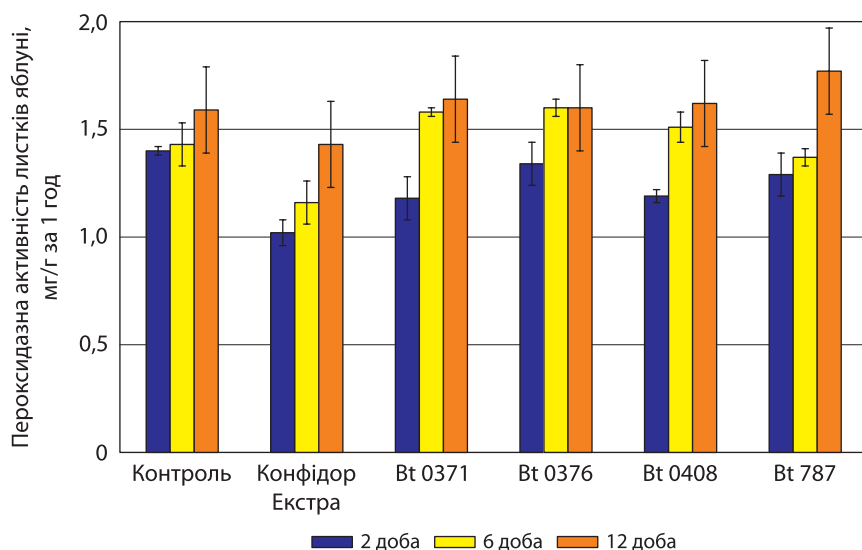


Рис. 1. Пероксидазна активність листків яблуні за оброблення досліджуваними препаратами, мг/г за 1 год

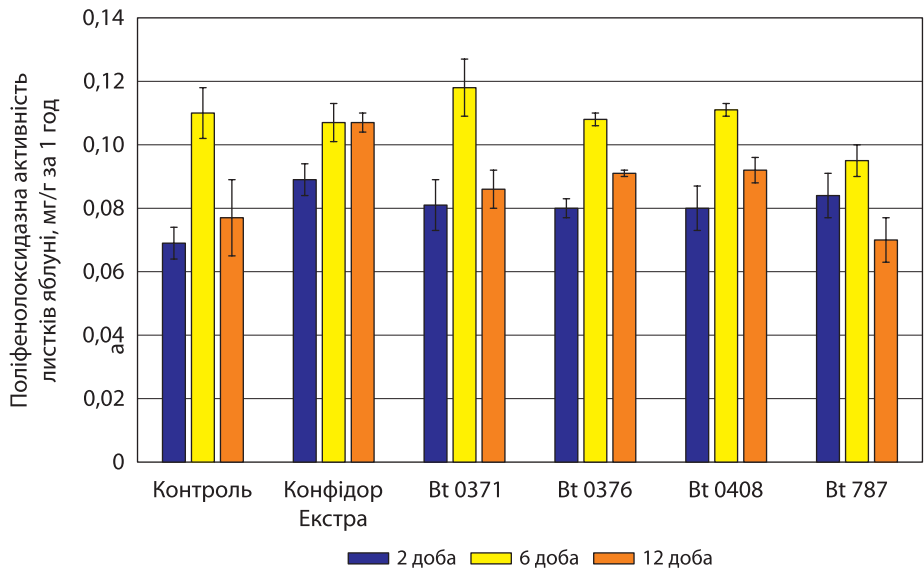


Рис. 2. Поліфенолоксидазна активність листків яблуні за оброблення досліджуваними препаратами, мг/г за 1 год

Тому можна зробити висновок, що хімічний агент інгібує активність ферментної системи.

Оброблення яблунь досліджуваними інсектицидами викликало стресовий стан у рослин, що проявилось у підвищенні ферментативної активності у листках. Тому, подальшими нашими дослідженнями було встановлення залежності вмісту аскорбінової кислоти, як потужного антиоксиданта, від величини ферментативної активності, що є показником стресового стану.

