

УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.7>

ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ТОМАТУ У ФОРМУВАННІ ЯКОСТІ УРОЖАЮ ЗА ВИРОЩУВАННЯ В ТЕПЛИЧНИХ УМОВАХ НА КРАПЕЛЬНОМУ ЗРОШЕННІ

Вергелес П.М. – к. с.-г. н., доцент,

завідувач кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин,

Вінницький національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-4101-1465

Гуменюк О.В. – аспірант кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин,

Вінницький національний аграрний університет

orcid.org/0009-0000-5187-2739

У статті представлено результати багаторічних досліджень (2022–2025 рр.) ефективності різних систем захисту тепличного томата від основного комплексу шкідників, а також їх вплив на господарську продуктивність і якісні показники врожаю. Встановлено, що середня біологічна ефективність класичної системи захисту становила 83,72%, біологічної – 73,03%, біологічної посиленої – 78,71%, що свідчить про перевагу хімічної системи за рівнем контролю шкідників, але також підтверджує значний потенціал біологізованих технологій.

Доведено статистично значущі відмінності ефективності залежно від виду фітофага. Найвищі показники контролю відмічено щодо павутинного кліща, оранжереїної попелиці та тепличної білокрилки, тоді як найнижча ефективність характерна для тютюнового трипсу. Показано, що біологічні інсектициди забезпечують достовірне зниження чисельності шкідників, а найбільшу ефективність демонструє біологічна посилена система, що вказує на синергічну дію різних біологічних агентів.

Аналіз господарської ефективності засвідчив, що застосування біологічних систем сприяє підвищенню маси плодів, товарності продукції та частки стандартних плодів, яка перевищувала контроль на 16,7–21,1%. Виявлено позитивний вплив біологічних препаратів на біохімічний склад плодів томата, зокрема на вміст сухих речовин, аскорбінової кислоти, каротиноїдів, флавоноїдів та цукрів. Найвищі показники покращення за більшістю якісних характеристик отримано у варіанті біологічної посиленої системи захисту.

Отримані результати свідчать про доцільність використання біологізованих систем захисту в технологіях тепличного вирощування томатів як ефективною альтернативою або доповнення до класичних хімічних схем, особливо з урахуванням вимог до якості та екологічної безпеки продукції.

Ключові слова: томати, ентомокомплекс, біоінсектициди, біологічна ефективність, система захисту, якість урожаю.

Verheles P.M., Humeniuk O.V. Effectiveness of biological protection systems for tomato in yield quality formation under greenhouse cultivation with drip irrigation

The article presents the results of long-term studies (2022–2025) on the effectiveness of different protection systems for greenhouse tomatoes against the main pest complex, as well as their impact on yield performance and product quality parameters. It was established that the average biological effectiveness of the conventional protection system was 83.72%, the biological system 73.03%, and the enhanced biological system 78.71%, indicating the advantage of the chemical system in terms of pest control level, while also confirming the significant potential of biologized technologies.

Statistically significant differences in effectiveness depending on pest species were demonstrated. The highest control levels were recorded for the two-spotted spider mite,



© Вергелес П.М., Гуменюк О.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

greenhouse aphid, and greenhouse whitefly, whereas the lowest effectiveness was observed against tobacco thrips. It was shown that biological insecticides provide a reliable reduction in pest populations, with the enhanced biological system demonstrating the highest effectiveness, indicating a synergistic effect of different biological agents.

Analysis of economic efficiency showed that the application of biological systems contributed to an increase in fruit weight, marketability, and the proportion of standard fruits, exceeding the control by 16.7–21.1%. A positive effect of biological products on the biochemical composition of tomato fruits was also observed, particularly in terms of dry matter, ascorbic acid, carotenoids, flavonoids, and sugars. The highest improvement across most quality indicators was obtained in the variant with the enhanced biological protection system.

The obtained results indicate the feasibility of using biologized protection systems in greenhouse tomato production technologies as an effective alternative or complement to conventional chemical schemes, especially considering the requirements for product quality and environmental safety.

Key words: tomatoes, pest complex, bioinsecticides, biological efficiency, protection system, yield quality.

Постановка проблеми. У сучасному тепличному овочівництві одним із ключових завдань є отримання високоякісної та безпечної продукції за одночасного зниження екологічного навантаження на агроєкосистеми [1, с. 2–3]. Особливо це актуально для томата (*Solanum lycopersicum* L.), який займає провідні позиції серед овочевих культур закритого ґрунту та характеризується високою чутливістю до комплексу шкідливих організмів. У тепличних умовах найбільшої шкоди завдають білокрилки (*Trialeurodes vaporariorum*), трипси (*Frankliniella occidentalis*), павутинні кліщі (*Tetranychus urticae*) та мінери, що призводить до зниження врожайності, погіршення товарних якостей плодів і підвищення частки некондиційної продукції [2, с. 3–4].

