

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЧИСЛЕННОСТІ ШКІДНИКІВ У СУЧАСНИХ АГРОТЕХНОЛОГІЯХ

В.П. Федоренко¹, С.М. Мостов'як², І.І. Мостов'як²

¹ Інститут захисту рослин НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: tana57-2009@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7783-1617

² Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)
e-mail: s.mostoviak@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8322-8710
e-mail: mostovjak@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4585-3480

Питання захисту сільськогосподарських культур від шкідників постійно зберігає свою актуальність. Унаслідок шкідливої дії членистоногих щороку втрачають врожаю в світі становлять 18–20%, що оцінюється на суму понад 470 млрд дол. США. Більша частина втрач виробленого врожаю відбувається у польових умовах до збирання врожаю і потребує низки заходів захисту рослин від шкідників. Хімічний метод захисту рослин від шкідливих організмів продовжують застосовувати більшість агровиробників, що підтверджує позитивна динаміка розвитку ринку пестицидів у світі із щорічним зростанням на 2,5–3%. Серед спектра хімічних засобів захисту рослин продаж інсектицидів становить 25,3% світових продажів. Незважаючи на використання близько 3 млн т пестицидів на рік, рівень втрат урожаю від шкідливої ентомофауни залишається значним. Водночас, погіршення фітосанітарного стану агроєкосистем, що спричинено низкою абіотичних і біотичних чинників, потребує якісної оцінки стану і визначення напрямів перебудови комплексів шкідливих організмів в агробіоценозах та розроблення нових інноваційних, екологічно безпечних заходів контролю їх численності. У сучасних агротехнологіях вирощування сільськогосподарських культур дедалі ширше застосовують альтернативні екологічно безпечні методи контролю численності шкідників, що відповідає принципам інтегрованого захисту рослин і заміни хімічних інсектицидів на біологічні препарати або інші безпечні для навколишнього природного середовища методи. Про це свідчить позитивна динаміка розвитку світового ринку біопестицидів із прогнозом щорічного зростання на 14,7%, який до 2025 р. може досягнути 8,5 млрд дол. США. У лінійці біопестицидів за функціональним призначенням на світовому ринку 47% становлять препарати проти комах-фітофагів. Ефективний контроль численності шкідників у сучасних агротехнологіях базується на застосуванні біологічного контролю, мікробних пестицидів, хімічних сполук, що продукуються живими організмами і змінюють поведінку шкідників, вторинних метаболітів рослин (наприклад, феноли та поліфеноли, терпеноїди, алкалоїди), створенні стійких сортів рослин та імунізації рослин, тощо.

Ключові слова: шкідливі організми, комахи-фітофаги, втрати врожаю, контроль численності шкідників, біологічний контроль, інтегрований захист рослин.

ВСТУП

Шкідниками сільськогосподарських рослин є різні види комах, кліщі, багатоніжки, нематоди, слимаки, гризуни та деякі інші види зоологічних об'єктів. За їх шкідливої дії втрачають врожаю до і після збору можуть становити близько 80% загально-річного виробництва сільгосппродукції [1; 2].

Більшість шкідників сільськогосподарських культур за кількістю видів і зав-

даною шкодою, яка оцінюється майже у 90%, становлять представники класу комах (*Insecta*) тип членистоногі (*Arthropoda*). Членистоногі в усьому світі знищують близько 18–20% річного виробництва сільськогосподарських культур на суму понад 470 млрд дол. США [3].

Згідно із даними акад. НААН О. Борзих [4], в Україні у посівах сільськогосподарських культур досліджено близько 10 тис. видів шкідливої ентомофауни і 2 тис. видів нематод, понад 100 тис. збуд-

ників хвороб, які спричиняють значні втрати врожаю.

Більша частина втрат вирощеного врожаю (13–16%) відбувається у польових умовах до збирання врожаю [3]. Зокрема, потенційні втрати від шкідливої дії комах-фітофагів за вирощування пшениці сягають 9% порівняно з 16,3 та 23% за негативної дії патогенів, вірусів і бур'янів відповідно [2]. Тому без застосування систем захисту рослин від шкідників ведення аграрного виробництва є недоцільним.

Метою досліджень було проаналізувати наявні результати досліджень щодо ефективних екологічно безпечних методів контролю численності шкідників за вирощування сільськогосподарських культур.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологічну основу дослідження становили сучасні наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених та особисті дослідження, міжнародні нормативні документи й офіційні статистичні ресурси. Методи дослідження включали системний підхід, порівняльний аналіз та узагальнення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Складність вирішення проблеми захисту посівів сільськогосподарських культур від шкідників полягає в тому, що агроєкосистеми є відкритими штучно створеними системами, які постійно зазнають впливу різних чинників. А такі шкідливі організми, як комахи в процесі еволюції сформували високу пластичність та адаптивність до умов навколишнього середовища, широку екологічну валентність, що дає їм змогу протистояти впливу людини і природи [1]. Підтвердженням цьому є численні дослідження, які доводять формування резистентних до інсектицидів генотипів шкідливої ентомофауни (листова бурякова попелиця, сірий буряковий довгоносик); збільшення численності і шкідливості фітофагів, які раніше не мали господарського значення (коренева бурякова попелиця, південна соняшникова шипоноска, лобо-

дова щитоноска, мертвоїди); зміну особливостей біології, етології та екології (сірий буряковий довгоносик, крихітка, попелиці); перерозподіл домінант у ядрі шкідливих і корисних видів комах унаслідок змін у загальній структурі ентомокомплексів (ковалики: степовий, буроногий; довгоносики: звичайний сірий; звичайний; кукурудзяний жук); пристосування до нових кормових рослин (наприклад, ріпаковий квіткоїд до ріпаку, плодкових); розширення ареалів та зон шкідливості (хлібний турун, клоп шкідлива черепашка, кукурудзяний жук); посилення міжвидової конкуренції — за якої види з широкою екологічною валентністю розширюють свої ніші і стають домінантними (ріпаковий квіткоїд) [1; 5].