Встановлено (див. *рис. 1*), що за обробки яблунь хімічним інсектицидом Кон-

фідор Екстра концентрація аскорбінової кислоти знизилась більше ніж удвічі порівняно з контролем. Це є підтвердженням використання вітаміну С для нейтралізації стресового стану в рослини, відповідно такі яблука втрачають свою поживну цінність та здатність до зберігання. Серед досліджуваних штамів *Bacillus thuringiensis* лише один сприяв збільшенню концентрації вітаміну С — Bt 0408 (див. *табл.*). Підвищення вмісту аскорбінової кислоти на 1,6%, порівняно з контролем, зумовлено відсутністю значного стресового впливу на фізіологічний стан яблуні та забезпечило

**Врожайність та якісні показники яблуні за оброблення інсектицидами
(середнє значення за роками дослідження)**

Варіант	Врожайність, т/га	Вміст цукрів, %	Кислотність, %	Цукровий індекс	Вміст вітаміну С, мг/100 г
Контроль	11,43	13,88±0,25	0,49±0,007	28,3	13,47±1,01
Bt 0371	16,20	13,70±0,18	0,44±0,003	31,3	12,53±0,77
Bt 0376	17,30	13,71±0,23	0,46±0,006	29,8	12,40±0,32
Bt 0408	18,05	14,46±0,26	0,54±0,010	26,7	15,07±0,56
Bt 787	12,68	13,92±0,28	0,49±0,005	28,4	13,40±0,61
Конфідор Екста	17,40	12,30±0,25	0,39±0,010	31,5	6,40±0,23
НІР	0,41	—	—	—	—

стимуляцію утворення вітаміну С. Під дією штамів Bt 0371 та Bt 0376 концентрація аскорбінової кислоти в плодах знижувалась на незначну частку порівняно з контролем і була в межах 12,53 і 12,40 мг/100 г, відповідно. У *Malus*, обробленими штамом Bt 787 не відмічалось змін концентрації аскорбінової кислоти.

Відомо, що підвищення поліфенолоксидазної активності рослин, оброблених біоінсектицидами, може проявлятися як протидія рослин на інфікування патогенними мікроорганізмами [20]. На це вказують результати цього експерименту — стрімке підвищення поліфенолоксидазної активності листків яблуні спостерігали між 2 і 6 добами після оброблення дерев (див. рис. 2). У період з 6 по 12-ту добу після оброблення спостерігали помірний спад активності поліфенолоксидази у варіантах, оброблених досліджуваними штамми *B. thuringiensis*. На 12-ту добу вплив досліджуваних штамів мав тенденцію до зрівняння з контролем. Оброблення яблунь хімічним інсектицидом Конфідор Екстра не мала значного впливу на поліфенолоксидазну активність порівняно з контролем.

Однією зі значущих господарсько-біологічних особливостей яблуневих насаджень є їх урожайність, яка визначається погодно-кліматичними та агротехнічними умовами вирощування. Як бачимо з табл., оброблення яблунь досліджуваними штамми *B. thuringiensis* у період досліджень дають приріст урожаю. Незважаючи на негативну дію β-екзотоксина на фізіологічний стан *Malus* обприскування дерев штамми, які його синтезують сприяє збереженню врожаю порівняно з контролем.

Відповідно з економічної точки зору доцільніше буде використовувати біопрепарати, які містять β-екзотоксин. Оброблення дерев яблуні біопрепаратом на основі штаму Bt 787 не впливали на збереження врожаю, залишаючись на рівні контролю. Найвищий приріст урожаю спостерігали за застосування штаму Bt 0408, проте штам Bt 787, ефективність якого на всіх досліджуваних шкідниках була найнижчою сприяв найменшому збереженню врожаю.

В умовах екологізації виробництва плодоовочевої продукції важливим критерієм конкурентоспроможності є якість плодів. За таких вимог досягти високих урожаїв без застосування засобів захисту і мінеральних добрив — не можливо. Тому використовуючи біопрепарати інсектицидної дії, на основі *B. thuringiensis* у технологіях вирощування плодів культур загалом, і яблунь, зокрема потрібно знати, як вони впливають на основні показники якості яблук.