Традиційні системи захисту рослин базуються на застосуванні синтетичних інсектицидів, однак їх інтенсивне використання супроводжується рядом негативних наслідків, зокрема формуванням резистентності у шкідників, накопиченням залишків пестицидів у продукції та порушенням екологічної рівноваги агроценозів [3, с. 5–7]. У зв'язку з цим дедалі більшого значення набуває впровадження біологічних методів захисту, які відповідають принципам сталого та органічного землеробства [4, с. 10].

Біологічні інсектициди, що базуються на використанні ентомопатогенних мікроорганізмів (бактерій, грибів, вірусів) або природних біологічно активних сполук, забезпечують ефективний контроль шкідників за мінімального впливу на довкілля та безпечності для людини [5, с. 3–4]. Найбільш поширеними є препарати на основі *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, а також рослинні екстракти, які проявляють інсектицидні, репелентні та антимікробні властивості.

Окрім безпосереднього впливу на чисельність шкідників, біологічні інсектициди можуть опосередковано впливати на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, що, у свою чергу, визначає формування якісних показників урожаю [6, с. 188–189]. Зокрема, відзначається тенденція до підвищення вмісту сухих речовин, цукрів, органічних кислот, антиоксидантів (лікопену, аскорбінової кислоти), а також покращення органолептичних властивостей плодів [7, с. 2–3]. Водночас ефективність таких препаратів значною мірою залежить від умов мікроклімату теплиць, технології вирощування та інтеграції з іншими елементами системи захисту рослин [8, с. 2–3].

Незважаючи на значну кількість досліджень у цьому напрямі, питання впливу біологічних інсектицидів саме на якість урожаю томатів у тепличних умовах

залишається недостатньо вивченим, особливо з урахуванням сучасних інтенсивних технологій вирощування [9, с. 661–662; 10, с. 1–2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному тепличному овочівництві все більшої актуальності набуває застосування біоінсектицидів як екологічно безпечної альтернативи хімічним засобам захисту. Їх використання спрямоване не лише на ефективний контроль шкідників, але й на збереження та покращення якості продукції, зокрема плодів томата [11, с. 2–5].

Біоінсектициди, створені на основі бактерій, грибів, вірусів або рослинних екстрактів, характеризуються відсутністю токсичних залишків у продукції та мінімальним впливом на навколишнє середовище. Дослідження показують, що їх застосування дозволяє отримувати продукцію високої якості без негативного впливу на товарні та біохімічні показники плодів [12, с. 777; 13, с. 41132].

Значна кількість наукових робіт присвячена вивченню впливу біологічних препаратів на фізико-хімічні властивості томатів. Зокрема, встановлено, що біологічні засоби можуть опосередковано покращувати якість плодів через ефективний контроль шкідників, що знижує стрес рослин і сприяє нормальному формуванню врожаю [14, с. 288–290]. У дослідженні біопестицидів доведено їх позитивний вплив на якість томатів, зокрема через підвищення товарності та зменшення пошкоджень плодів [15, с. 675–677].

Важливим аспектом є вплив біоінсектицидів на біохімічний склад плодів [16, с. 2–4]. Дослідження, пов'язані з використанням мікробіологічних агентів, свідчать про підвищення вмісту антиоксидантів, фенольних сполук, каротиноїдів та вітаміну С у плодах томата [17, с. 1–3]. Подібні ефекти пояснюються активацією захисних механізмів рослин і покращенням метаболічних процесів. Зокрема, застосування біологічних препаратів і споріднених біостимуляторів сприяє збільшенню маси плодів, їх розміру, щільності м'якоти та вмісту сухих речовин [18, с. 43–45]. Окремі дослідження також демонструють позитивний вплив біологічного контролю на післязбиральні показники якості [19, с. 1–2]. Використання мікробних агентів (*Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp.) знижує розвиток гнилей, зменшує втрати маси плодів під час зберігання та сприяє збереженню щільності та вмісту розчинних сухих речовин [8, с. 2].

Разом з тим, у науковій літературі зазначається, що вплив біоінсектицидів на якість плодів може бути неоднозначним і залежить від умов вирощування, сорту та технології застосування [20, с. 3]. У деяких випадках спостерігається відсутність суттєвих змін у таких показниках, як вміст цукрів або кислотність, що свідчить про стабільність якості продукції при використанні біологічних засобів [21, с. 121–123; 22, с. 2–3; 23, с. 41–42; 24, с. 2; 25, с. 124].

Отже, аналіз сучасних досліджень свідчить, що біоінсектициди не лише забезпечують ефективний захист томатів від шкідників у закритому ґрунті, але й сприяють формуванню високоякісної продукції. Їх застосування дозволяє підвищити харчову цінність плодів, покращити їх товарні властивості та зменшити втрати під час зберігання. Водночас ефективність таких препаратів значною мірою залежить від системного підходу до їх використання, включаючи моніторинг шкідників і дотримання технологічних умов вирощування.