Узагальнення низки комплексних моніторингових досліджень показало, що вектор трансформації агроценозів за антропогенного і кліматичного впливу має негативні фітосанітарні наслідки, особливо щодо таких небезпечних домінантних видів, як клоп шкідлива черепашка, південна соняшникова шипоноска, листогризучі й підгризаючі совки, септоріоз, фузаріоз, піренофороз, альтернаріоз, гебіліоз, ризоктоніоз, іржаві та сажкові хвороби тощо [4; 6; 7].

Внаслідок потепління на території України відмічено розширення екологічних оптимумів різних домінантних видів фітофагів із півдня на північ. Так, у зоні Лісостепу набули статусу домінуючих більш теплолюбні види шкідників (наприклад, клоп шкідлива черепашка). Зафіксовано також зміни в динаміці численності мух злакових, трипси пшеничного, попелиць злакових, жуків хлібних, клопів хлібних. Теплі зими забезпечили добру перезимівлю шкідників, що позначилось на зростанні їх шкідливості та економічному значенні.

Серед виявлених 55 видів фітофагів у посівах пшениці озимої в Правобережному Лісостепу України, найбільш шкідливими були хлібні клопи-черепашки, попелиці злакові, трипс пшеничний, жуки хлібні, мухи злакові, цикадки, турун хлібний, п'явиці, блішка смугаста і пильщик хлібний звичайний [8; 9].

Збільшення кількості популяцій, шкідливості та розширення ареалів фітофагів відбувається і внаслідок нераціонального застосування інсектицидів, а саме фосфорорганічних сполук та синтетичних піретроїдів, ефективність яких знизилась до 46–60%, у т.ч. за рахунок сформованої резистентності [10].

На відміну від польових агроценозів, багаторічні плодови/ягідні насадження мають високий рівень екологічної ємності. У таких агроценозах за відсутності сівозміни формується особливе середовище, що сприяє постійному розмноженню і нагромадженню трофічно пов'язаних із плодовими/ягідними культурами шкідливих організмів: ксилофаги, філофаги, карпофаги. Вони пошкоджують плодови культури на всіх стадіях розвитку — від розпускання бруньок до збору врожаю [1].

Зміна асортименту засобів захисту і технології вирощування плодкових культур у комплексі призвела до порушення сформованих трофічних зв'язків у садовому агроценозі, якісних і кількісних змін видового складу ентомоокаріфауни і сприяє формуванню певної групи домінантів за загального збіднення видового складу. Представники родини хвилівки (*Orgyidae*), совки (*Noctuidae*), п'ядуни (*Geometridae*), трубокверти (*Atellabidae*) та кліщ бурій плодовиї (*Bryobia redi korzevi* Reck.) наразі втратили своє економічне значення і домінуюче становище, та в промислових садах практично не зустрічаються. До того ж, такі види, як яблунева плоджерка і грушева листоблішка, попелиця кров'яна наявні в садах постійно [11].

Технології захисту рослин від шкідливих організмів постійно вдосконалюються. Орієнтація на екологічно безпечне агро-виробництво та раціональне використання і збереження природних ресурсів, а також інноваційні розробки у сфері генетики, біотехнології, селекції та ін. створюють умови для розроблення нових ефективних систем захисту рослин.

Україна в межах інтеграції в ЄС має впроваджувати більш стійкі практики управління агроєкосистемами, зокрема

через зменшення використання хімічних пестицидів та більш широкого застосування біологічного методу [12]. До того ж, важливо враховувати зміни клімату, а тому розробка та впровадження інноваційних агротехнологій потребуватиме особливої уваги адаптації до нових умов навколишнього природного середовища.

Сприятливі наслідки для ведення сільського господарства в Україні, пов'язані зі зміною клімату, дадуть можливість підвищення врожайності багатьох традиційних польових культур і багаторічних плодкових, ягідних насаджень та вирощування нових високорентабельних культур, але водночас існує висока ймовірність зростання ризиків, пов'язаних з екстремальними кліматичними явищами та тиском шкідливих організмів. За прогнозами вчених, вплив останніх значно зростатиме саме зі зміною кліматичних параметрів [13–16].

Тому дослідження майбутніх можливостей вирощування сільськогосподарських культур в умовах нових загроз з боку шкідливих організмів має вирішальне значення для попередження та зменшення фітосанітарних ризиків у агро-виробництві і потребує постійного моніторингу та контролю видового складу й численності шкідників та застосування заходів із захисту рослин.

Сучасні системи захисту рослин — це науково обґрунтоване поєднання різних прийомів (організаційних, агротехнічних, селекційних, хімічних, біологічних та ін.), спрямовані на зменшення втрат урожаю і запобігання погіршення фітосанітарного стану сільськогосподарських культур і багаторічних насаджень від шкідливих організмів.