Отримані результати (див. табл.) свідчать, що сорт Джонаголд належить до солов'ячих сортів, оскільки цукристість його плодів становить 12,27–14,23%. Оброблення яблунь інсектицидами на основі *B. thuringiensis* зумовила незначне зниження вмісту цукрів порівняно з контролем. Найвищий його вміст виявлено в яблуках дерев оброблених штамом Bt 0408. За дії хімічного інсектициду Конфідор Екстра концентрація цукрів у плодах яблуні знизилась на 2% порівняно з контролем. З одержаних даних встановлено закономірність, що дія хімічного препарату негативно впливає на накопичення цукрів у плодах яблуні.

Визначено, що вміст кислот у досліджуваному сорту яблук коливався в межах 0,39–0,54%. Оброблення *Malus* штамом Bt 0371 і Bt 0376, зумовила зниження кислотності на 0,05 і 0,03% відповідно. Дія штаму Bt 0408 спричинила підвищення кислотності плодів яблуні на 0,05, а за застосування Bt 787 цей показник був на рівні контролю. Таке явище потрібно оцінювати позитивно, оскільки органічні кислоти, зокрема яблучна, мають консервуючі властивості, що впливає на зберігання, збільшуючи його термін. Тому плоди яблунь, оброблені Bt 0408 і Bt 787, будуть мати більшу лежкість. Значне зниження вмісту органічних кислот спостерігали за обробок Конфідором Екстра, яке становило 0,1%. У таких плодах процес досягання буде проходити значно швидше, ніж у яблуках обробленими біологічними препаратами, що потребуватиме додаткових затрат на зберігання.

На основі кислотності та вмісту цукрів розраховано цукрово-кислотний індекс (ЦКІ), який визначає гармонічність смаку плодів яблуні. Вважається, що ЦКІ в яблуках варіює від 6,7 до 96,8, проте у сортів яблук із високими смаковими якість (наприклад, сорт Джонаголд), ЦКІ в межах 16–30. Розраховано, що в досліджуваних варіантах ЦКІ перебував у межах 26,7–31,5. Аналізуючи вплив досліджуваних інсектицидів на баланс цукрів та кислот в яблуках, зафіксували, що найбільше відхилення від оптимального спричинив штам Bt 0371, значення якого становило — 31,3. Значення ЦКІ, які не виходили за межі оптимального отримали за обробки дерев штамми Bt 0408, 0376 і Bt 787.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що оброблення яблунь біопрепаратами на основі штамів *B. thuringiensis* сприяє прояву стимулювального

ефекту на пероксидазну та поліфенолоксидазну ферментативну активність листків, збільшуючи їх концентрацію в листках, відповідно на 0,08–0,46 і 0,011–0,05 мг/г за 1 год залежно від штам, що свідчить про зміцнення імунітету та стійкості рослин до стрес-чинників.