Мета дослідження. Метою досліджень було експериментальне оцінювання ефективності застосування сучасних біологічних інсектицидів у поєднанні з традиційними хімічними препаратами, що широко використовуються в тепличних господарствах України.

Матеріали та методи дослідження. Дослідні роботи виконували упродовж 2022–2025 рр. на базі підприємства ТОВ «Овочевий комбінат Станишівка» (Житомирська область, Житомирський район, с. Станишівка). Загальна площа тепличного комплексу становила 6 га. Вирощування томата здійснювали у другому обороті з використанням мінеральної вати як субстрату та системи крапельного зрошення. Висаджування розсади проводили 24 червня за густоти стояння 2,5 рослини на 1 м². У досліді використовували гібрид Лілос.

У якості субстрату було використано мінеральну вату Belagro при застосуванні крапельного поливу. Крапельний полив проводився з такою технологічною схемою:

- розсада – 2 полива в місяць по 100 мл під рослину;
- цвітіння – 5–10 поливів по 100 мл під рослину (в залежності від освітлення);
- плодоношення – 10–40 поливів (в залежності від генерації рослини, освітлення і плодоношення).

Система коректування живлення здійснювалась сумісно із крапельним зрошенням і передбачала додавання на 1 т води: калійна селітра 0,7 кг, кальцієва селітра 0,5 кг, магнієва селітра 0,5 кг, монофосфат калію 0,25 кг. Для стимуляції і оптимізації ростових процесів було застосовано з внесенням двічі під корінь з інтервалом у 14 днів Радіфарму (6 л/га) та Превікуру Енерджі (3 л/га).

До групи біопрепаратів входили Бітоксисабацилін-БТУ, Лепідоцид-БТУ та Актосерм 1,8% к.е. Серед хімічних інсектицидів застосовували Моспілан, Актеллік 500 ЕС (к.е.) та Конфідор 200 SL (р.к.).

Ключовим критерієм оцінки ефективності систем захисту був рівень урожайності, а також якісні характеристики продукції порівняно з контрольним варіантом. Урожайність визначали шляхом зважування зібраних плодів із подальшим підсумовуванням врожаю на стадіях технічної та біологічної стиглості з перерахунком на одну рослину та на одиницю площі (м²). Рівень товарності встановлювали за часткою стандартних плодів у загальному врожаї.

Додатково оцінювали середню масу плодів, ступінь їх вирівняності, а також частку пошкодженої продукції. Аналіз показників якості проводили в умовах незалежного центру лабораторних досліджень «Еталон» – акредитованої випробувальної лабораторії відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (атестат акредитації № 20846, чинний до 09.03.2030 р.). Для цього відбирали зразки плодів у фазі технічної стиглості масою до 500 г із двох несуміжних повторень. Проби пакували у герметичні пакети із зіп-застібкою, маркували та направляли до лабораторії для подальшого аналізу.

Оцінювання якісних характеристик плодів томата в лабораторних умовах проводили із застосуванням як національних, так і європейських нормативних документів і методичних підходів, що регламентують аналіз продукції овочевих культур відкритого та закритого ґрунту [26, с. 199–200]. Дослідження виконували відповідно до узагальненого переліку показників якості:

- вміст сухих речовин (%) – гравіметричним методом;
- вміст загальних цукрів (%) – методом Бертрана;
- вміст аскорбінової кислоти, каротиноїдів, флаваноїдів (у мг/100 г) – титриметричним методом;
- вміст лікопену (мг/кг) – спектрофотометрично.

Загальну структуру експерименту наведено в таблиці 1. Норми витрати препаратів визначали на основі чинних рекомендацій [27, с. 3–5] з урахуванням технологічних регламентів, оприлюднених на офіційних ресурсах дистриб'юторів використаних засобів захисту рослин.

Таблиця 1

**Схема досліду щодо варіантів захисту для обмеження чисельності
ентомофауни шкідників томата у тепличному виробництві, 2022–2024 рр.**

№ варіанту	Обприскування		
	фаза сформованих 8–10 листків на головному пагоні ВВСН 42–44	фаза появи 1–3 суцвіття ВВСН 50–53	фаза початку росту плодів ВВСН 70–73
1. Контроль (абсолютний)	Обприскування водою		
2. Класична система захисту–контроль технологічний	Актеллік 500 ЕС, к. е., 0,50 мл/м ²	Моспілан р.п., – 30 мг/м ²	Конфідор 200 SL, РК, 0,05 мл/м ²
3. Біологічна система захисту	Бітоксубацилін-БТУ, КС 0,7 мл/м ²	Лепідоцид-БТУ, КС 0,7 мл/м ²	Актоверм 1,8% КЕ, 1 мл/м ²
4. Біологічна система захисту посилена	Бітоксубацилін-БТУ, КС 0,7 мл/м ² + Актоверм 1,8% КЕ, 0,7 мл/м ²	Лепідоцид-БТУ, КС 0,7 мл/м ² + Актоверм 1,8% КЕ, 0,7 мл/м ²	Актоверм формула р.(с.), 1,0 мл/м ²

Випробування пестицидів, що вносили шляхом обприскування, здійснювали за умови досягнення середньої чисельності шкідників, близької до економічного порогу шкодочинності для відповідного виду [28, с. 15–20].