Нині в усіх країнах світу активно впроваджується стратегія інтегрованого захисту рослин (Integrated Pest Management, IPM), яка ґрунтується на екологічних принципах із максимальним скороченням застосування хімічних засобів захисту рослин. Стратегію IPM розглядають як підхід до контролю кількості шкідників економічно вигідними, соціально прийнятними та екологічно безпечними способами з ураху-

ванням новітніх розробок у галузі рослинництва й засобів захисту рослин, комунікаційних технологій, глобалізації сільського господарства та торгівлі [17–19].

Однак, на жаль, економічні пріоритети домінують над екологічними і більшість агровиробників використовують традиційний хімічний метод захисту рослин. Про це свідчить позитивна динаміка розвитку ринку пестицидів у світі із щорічним зростанням на 2,5–3%. Серед спектра хімічних засобів захисту рослин продаж інсектицидів становить 25,3% світових продажів [20; 21].

Варто відмітити про позитивну динаміку розвитку світового ринку біологічних препаратів для захисту рослин. Станом на 2020 р. глобальний обсяг ринку біопестицидів сягав 4,3 млрд дол. США та прогнозується щорічне зростання на 14,7%, який до 2025 р. може досягнути 8,5 млрд дол. США [22]. Понад 75% світового виробництва біопестицидів і біоконтролюючих видів членистоногих належить США і ЄС. До того ж, у США переважно виробляються біопестициди, а в країнах ЄС (Бельгія, Франція, Іспанія) — біоконтролюючі види членистоногих.

Статистика свідчить, що незважаючи на використання близько 3 млн т пестицидів на рік та у сукупності з іншими методами, рівень втрат урожаю від шкідливої ентомофауни є значним. Процес вдосконалення асортименту інсектицидів є безперервний і спрямований на поліпшення якісних показників препаратів, підвищення їх ефективності та екологічної безпечності. В останні десятиліття було розроблено і використано в технологіях захисту сільгоспкультур широкий асортимент традиційних інсектицидів (з д.р. карбамати, фосфорорганічні сполуки, синтетичні піретроїди, неонікотиноїди та ін.), що було ефективним у контролі численності комах-фітофагів. Водночас мало низку негативних наслідків щодо погіршення екологічного стану агроценозів, забруднення ґрунту, рослин та виробленої продукції залишковими кількостями діючих речовин пестицидів, вплив на нецільові об'єкти і втрату біорізноманіття,

формування резистентності у шкідників тощо [23]. Застосування хімічних інсектицидів може порушувати біоценотичні зв'язки і відносини між видами, що входять у центральне ядро агробіоценозів — тріоτροφ.

За впровадження інтегрованої системи захисту рослин одним із важливих принципів є мінімізація застосування хімічних засобів захисту рослин, заміна їх на екологічно безпечні біологічні препарати.

Наразі серед екологічно безпечних методів контролю комах-фітофагів виділяють [23]:

- *біологічний контроль* — придушення популяцій шкідників природними ворогами (хижаки, паразити, конкуренти, антагоністи, хвороби);
- *мікробні пестициди* — препарати на основі продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, які пригнічують розвиток шкідників та спричиняють ураження їх хворобами;
- *хімічні речовини, що змінюють поведінку шкідників* — хімічні сполуки, що продукуються живими організмами, і викликають специфічну поведінку інших (синтетичні феромони);
- *генетичні маніпуляції з популяціями шкідників* — введення у популяцію шкідників особин, генетично змінених, для перенесення генів, які перешкоджають розмноженню шкідника та впливають на інші фізіологічні функції;
- *імунізація рослин* — підвищення стійкості рослин до шкідників.

Біопестициди — це біологічні препарати на основі живих організмів або продуктів їх життєдіяльності, які призначені для захисту рослин від шкідливих організмів, що відбувається природним шляхом або є ідентичними за походженням синтетичним речовинам. Порівняно з хімічними пестицидами екотоксикологічний ризик застосування біопестицидів є значно нижчим. Оскільки такі сполуки використовують у доволі малих концентраціях та мають високу швидкість деструкції в агроекосистемах. Однією з переваг є те, що біопестициди характеризуються високою селективністю

дії, що знижує токсичну дію на нецільові організми.

У лінійці біопестицидів за функціональним призначенням на світовому ринку 47% становлять препарати проти комах-фітофагів і близько 44% — збудників хвороб рослин. Менше 1% припадає на біогербіциди.

Серед біопестицидів препарати на основі мікроорганізмів (мікробні пестициди) займають найбільшу частку. Наприклад, у США офіційно зареєстровано 53 препарати, у Канаді — 22, у країнах ЄС — 21. На вітчизняному ринку біопрепаратів для рослинництва у 2020 р. найбільшу частку займали біофунгіциди — 63,5% та біоінокулянти — 27,2%. Значно меншим попитом у агропромислових користуються біоінсектициди та біодеструктори, які посідають 4,7% і 3,6% на ринку відповідно.

Застосування біопестицидів відрізняється від традиційного біологічного захисту рослин, який використовує живі організми (комахи, кліщі, нематоди, бактерії), культивування яких представляє певні труднощі і вимагає істотних витрат. Тоді як виробництво біопестицидів економічно більш вигідно і більш технологічно, бо є можливість приготування зручних у застосуванні препаративних форм [24]. Однак біопестициди мають певні обмеження щодо цільових об'єктів (специфічність та селективність), технологічних вимог щодо застосування та зберігання (висока чутливість до температури й ультрафіолету) тощо.