Біоконтроль комах-фітофагів у яблуневому саду забезпечив одержання врожаю плодів у середньому на рівні 12,68–18,05 т/га. Найвищу врожайність одержали за оброблення рослин препаратами на основі штамів *B. thuringiensis* 0408 та 0376, що сягають у середньому 18,05 і 17,29 т/га, відповідно. Врожайність яблуні за умов хімічного захисту від комах-фітофагів сягала в середньому 17,38 т/га. Плоди яблуні сорту Джонаголд мають високі смакові якості, і досліджувані біоінсектициди на основі штамів *B. thuringiensis* 0376, 0408, 787 не чинили істотного впливу на баланс цукрів і органічних кислот у них.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басанець, О. (2024, травень 07). За 2023 рік площі насаджень плодових та ягідних культур скоротилися на 187,1 тис. га. *SuperAgronom.com*. URL: <https://superagronom.com/news/18894-za-2023>.
2. Plant Health. Biological Control Program. (2024, September 3). Retrieved from <https://www.aphis.usda.gov/plant-pests-diseases/biocontrol>.
3. Shan, C., Xue, Ch., & Zhang, L. (2024). Effects of different spray parameters of plant protection UAV on the deposition characteristics of droplets in apple trees. *Crop Protection*, 184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106835>.
4. Gunchak, M., & Skorreyko, A. (2018). Protection of apple plants from diseases in the conditions of the Western Forest-steppe. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety*, 64, 41–48. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.41-48>.
5. Шерстобоева, О. В., Крижанівський, А. Б., & Крижко, А. В. (2021). Екологічні переваги застосування мікробіометоду в інтегрованій системі захисту рослин. *Агроекологічний журнал*, 3, 27–32. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240318>.
6. Патика, М. В., & Патика, Т. І. (2020). Симбіонтні мікробні угруповання комах: функціонування та ініціація потенціалу ентомопатогенної дії на прикладі *Bacillus thuringiensis*. *Мікробіологічний журнал*, 82(1), 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.01.062>.
7. Ugur, A., Jouzani, Gh., Sansinenea, E., & Sanchis-Borja, V. (2023). Biotechnological advances in *Bacillus thuringiensis* and its toxins: Recent updates. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22(2), 319–348. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09652-5ff>.
8. Eads, D., Jaronski, S., & Biggins, D. (2021). Insect Pathogenic Fungi for Biocontrol of Plague Vector Fleas: A Review. *Journal of Integrated Pest Management*, 12, 1. DOI: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab028>.
9. Yüksel, E., Özdemir, E., & Albayrak, D. (2022). Insecticidal activities of the local entomopathogenic nematodes and cell-free supernatants from their symbiotic bacteria against the larvae of fall webworm, *Hyphantria cunea*. *Experimental Parasitology*, 242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108380>.
10. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні (2024). URL: <https://eco.gov.ua/registers/perelik-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-dlya-vikoristannya>.
11. Патика, Т. І., Бойко, М. В., & Патика, М. В. (2017). Біотехнологічна поліфункціональність метаболітного споро-кристалічного комплексу та особливості культивування *Bacillus thuringiensis*. *Мікробіологічний журнал*, 79(2), 78–85. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj79.02.078>.
12. Бойко, М. В., Патика, М. В., Борко, Ю. П., & Патика, Т. І. (2022). Функціональна активність *Bacillus thuringiensis* у природному середовищі фітофагів

- (на прикладі популяції *Leptinotarsa decemlineata* Say.). *Сільськогосподарська мікробіологія*, 35, 66–72. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.66-72>.
13. Полшатов, Г. (2021). Фітопатогени та фітофаги в системі захисту рослин в аграрному бізнесі. У Б. В. Єгоров (Ред.), *Збірник тез доповідей 81 наукової конференції* (с. 58–60). Одеса.
14. Hunchak, M., Zaitsev, Y., & Shapran, S. (2023). Efficiency of application of different apple trees protection systems against harmful organisms in the Precarpathian province of the Carpathian mountain area of Ukraine. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety*, 68, 67–83. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.67-83>.
15. Gunchak, M. (2018). Biological preparations for apple protection from green apple aphid in South-western forest-steppe of Ukraine. *Наукові доповіді НУБіП України*, 2, 72. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dorovidi2018.02.012>.
16. Грицаєнко, З. М., Грицаєнко, А. О., & Карпенко, В. П. (2003). *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів* (З. М. Грицаєнко, Ред.). Київ: ЗАТ «Нічлава».
17. Гриненко, У. В., & Журавель, І. О. (2017). Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів в листі шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.). *Зб. наук. прац. співробіт. НМАПО імені П.Л. Шупика*, 28, 29–33. URL: <https://www.nuozu.edu.ua/images/Nauka/Zbirnyk/28/5.pdf>.
18. Волкогон, В. В., Надкернична, О. В., & Токмакова, Л. М. (2010). *Експериментальна ґрунтова мікробіологія* (В. В. Волкогон, Ред.). Київ: Аграрна наука.
19. Крижанівський, А. Б. (2015). Ферментативна активність листя яблуні за впливу штамів *Bacillus thuringiensis* та Конфідору Екстра. *Агроекологічний журнал*, 3, 133–136. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2015.317921>.
20. Шерстобоева, О. В., Крижанівський, А. Б., & Бунас, А. А. (2021). Антагонізм *Bacillus thuringiensis* до фітопатогенних мікроміцетів — збудників хвороб яблуні. *Агроекологічний журнал*, 2, 71–77. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234460>.

Стаття надійшла до редакції журналу 05.12.2024