Супровідні фенологічні спостереження, обліки та моніторинг популяцій шкідників у тепличних умовах проводили з урахуванням їх біологічних особливостей відповідно до чинних методичних рекомендацій з овочівництва [29, с. 7–10; 30, с. 5–12; 31, с. 5–8; 32, с. 53–55].

Загальну оцінку біологічної ефективності застосованих систем захисту застосовували рівняння Аббота [31, с. 4], що враховує як базовий рівень чисельності у контрольному варіанті:

$$E = 100 (K - O) / K,$$

де: E – біологічна ефективність, виражена у відсотках з урахуванням контролю;

K – чисельність живих особин шкідника у контрольному варіанті на момент обліку;

O – чисельність живих особин у дослідному варіанті в той самий період.

Оцінку господарської ефективності систем захисту томатів оцінювали за рівнем приросту урожайності та супутніх показників біологічної продуктивності рослин томату відповідно до базових показників такої оцінки [29, с. 10–12].

Рівень товарності у % визначали як відношення частки товарних зібраних плодів до загального обсягу зібраних плодів, відповідно до вимог оцінки товарної якості тепличного томата [29, с. 12].

Обробку отриманих експериментальних даних виконували методом дисперсійного аналізу (ANOVA). Оцінювання статистичної значущості різниць між середніми значеннями проводили за критерієм найменшої істотної різниці (LSD) при рівні значущості $p < 0,05$. Для розрахунків застосовували стандартні статистичні програмні пакети [33, с. 27–30].

Виклад основного матеріалу дослідження. По результатах тривалого обліку біологічної ефективності застосованих систем захисту за вирощування томатів з огляду на ідентифіковані основні шкідники визначено істотні відмінності за рівнем їх біологічної ефективності по відношенню до об'єкта контролю (тютюнового трипса (*Thrips tabaci* Lind.), оранжерейної попелиці (*Myzodes persicae* Sulz), звичайного павутинного кліща (*Tetranychus urticae* Koch.), тепличної білокрилки (*Trialeurodes vaporariorum* Weswood)) (рис. 1).

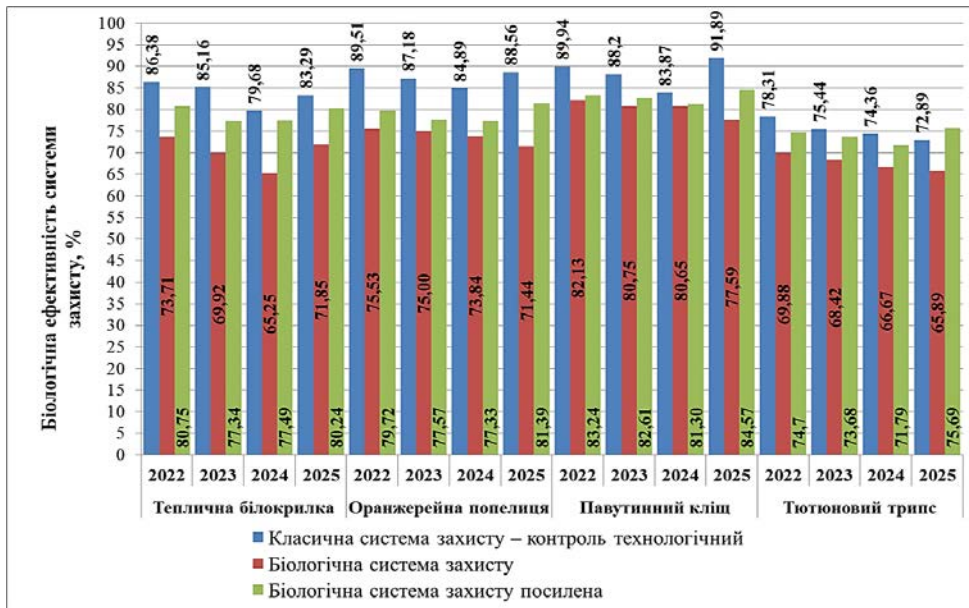


Рис. 1. Біологічна ефективність застосованих систем захисту томата від основних фітофагів за його вирощування в умовах теплиці з режимом крапельного зрошення, %, 2022–2025 рр. (при НІР₀₅ 2,07)

За оцінками в період 2022–2025 рр. визначено середню біологічну ефективність застосованих систем захисту тепличного томата на такому рівні: класична система захисту – 83,72%, біологічна система – 73,03% та біологічна система посилена – 78,71%.