Наразі виділяють дві основні категорії засобів біоконтролю шкідників і збудників хвороб: біопестициди на основі біоагентів (мікроорганізмів й членистоногих). Їх поділяють на біопестициди, рецептури яких базуються на використанні вірусів, бактерій, мікроміцетів, найпростіших і нематод, та біоконтролюючі заходи — засновані на застосуванні хижаків-членистоногих — жукув, мух, ос, золотоочок, клопів, кліщів тощо [25].

Серед інноваційних технологій застосовують біорациональні продукти. Це продукти на основі біологічних пестицидів,

феромонів комах або мікроорганізмів. Такі препарати є нетоксичними або малотоксичними і безпечними для навколишнього природного середовища. Наприклад, мікробні пестициди на основі *Bacillus thuringiensis* (Bt) є найбільш ефективними біорациональними пестицидами і нині у світі 90% всіх комерційних біопестицидів містять штами Bt. Наступним є використання ентомопатогенних нематод і біопрепаратів на основі різних видів мікроміцетів та бактерій. Експериментально підтверджено, що контролюючими біоагентами для шкідників можуть бути понад 100 видів бактерій, 800 видів грибів і 300 видів нематод.

Останніми десятиліттями значну увагу приділяють розробленню біологічних препаратів на основі мікроорганізмів, для захисту від шкідливих організмів, які опосередковано підвищують стійкість сільськогосподарських культур, стимулюють ріст рослин та індують системну стійкість [26; 27]. Особливе значення має застосування ендодітних бактерій, які формують системну індуковану стійкість у рослинах до патогенів та шкідників, запускають імунну відповідь рослин проти комах-фітофагів, регулюють гормональні сигнальні шляхи, що сприяє зміні експресії генів, синтезу захисних білків, різних ферментів, зміни редокс-метаболізму рослин, підвищення пероксидазної активності в апопласті, зміцнення клітинних стінок рослин [28; 29]. Так, наприклад, виявлено здатність штамів бактерій *Bacillus subtilis* Cohn. (26Д) і *Bacillus thuringiensis* Berliner (B-6066 і B-5689) пригнічувати життєдіяльність попелиці звичайної злакової (*Schizaphis graminum* Rond.). Захисний ефект штамів *Bacillus* spp. проявлявся як у прямій афіцидній активності, так і в опосередкованій індукції системної стійкості рослин за допомогою регуляції генерації перекису водню, активності пероксидази і каталази [30].

Феромонні пастки широко використовують для моніторингу карантинних і некарантинних шкідників та оптимізації обробки хімічними препаратами. Їх застосування дає змогу виявляти шкідників

навіть за дуже низької кількості, має високий економічний ефект і знижує негативний вплив на навколишнє природне середовище. Водночас феромонні пастки можна використовувати для боротьби зі шкідниками методом масового вилову. Препаративні форми синтетичних феромонів і атрактантів використовують для залучення шкідника до місць обробки інсектицидами або для його дезорієнтації [31; 32]. Так, застосування впродовж двох років методу «Attract and kill» з феромонними пастками проти *Halymorpha halys* у промислових яблуневих садах США дало змогу знизити пошкодження плодів у 2–7 разів і тим самим зменшити застосування інсектицидів на 97% [33].

Для вирішення проблеми інвазійних шкідників зазвичай використовують класичний підхід до біологічної боротьби, коли природні вороги з рідного регіону інвазійного шкідника переносяться, розмножуються та вивільняються у новому середовищі існування шкідника. Введення опромінених, стерильних комах — це ще один метод біологічної боротьби, який засвідчив високу ефективність проти ряду шкідників. Однак, ефективність природних ворогів для боротьби зі шкідниками є низькою порівняно із традиційними інсектицидами, особливо за високого заселення посівів шкідниками [34; 35].

Також у сучасних агротехнологіях використовують регулятори росту комах (insect growth regulators, IGR) — це синтетичні гормони комах, які застосовують як інсектициди для регулювання популяцій комах-шкідників. Такі препарати менш токсичні для людини. Їх специфічність полягає в антагоністичній дії на гормони комах або селективному впливі на певні ланки нейроендокринної системи, що змінює її функціональну активність. Інгібітори синтезу хітину впливають на шкідника впродовж репродуктивного життя імаго, перших днів ембріонального і початку постембріонального розвитку, життєдіяльності та розвитку личинок молодшого віку. Загибель починається вже на стадії яйця, максимальна — в стадії личинок першого-

другого віку. Такий характер впливу забезпечує тривалий вплив на асинхронні популяції шкідників, поява яких розділена незначним інтервалом часу. Характерною властивістю ювеноїдів є порушення морфогенезу комах-шкідників: процесів розвитку і подальшого перетворення личинки в лялечку і метелика, що зумовлює видову вибірковість пестициду. Наприклад, IGR запобігають досягненню комахою зрілості, перешкоджаючи процесу линяння та розмноженню комах [36].

Препарати на основі регуляторів росту і розвитку комах (ювеноїди) зазвичай неспецифічні і мають широкий спектр дії, однак чутливість представників різних видів до препаратів такого типу сильно варіює. Такі препарати мають високу біологічну ефективність, мінімальну норму витрат препарату, низьку персистентність і безпечні для навколишнього природного середовища, оскільки безпечні для корисних комах та мають тривалий термін захисної дії.

Встановлено, що застосування інсектицидів — регуляторів росту й розвитку комах із низькими нормами витрат (0,6–1,0 л/га) є екологічно безпечним заходом, оскільки дає змогу зменшити пестицидне навантаження на агроценоз і отримати якісну плодovu продукцію. Ці препарати доволі швидко розпадаються в агроценозі (T95 21,4–30,0 діб) і є помірно- і мало-небезпечними [37].