Встановлена і статистично значима відмінність щодо рівнів біологічної ефективності для різних видів фітофагів. За відмічений період досліджень максимальний рівень даного показника було відмічено по відношенню контролю павутинного кліща 83,90% усереднено по варіантах застосованого захисту з максимальним значенням при застосуванні класичної системи захисту 88,48% при значенні для біологічної посиленої системи захисту у значенні 82,93%.

Друге місце було отримано у варіанті контролю оранжерейної попелиці, де вказані показники становили 87,54% та 79,00%.

За контролю тепличної білокрилки у середньому за період досліджень класична система захисту забезпечила біологічну ефективність 83,63%, біологічна 70,18% та біологічна посилена – 78,96%.

Найнижчу біологічну ефективність зафіксовано за контролю тютюнового трипсу – середня по варіантах досліджу 72,31%.

Застосування біологічних інсектицидів забезпечило достовірне зниження чисельності шкідників у всіх дослідних варіантах. Найвищу ефективність продемонстрував варіант із посиленням біологічним захистом. Це свідчить про синергійний ефект поєднання різних біологічних агентів, які впливають на шкідників через різні механізми дії.

У загальному підсумку біологічну ефективність контролю основного шкідливого ентомокомплексу томатів в умовах досліджу можна розмістити за таким рядом зростання:

- за варіантами систем: біологічна система захисту – біологічна посилена система захисту – класична система захисту;
- за видами фітофага: тютюновий трипс – теплична білокрилка – оранжерейна попелиця – павутинний кліщ.

Отримані результати позитивно співвідносяться з рядом досліджень за тепличного вирощування томатів у різних ґрунтово-кліматичних зонах [1, с. 8–10; 4, с. 11–13; 8, с. 8–11; 13, с. 41140–41143; 15, с. 680–682].

Оцінений рівень господарської ефективності систем захисту також мав певні відмінності у розрізі застосованих варіантів систем захисту (табл. 3).

За результатами представленої оцінки застосовані системи захисту мали істотно відмінний вплив на формування господарської ефективності вирощування томатів.

Так, у співставленні до абсолютного контролю для варіанту класичної системи захисту приріст показника середньої маси плоду був у значенні 14,41%, товарності плодів 16,25%.

Для варіанту біологічної системи захисту вказані показники становили 3,67% та 23,59%, а для біологічної посиленої – 9,22% та 13,74% відповідно.

У підсумку варіант класичної системи захисту та біологічно посилений забезпечили близький рівень продуктивності, що підкреслює потенціал біологічного варіанту захисту за відповідної системи комплектування препаратів у технології тепличного вирощування томатів та позитивно узгоджується з оцінками доцільності та необхідності біологізації систем захисту овочевих культур та томата в умовах контрольованого клімату та закритого ґрунту [19, с. 7–10; 22, с. 7–8].

Таблиця 2

Середні за період оцінки натуральні показники господарської ефективності системи захисту томата гібриду Лілос вирощуваного в теплицях у режимі зрошення (середнє за 2022–2025 рр.)

Дослідний варіант систем захисту	Середня маса одного плоду, г	Товарність плодів, %
Контроль (абсолютний) (обробка водою)	138,8 ± 11,7	80,8 ± 6,1
Класична система захисту – контроль технологічний	157,8 ± 11,8	93,9 ± 6,3
Біологічна система захисту	143,9 ± 9,3	87,5 ± 4,9
Біологічна система захисту посилена	151,6 ± 9,7	91,9 ± 4,8
$HIP_{0,5} \text{ кг/М}^2$	2,54	1,57

Особливо важливим є підвищення товарності продукції [16, с. 6]. Частка стандартних плодів у варіантах із біологічним захистом перевищувала контроль на 66,7–13,1%, що зумовлено зменшенням пошкоджень шкідниками та більш рівномірним розвитком плодів. У контрольному варіанті відзначено підвищену частку деформованих і пошкоджених плодів, що негативно впливало на комерційну цінність урожаю.

Проведені дослідження засвідчили також, що застосування біологічних пестицидів у технології вирощування томатів у тепличних умовах суттєво впливає як на фітосанітарний стан насаджень, так і на формування якісних показників урожаю (табл. 4).

Таблиця 3

**Середні за період оцінки біохімічні показники якості плодів
томата гібриду Лілос вирощуваного в теплицях у режимі зрошення
(середнє за 2022–2025 рр.)**

Дослідний варіант систем захисту	Показники (вміст) на фенологічну фазу повного формування плодів (ВВСН 73–79)					
	Сухих речовин, %	Аскорбінової кислоти, мг/кг	Каротиноїдів, мг/100 гр	Флавоноїди, мг/100 г	Моно- і дисахаридів, %	Загальна кількість мікроелементів, мг/кг*
Контроль (абсолютний) (обробка водою)	5,59	21,52	0,12	11,4	4,87	73,06
Класична система захисту – контроль технологічний	5,69	22,08	0,15	12,5	5,16	75,69
Біологічна система захисту	5,77	22,19	0,15	12,8	5,24	77,21
Біологічна система захисту посилена	5,89	22,68	0,18	13,1	5,32	78,89
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,17</i>	<i>0,19</i>	<i>0,07</i>	<i>0,54</i>	<i>0,05</i>	<i>0,58</i>

*Примітка. *Входить вміст таких мікроелементів як: магній, залізо, цинк, мідь, марганець, бор, молібден.*

Аналіз хімічного складу плодів томата показав, що біологічні інсектициди мають не лише захисну, але й опосередковану фізіологічну дію на рослини.

По результатах середньобагаторічної оцінки застосування систем захисту в цілому позитивно вплинуло на біохімічний склад плодів. Зокрема, у плані покращення якості вирощеної продукції біологічні варіанти контролю фітофагів томатів в умовах досліду мали істотні статистичні переваги як перед контрольним варіантом, так і перед класичною системою захисту за використання рекомендованих інсектицидів штучного хімічного походження.

Визначено загальний приріст у відносному відсотковому виразі вмісту сухих речовин в плодах томатів у співставленні до контролю на 1,8% за використання варіанту класичної системи захисту та за подібного зростання на 3,22% та 5,37% даного критерію у варіантах біологічного та посиленого біологічного захисту відповідно.

Відмічено аналогічну прирістну динаміку і за оцінки вмісту аскорбінової кислоти: у співставленні до контролю відповідно 2,60%, 3,11% та 5,40% у тому ж ряду оцінки варіантів.

Вміст каротиноїдів мав найменш чутливий реакційний відклик на застосовані системи захисту – у значенні до контролю 8,33% відносного приросту у варіанті класичної системи контролю чисельності шкідників та по 16,67% у варіантах біологічної та біологічної посиленої системи захисту.

Позитивний вплив саме біологічної посиленої системи захисту від шкідників було відмічено і з позиції впливу на вміст флавоноїдів – 14,91% до контролю, що на 5,26% було вищим ніж у варіанті класичної системи захисту та на 2,63% вищим, ніж у варіанті біологічної системи.

Реакція плодів томату на застосовані системи захисту була відмічена і з позиції вмісту цукрів (загальний вміст моно- і дисахаридів) – від 5,95% до контролю у варіанті класичної системи захисту до 9,24% відносного приросту у варіанті біологічної посиленої системи захисту.

За рахунок відміченого в окремих дослідженнях позитивного впливу систем захисту, особливо біоорганічного походження, на поліпшення загального обміну та динаміки накопичення основних біохімічних компонентів в ході дозрівання плодів томата [20, с. 7–11; 25, с. 128–129; 26, с. 208–210] встановлено загальний позитивний вплив на мікроелементний склад вирощеного врожаю за концентрацією комплексу мікронутрієнтів. Максимальний позитивний ефект при цьому було відмічено за даним параметром оцінки у варіанті біологічної посиленої системи захисту проти шкідників з відносним приростом до контрольного варіанту на рівні 8,0%.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведених досліджень упродовж 2022–2025 рр. встановлено, що застосування різних систем захисту томатів у тепличних умовах суттєво впливає як на фітосанітарний стан насаджень, так і на показники продуктивності та якості врожаю.

Визначено, що найвищий рівень біологічної ефективності забезпечила класична система захисту (83,72%), тоді як біологічна та біологічна посилена системи поступалися їй і становили відповідно 73,03% та 78,71%. Водночас встановлено статистично достовірні відмінності ефективності залежно від виду фітофага. Найвищий рівень контролю досягнуто щодо павутинного кліща (у середньому 83,90%), де максимальну ефективність забезпечила класична система (88,48%), тоді як біологічна посилена система мала дещо нижчі, але близькі показники (82,93%). Аналогічна тенденція відмічена щодо оранжерейної попелиці та тепличної білокрилки. Найменш ефективним виявився контроль тютюнового трипсу (72,31%), що свідчить про складність регуляції цього шкідника.

Застосування біологічних інсектицидів забезпечило достовірне зниження чисельності шкідників у всіх варіантах досліду, при цьому найкращі результати продемонструвала біологічна посилена система захисту. Це підтверджує наявність синергічного ефекту від поєднання різних біологічних агентів із різними механізмами дії.

Оцінка господарської ефективності показала, що класична та біологічна посилена системи забезпечили близький рівень продуктивності. Зокрема, приріст (тут і надалі у відносному виразі) середньої маси плоду становив 14,41% у класичному варіанті та 9,22% у біологічному посиленому, тоді як товарність плодів зроста відповідно на 16,25% і 13,74%. Важливим результатом є підвищення частки стандартної продукції у варіантах із біологічним захистом, що обумовлено зменшенням пошкоджень плодів і більш рівномірним їх формуванням.