Альтернативою хімічним інсектицидам є використання вторинних метаболітів рослин (наприклад, феноли та поліфеноли, терпеноїди, алкалоїди), синтезованих деякими видами рослин у межах їхнього природного самозахисту від патогенів і шкідників [38; 39].

Серед сучасних методів окреме місце посідає технологія CRISPR для боротьби зі шкідниками. Інструмент редагування генів CRISPR — це метод зміни ключових генів, які регулюють фертильність та визначення статі комах. Технологія CRISPR дала змогу винайти нову ефективну та безпечну технологію контролю популяцій шкідників певного виду. Наприклад, розроблено метод зміни ключових генів pgSIT,

який контролює визначення статі та фертильності комах та дає змогу стерилізувати самців шкідників сільськогосподарських рослин [40].

Селекція на стійкість сільськогосподарських культур до шкідливих організмів є найбільш реальним, перспективним, екологічно безпечним і економічно вигідним напрямом удосконалення інтегрованих систем захисту польових культур [41]. Встановлено, що за повного переходу на вирощування стійких сортів зернових культур проти шкідників приріст урожаю буде відповідати збільшенню посівних площ на 20–25%, що дасть змогу скоротити витрати на застосування пестицидів на 25–30% [42]. Такі сорти мають фізичні, морфологічні або біохімічні властивості, які зменшують привабливість рослини або придатність для того, щоб шкідник живився, розвивався або розмножувався. Використання стійких сортів до шкідливих організмів є першою ланкою захисту в ІРМ.

Поряд із застосуванням інноваційних методів контролю численності шкідливих видів в агроценозах потрібно не забувати традиційні методи, зокрема агротехнічні та організаційно-господарські. Прийняття належної агрономічної практики, що включає науково обґрунтовану сівозміну та систему удобрення рослин, обробіток ґрунту, використання якісного посівного матеріалу й стійких сортів, коригування строків висіву дає змогу уникнути або зменшити заселення посівів шкідниками та пошкодження рослин, відноситься до боротьби з культурою.

Ключовою стратегією, яку повинні ухвалити для реалізації під час проектування ведення сільського господарства, має стати максимальне збереження біорізноманіття та природних територій у межах або поряд з агроландшафтами [43]. Зокрема, через збереження або відновлення природних екосистем у межах або поряд із посівами або насадженнями агрокультур. Наприклад, управління середовищем існування на сільськогосподарських полях та навколо

них може пом'якшити деякі наслідки застоювання інтенсивних агротехнологій через підвищення ефективності діяльності природних ворогів, створюючи їм оптимальні умови для існування і розвитку [44].

Агроекологічні інфраструктури відіграють важливе значення у забезпеченні осередків проживання та харчовими ресурсами для багатьох членистоногих. Тому створення агроекологічної інфраструктури біля полів або садів може збільшити присутність природних ворогів і, отже, поліпшити біологічний контроль за шкідниками в агроценозах. Наприклад, встановлено, що насадження квітух рослин сприяє збільшенню природної численності ворогів *Dysaphis plantaginea* (Passerini) біля яблуневих садів і мають важливе значення у виробничій системі, покращуючи біологічний контроль *D. plantaginea* [45].

ВИСНОВКИ

Питання захисту сільськогосподарських культур від шкідників постійно зберігає свою актуальність. Унаслідок шкідливої дії членистоногих щороку втрати врожаю в світі становлять 18–20%, що оцінюється на суму понад 470 млрд дол. США. Більша частина втрат вирощеного врожаю відбувається у польових умовах до збирання врожаю і потребує низки заходів захисту рослин від шкідників.