Встановлено також позитивний вплив систем захисту, особливо біологічного спрямування, на біохімічні показники якості плодів. Біологічні системи сприяли підвищенню вмісту сухих речовин (до 5,37%), аскорбінової кислоти (до 5,40%), каротиноїдів (до 16,67%), флавоноїдів (до 14,91%) та цукрів (до 9,24%) порівняно з контролем. Найбільш виражений позитивний ефект за більшістю показників відмічено у варіанті біологічної посиленої системи захисту. Крім того, встановлено покращення мікроелементного складу плодів із максимальним приростом до 8,0%.

Таким чином, біологічна посилена система захисту, хоча і дещо поступається класичній за рівнем біологічної ефективності, забезпечує високий рівень господарської ефективності та має суттєві переваги щодо формування якості продукції, що підтверджує доцільність її використання у сучасних технологіях тепличного вирощування томатів.

Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення біологізованих систем захисту томатів у закритому ґрунті з метою підвищення їх ефективності та стабільності дії.

Перспективним є: оптимізація складу біологічних препаратів і створення ефективних консорціумів мікроорганізмів та ентомофагів; розробка технологічних регламентів застосування біоінсектицидів з урахуванням біологічних особливостей основних фітофагів, особливо тютюнового трипсу як найменш контрольованого виду; дослідження впливу мікрокліматичних умов теплиць на ефективність біологічних агентів; вивчення довгострокового впливу біологічних систем захисту на родючість субстратів та фітосанітарний стан агроценозів; поглиблене дослідження фізіолого-біохімічних механізмів впливу біопрепаратів на формування якості плодів; інтеграція біологічних методів із цифровими системами моніторингу шкідників для підвищення точності та своєчасності захисних заходів.

Реалізація зазначених напрямів дозволить підвищити ефективність біологізованого захисту та забезпечити отримання високоякісної і безпечної продукції томатів у тепличних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Shahini S, Bërxolli A, Kokojka F. Effectiveness of bio-insecticides and mass trapping based on population fluctuations for controlling *Tuta absoluta* under greenhouse conditions in Albania. *Heliyon*. 2021. Vol. 7. № 1. e05753. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05753>
2. Aynalem B., Muleta D., Jida M., Shemekite F., Aseffa F. Biocontrol competence of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Bacillus thuringiensis* against tomato leaf miner under greenhouse conditions. *Heliyon*. 2022. 8(6), e09694. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09694>
3. Ivezić A., Popović T., Trudić B., Krndija J., Barošević T., Sarajlić A., Stojčić, I., & Kuzmanović, B. Biological Control Agents in Greenhouse Tomato Production (*Solanum lycopersicum* L.): Possibilities, Challenges and Policy Insights for Western Balkan Region. *Horticulturae*. 2025. Vol. 11. № 2. 155. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020155>
4. Abdel-Razek A. S., Abd El-Ghany N. M., Djelouah K., Moussa A. An evaluation of some eco-friendly biopesticides against *Bemisia tabaci* on two greenhouse tomato varieties in Egypt. *Journal of Plant Protection Research*. Vol. 57. № 1. P. 9–17. <https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0002>
5. EL Roby A.S.M.H., Hussein S.M. Behavior of bio- and chemical insecticides in tomato ecosystem in Minia Governorate. *Acta Ecologica Sinica*. 2018. CHNAES-00594. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.08.004>