Водночас, у сучасних агротехнологіях вирощування сільськогосподарських культур дедалі ширше застосовують альтернативні екологічно безпечні методи контролю численності шкідників, що відповідає принципам інтегрованого захисту рослин і заміни хімічних інсектицидів на біологічні препарати. Погіршення фітосанітарного стану агроєкосистем, що спричинено низкою абіотичних і біотичних чинників, потребує якісної оцінки стану і визначення напрямів перебудови комплексів шкідливих організмів в агробіоценозах та розроблення інноваційних, екологічно безпечних заходів контролю їх численності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія і тактика захисту рослин. Т. 1. Стратегія / за ред. В.П. Федоренка. Київ: Альфа-Стевія, 2012. 500 с.
2. Oerke E.C. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*. 2006. Vol. 144. P. 31–43.
3. Sharma S., Kooner R. and Arora R. Insect pests and crop losses. *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture* / R. Arora and S. Sandhu (Eds.). Springer, Singapore. 2017. P. 45–66.
4. Борзих О.І. Наукове обґрунтування попередження фітосанітарних ризиків у трансформованих біоценозах. *Карантин і захист рослин*. 2020. № 4–6. С. 3–7.
5. Федоренко В.П. Перспективи ентомологічних досліджень в Україні. *Захист і карантин рослин*. 2014. Вип. 60. С. 415–425.
6. Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С., Бородай В.В. Особливості формування фітопатогенного фону мікроміцетів – збудників хвороб в агроценозах зернових злакових культур Правобережного Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 1. С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201266>
7. Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С., Лісовий М.М. Екологічна структура шкідливого ентомокомплексу агроценозів зернових злакових культур Центрального Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 2. С. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207678>
8. Кривенко А.І., Шушківська Н.І. Регулююча роль природних ентомофагів та вплив на них препаратів з різним механізмом дії в агроценозах зернових колосових культур у Центральному Лісостепу України. *Агробіологія*. 2017. № 1. С. 73–79.
9. Стригун О.О., Судденко Ю.М. Видовий склад шкідливої ентомофауни агробіоценозу пшениці озимої в Правобережному Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 3. С. 15–18.
10. Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Мазниціна Л.В. Эффективность современных приёмов защиты посевов озимой пшеницы от вредителей. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16661>
11. Балыкина Е.Б., Трикоз Н.Н., Ягодина Л.П., Корж Д.А. Анализ фитосанитарного состояния плодовых насаждений Крыма. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2017. № 44 (02). С. 1–13.
12. Lamichhane J.R., Dachbrodt-Saaydeh S., Kudsk P. and Messean A. Toward a reduced reliance on conventional pesticides in European agriculture. *Plant Disease*. 2016. Vol. 100. P. 10–24.
13. Deutsch C.A. et al. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*. 2018. Vol. 361. P. 916–919.
14. Lamichhane J.R., Barzman M. and Booij K. Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. P. 443–459.
15. Paine D.R., Sheppard A.W. and Cook D.C. Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2016. Vol. 113. P. 7575–7579.
16. Bebber D.P., Ramotowski M.A. and Gurr S.J. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*. 2013. Vol. 3. P. 985.
17. Green K.K., Stenberg J.A. and Lankinen A. Making sense of Integrated Pest Management (IPM) in the light of evolution. *Evolutionary Applications*. 2020. Vol. 13 (8). P. 1791–1805.
18. Stenberg J.A. A conceptual framework for Integrated Pest Management. *Trends in Plant Science*. 2017. Vol. 22 (9). P. 759–769.
19. Dara S.K. The New Integrated Pest Management Paradigm for the modern age. *Journal of Integrated Pest Management*. 2019. Vol. 10 (1). P. 12.
20. Nishimoto R. Global trends in the crop protection industry. *Journal of Pest Science*. 2019. Vol. 44 (3). P. 141–147.
21. Phillips M. Agrochemical industry development, trends in R&D and the impact of regulation. *Pest Management Science*. 2019. Vol. 76 (10). P. 3348–3356.
22. IMARC. URL: <https://www.imarcgroup.com>
23. Agarwal M. and Verma A. Modern technologies for pest control: A review. *Biotechnology in Mining and Metallurgical Industry*. London. 2020.
24. Жемчужин С.Г., Спиридонов Ю.Я., Босак Г.С. Биопестициды: современное состояние проблемы. *Агрохимия*. 2019. № 11. С. 77–85.
25. Монастырский О.А. Биопрепараты: типы, рынки в России и в других странах. *Агрохимия*. 2019. № 11. С. 86–90.
26. Максимов И.В., Веселова С.В., Нужная Т.В. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам. *Физиология растений*. 2015. Т. 62. № 6. С. 763–775.
27. Pieterse C.M., Zamioudis C. and Berendsen R.L. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*. 2014. Vol. 52. P. 347–375.
28. Захаренко В.А. Иммунитет зерновых культур в управлении фитосанитарными рисками зерновых агроэкосистем. *Аграрная наука*. 2019. № 2. С. 19–24.
29. Aartsma Y., Bianchi F.J. and Werf W. Herbivore-induced plant volatiles and tritrophic interactions across spatial scales. *New Phytologist*. 2017. Vol. 216 (4). P. 1054–1063.
30. Веселова С.В., Бурханова Г.Ф., Румянцев С.Д. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* Rond. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019. Т. 55. № 1. С. 56–63.
31. Baroffio C.A., Sigsgaard L. and Ahrenfeldt E.J. Combining plant volatiles and pheromones to catch two insect pests in the same trap: Examples from two berry crops. *Crop Protection*. 2018. Vol. 109. P. 1–8.

32. Rice M.E., Zou Y., Millar J.G. and Hanks L.M. Complex blends of synthetic pheromones are effective multi-species attractants for longhorned beetles (*Coleoptera: Cerambycidae*). *Journal of Economic Entomology*. 2020. Vol. 113 (5). P. 2269–2275.
33. Morrison W.R., Blaauw B.R. and Short B.D. Successful management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in commercial apple orchards with an attract-and-kill strategy. *Pest Management Science*. 2018. Vol. 75 (1). P. 104–114.
34. Kenis M., Auger-Rozenberg M.A. and Roques A. Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions*. 2009. Vol. 11. P. 21–45.
35. Zhang H., Potts S.G., Breeze T. and Bailey A. European farmers incentives to promote natural pest control service in arable fields. *Land Use Policy*. 2018. Vol. 78. P. 682–690.
36. Smagghé G., Zotti M. and Retnakaran A. Targeting female reproduction in insects with biorational insecticides for pest management: A critical review with suggestions for future research. *Current Opinion in Insect Science*. 2019. Vol. 31. P. 65–69.
37. Панченко Т.П., Червякова Л.Н., Гаврилюк Л.Л. Регулятори росту і розвитку наасекомых для екологічної безпечної захисти плодových культур в Лесостепи України. *Защита растений: сборник научных трудов*. 2016. Вып. 40. С. 238–244.
38. Miresmailli S. and Isman M.B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. *Trends in Plant Science*. 2014. Vol. 19. P. 29–35.
39. Pavea R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects — a review. *Plant Protection Science*. 2016. Vol. 52 (4). P. 229–241.
40. Kandul N.P., Liu J. and Sanchez H.M. Transforming insect population control with precision guided sterile males with demonstration in flies. *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. P. 84.
41. Моргун В.В., Топчий Т.В. Значения стійких сортів озимої пшениці, вивчення джерел і донорів стійкості до шкідників та основних збудників хвороб. *Физиология растений и генетика*. 2018. Т. 50. № 3. С. 218–240.
42. Шапиро И.Д., Вилкова Н.А., Слепян Э.И. Иммунитет растений к вредителям и болезням. Москва: Агропромиздат, 1986. 172 с.
43. Kremen C. and Merenlender A.M. Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*. 2018. Vol. 362. P. 304–315.
44. Gurr G.M., Wratten S.D., Landis D.A. and You M. Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. *Annual Review of Entomology*. 2017. Vol. 62. P. 91–109.
45. Albert L., Franck P., Gilles Y. and Plantegenest M. Impact of agroecological infrastructures on the dynamics of *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies in Apple Orchards in Northwestern France. *Environmental Entomology*. 2017. Vol. 46. P. 528–537.