6. Jallow M.F.A., Dahab A.A., Albaho M.S., Devi V.Y. Efficacy of some biorational insecticides against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under laboratory and greenhouse conditions in Kuwait. *Journal of Applied Entomology*. 2019. Vol. 143. P. 187–195. <https://doi.org/10.1111/jen.12588>
7. Dag M.M., Yilmaz H. Evaluation of Pesticide Use in Greenhouse Tomato Production in the Context of Sustainability, Food Safety and Export Residue Notifications. *Journal of Agricultural Sciences*. 2025. Vol. 31. № 1. P. 46–58. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1469332>
8. Badu P.R. Greenhouse Technology for Controlled Environment Crop Production. *International Journal For Multidisciplinary Research*. 2023. Vol. 5. № 5. P. 1–13. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i05.7164>
9. Chamuah S., Kiran N., Amin D.M., Sultana Al. N., Hansda N.N., Noopur K. Protected Vegetable Crop Production for Long-term Sustainable Food Security. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. Vol. 30. № 5. P. 660–669. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i51984>
10. Maureira F., Rajagopalan K., Stöckle C. O. Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems. *Journal of Cleaner Production*. 2022. 337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130459>
11. Michalis E., Giatra C. E., Skordos D., Ragkos A. Assessing the Different Economic Feasibility Scenarios of a Hydroponic Tomato Greenhouse Farm: A Case Study from Western Greece. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. № 19. <https://doi.org/10.3390/su151914233>
12. Singh K.A.P., Goutam P.K., Xaxa S., Pandey S.K., Panotra N. The Role of Greenhouse Technology in Streamlining Crop Production. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2024. Vol. 46. № 6. P. 776–798. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i62532>
13. Zhou W., Arcot Y., Medina R. F., Bernal J., Cisneros-Zevallos L., Akbulut M.E.S. Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. *ACS Omega*. 2024. Vol. 9. № 40. P. 41130–41147. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>
14. Mario J., Chirinos D.T., Granja Guerra E., José G. Treatments with insecticides on control of *Trialeurodes vaporariorum* and tomato yield under greenhouse conditions. *Bioagro*. 2024. Vol. 36. № 3. P. 287–298. <https://doi.org/10.51372/bioagro363.4>
15. Sarr O.M., Bal A.B., Fossati-Gaschignard O., Gauthier N. Effectiveness of two biopesticides against the invasive tomato pest *Tuta absoluta*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2021. Vol. 169. P. 674–685. <https://doi.org/10.1111/eea.13047>
16. Avasiloaiei D. I., Calara M., Brezeanu P. M., Bălăiță C., Brumă I. S., Brezeanu C. Optimizing Tomato Yield and Quality in Greenhouse Cultivation Through Fertilization and Soil Management. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. № 9. 2045. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092045>
17. Sattar S., Iqbal A., Parveen A., Fatima E., Samdani A., Fatima H., Shahzad M. Tomatoes Unveiled: A Comprehensive Exploration from Cultivation to Culinary and Nutritional Significance. *Qeios*. 2024. P. 1–9. <https://doi.org/10.32388/CP4Z4W>
18. Umeohia U.E., Olapade A.A. Quality Attributes, Physiology, and Postharvest Technologies of Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) – A Review. *American Journal of Food Science and Technology*. 2024. Vol. 12. P. 42–64. <https://doi.org/10.12691/ajfst-12-2-1>
19. Lastochkina O., Aliniaiefard S., SeifiKalhor M., Bosacchi M., Maslennikova D., Lubyanova A. Novel Approaches for Sustainable Horticultural Crop Production: Advances and Prospects. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8. 910. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100910>
20. Wu W., Lin Z., Zhu X., Li G., Zhang W., Chen Y., Ren L., Luo S., Lin H., Zhou H. Improved Tomato Yield and Quality by Altering Soil Physicochemical Properties and Nitrification Processes in the Combined Use of Organic-Inorganic Fertilizers.

European Journal of Soil Biology. 2022. Vol. 109. 103384. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2022.103384>

21. Mitidieri M.S., Brambilla V., Barbieri M., Piris E., Celié R., Chaves E. Tomato Crop Health, Yield, and Greenhouse Soil Conditions after 17 Years of Repeated Treatments of Biofumigation and Solarization. *Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development. Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 8. P. 123–139 <https://doi.org/10.15377/2409-9813.2021.08.10>

22. Akhter W., Shah F.M., Yang M., Freed S., Razaq M., Mkindi A.G. Botanical biopesticides have an influence on tomato quality through pest control and are cost-effective for farmers in developing countries. *PLoS ONE*. 2023. Vol. 18. № 11. e0294775. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294775>

23. Kashyap L., Sharma D. C. Efficacy of insecticides and bio-pesticides for control of greenhouse whitefly on tomatoes in greenhouses in India. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 2016. Vol. 32. № 1. P. 40–49. <https://doi.org/10.3954/1523-5475-32.1.40>

24. Fenibo E.O., Matambo T. Biopesticides for sustainable agriculture: feasible options for adopting cost-effective strategies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. Vol. 9. 1657000. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1657000>

25. Ndereyimana A., Nyalala S., Murerwa P., Gaidashova S. Growth, yield and fruit quality of tomato under different integrated management options against *Tuta absoluta* Meyrick. *Advances in Horticultural Science*. 2020. Vol. 34. № 2. P. 123–132. <https://doi.org/10.13128/ahsc-7835>

26. Amr A., Raie W. Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 18. № 3. P. 199–220. <https://doi.org/10.35516/jjas.v18i3.444>

27. Перелік пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні на 2022 рік. К.: Юнівест маркетинг, 2022. 831 с.

28. Методики випробування і застосування пестицидів / [Трибеля С.О., Сігарьова Д.Д., Секун М.П., Іващенко О.О. та ін.]; за ред. С.О. Трибеля. К.: Світ, 2001, 448 с.

29. Бондаренко Г.Л. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / За редакцією Г.Л. Бондаренка, К.І. Яковенка. Х.: Основа, 2001. 369 с.

30. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур: підручник / [Й. Т. Покозій, В. М. Писаренко, С. В. Довгань та ін.]; за ред. Й. Т. Покозія. К.: Аграрна освіта, 2010. 223 с.

31. Schwarz D., Thompson A.J., Kläring H.P. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 18. № 5. 625. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00625>

32. Мельничук Ф. С. Контроль чисельності шкідників томатів за умов краплинного зрошення. *Меліорація і водне господарство*. 2018. № 2. С. 53–58.

33. Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. 2018. 589 p. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>

Дата першого надходження статті до видання: 29.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026