REFERENCES

1. Fedorenko, V.P. (Ed.) (2012). *Stratehiia i taktyka zakhystu roslyn [Strategy and tactics of plant protection]*. (Vol. 1). Kyiv [in Ukrainian].
2. Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31–43 [in English].
3. Sharma, S., Kooner, R., Arora, R. & Sandhu S. (Eds.). (2017). Insect Pests and Crop Losses. *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*. (pp. 45–66). Springer, Singapore [in English].
4. Borzykh, O.I. (2020). Naukove obgruntuvannya poperedzhennia fitosanitarnykh ryzykiv u transformovanykh biotsenozakh [Scientific substantiation of phytosanitary risk prevention in transformed biocenoses]. *Quarantine and plant protection — Karantyn i zaxyst roslyn*, 4–6, 3–7 [in Ukrainian].
5. Fedorenko, V.P. (2014). Perspektyvy entomolohichnykh doslidzhen v Ukraini [Prospects for entomological research in Ukraine]. *Plant protection and quarantine — Zashhit i karantin rastenij*, 60, 415–425 [in Ukrainian].
6. Mostoviak, I.I., Demyanyuk, O.S. & Boroday, V.V. (2020). Osoblyvosti formuvannya fitopatohennoho fonu mikromitsetiv — zbudnykiv khvorob v ahrotsenozakh zernovykh zlakovykh kultur Pravoberezhnogo Lisostepu Ukrainy [The formation of phytopathogenic fond in agrocenoses of cereals of the right-bank Forest-steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 28–38. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201266> [in Ukrainian].
7. Mostoviak, I.I., Demyanyuk, O.S. & Lisovyi, M.M. (2020). Ekolohichna struktura shkidlyvoho entomokompleksu ahrotsenoziv zernovykh zlakovykh kultur Tsentralnogo Lisostepu Ukrainy [The ecological structure of the harmful entomocomplex of agrocenoses of cereal crops of the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 2, 31–39. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207678> [in Ukrainian].
8. Kryvenko, A.I. & Shushkivska N.I. (2017). Rehuliuucha rol pryrodnykh entomofahiv ta vplyv na nykh preparativ z riznym mekhanizmom dii v ahrotsenozakh zernovykh kolosovykh kultur u Tsentralnomu Lisostepu Ukrainy [Regulatory role of natural entomophages and the influence of drugs with different mechanism of action on them in agrocenoses of grain crops in the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrobiolohiia — Agrobology*, 1, 73–79 [in Ukrainian].
9. Stryhun, O.O. & Suddenko, Yu.M. (2016). Vydovyi sklad shkidlyvoi entomofauny ahrobiotsenozu psheynytsi ozymoi v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Species composition of harmful entomofauna of winter wheat agrobiocenosis in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii — Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 15–18 [in Ukrainian].

10. Glazunova, N.N., Bezgina, Yu.A. & Maznitsyna, L.V. (2014). Ehffektivnost' sovremennykh priyomov zashchity posevov ozimoy pshenicy ot vreditel'ej [The effectiveness of modern methods of protecting winter wheat crops from pests]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16661> [in Russian].
11. Balykina, E.B., Trikoz, N.N., Yagodinskaya, L.P. & Korzh, D.A. (2017). Analiz fitosanitarnogo sostoyaniya plodovykh nasazhdenij Kryma [Analysis of the phytosanitary state of the fruit plantations of the Crimea]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii – Fruit growing and viticulture of the South of Russia*, 44 (02), 1–13 [in Russian].
12. Lamichhane, J.R., Dachbrodt-Saaydeh, S., Kudsk, P. & Messean, A. (2016). Toward a reduced reliance on conventional pesticides in European agriculture. *Plant Disease*, 100, 10–24 [in English].
13. Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J. & Tigchelaar, M. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361, 916–919 [in English].
14. Lamichhane, J.R., Barzman, M. & Booi, K. (2015). Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 443–459 [in English].
15. Paini, D.R., Sheppard, A.W. & Cook, D.C. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, 7575–7579 [in English].
16. Bebb, D.P., Ramotowski, M.A. & Gurr, S.J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, 3, 985 [in English].
17. Green, K.K., Stenberg, J.A. & Lankinen, A. (2020). Making sense of Integrated Pest Management (IPM) in the light of evolution. *Evolutionary Applications*, 13 (8), 1791–1805 [in English].
18. Stenberg, J.A. (2017). A Conceptual Framework for Integrated Pest Management. *Trends in Plant Science*, 22 (9), 759–769 [in English].
19. Dara, S.K. (2019). The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age. *Journal of Integrated Pest Management*, 10 (1), 12 [in English].
20. Nishimoto, R. (2019). Global trends in the crop protection industry. *Journal of Pest Science*, 44 (3), 141–147 [in English].
21. Phillips, M. (2019). Agrochemical Industry Development, Trends in R&D and the impact of regulation. *Pest Management Science*, 76 (10), 3348–3356 [in English].
22. IMARC. URL: <https://www.imarcgroup.com> [in English].
23. Agarwal, M. & Verma, A. (2020). Modern Technologies for Pest Control: A Review. *Biotechnology in Mining and Metallurgical Industry*. London [in English].
24. Zhemchuzhin, S.G., Spiridonov, Yu.Ya. & Bosak, G.S. (2019). Biopesticidy: sovremennoe sostoyanie problemy [Biopesticides: current state of the problem]. *Agrokhimiya – Agrochemistry*, 11, 77–85 [in Russian].
25. Monastyrskij, O.A. (2019). Biopreparaty: tipy, rynki v Rossii i v drugikh stranakh [Biologicals: types, markets in Russia and in other countries]. *Agrokhimiya – Agrochemistry*, 11, 86–90 [in Russian].
26. Maksimov, I.V., Veselova, S.V. & Nuzhnaya, T.V. (2015). Stimuliruyushchie rost rastenij bakterii v regulyacii ustojchivosti rastenij k stressovym faktoram [Bacteria stimulating plant growth in the regulation of plant resistance to stress factors]. *Fiziologiya rastenij – Plant physiology*, 62 (6), 763–775 [in Russian].
27. Pieterse, C.M., Zamioudis, C. & Berendsen, R.L. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347–375 [in English].
28. Zakharenko, V.A. (2019). Immunitet zernovykh kul'tur v upravlenii fitosanitarnymi riskami zernovykh agroekosistem [Immunity of cereals in the management of pest risks in cereal agroecosystems]. *Agrarnaya nauka – Agricultural science*, 2, 19–24 [in Russian].
29. Aartsma, Y., Bianchi, F.J. & Werf, W. (2017). Herbivore-induced plant volatiles and tritrophic interactions across spatial scales. *New Phytologist*, 216 (4), 1054–1063 [in English].
30. Veselova, S.V., Burkhanova, G.F. & Rummyancev, S.D. (2019). Bakterii roda Bacillus v regulyacii ustojchivosti pshenicy k obyknovnoy zlakovoj tle Schizaphis graminum Rond [Bacteria of Bacillus in the regulation of wheat resistance to the common grass aphid Schizaphis graminum Rond.]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya – Applied Biochemistry and Microbiology*, 55 (1), 56–63 [in Russian].
31. Baroffio, C.A., Sigsgaard, L. & Ahrenfeldt, E.J. (2018). Combining plant volatiles and pheromones to catch two insect pests in the same trap: Examples from two berry crops. *Crop Protection*, 109, 1–8 [in English].
32. Rice, M.E., Zou, Y., Millar, J.G. & Hanks, L.M. (2020). Complex Blends of Synthetic Pheromones are Effective Multi-Species Attractants for Longhorned Beetles (*Coleoptera: Cerambycidae*). *Journal of Economic Entomology*, 113 (5), 2269–2275 [in English].
33. Morrison, W.R., Blaauw, B.R. & Short, B.D. Successful management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in commercial apple orchards with an attract-and-kill strategy. *Pest Management Science*, 75 (1), 104–114 [in English].
34. Kenis, M., Auger-Rozenberg, M.A. & Roques, A. (2009). Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions*, 11, 21–45 [in English].
35. Zhang, H., Potts, S.G., Breeze, T. & Bailey, A. (2018). European farmers incentives to promote natural pest control service in arable fields. *Land Use Policy*, 78, 682–690 [in English].
36. Smagghe, G., Zotti, M. & Retnakaran, A. (2019). Targeting female reproduction in insects with bio-rational insecticides for pest management: A critical

- review with suggestions for future research. *Current Opinion in Insect Science*, 31, 65–69 [in English].
37. Panchenko, T.P., Chervyakova, L.N. & Gavrilyuk, L.L. (2016). Regulatory rosta i rozvitiya nasekomykh dlya ekhologicheskoi bezopasnoy zashchity plodovykh kul'tur v Lesostepi Ukrainy [Regulators of growth and development of insects for environmentally safe protection of fruit crops in the forest-steppe of Ukraine]. *Zashchita rastenij: sbornik nauchnykh trudov — Plant protection: collection of scientific papers*, 40, 238–244 [in Russian].
38. Miresmailli, S. & Isman, M.B. (2014). Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. *Trends in Plant Science*, 19, 29–35 [in English].
39. Pavela, R. (2016). History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects — a review. *Plant Protection Science*, 52 (4), 229–241 [in English].
40. Kandul, N.P., Liu, J. & Sanchez, H.M. (2019). Transforming insect population control with precision guided sterile males with demonstration in flies. *Nature Communications*, 10, 84 [in English].
41. Morhun, V.V. & Topchii, T.V. (2018). Znachennia stiikykh sortiv ozymoi pshenytsi, vyvchennia dzherel i donoriv stiikosti do shkidnykiv ta osnovnykh zbudnykiv khvorob [Importance of resistant varieties of winter wheat, study of sources and donors of resistance to pests and major pathogens]. *Fiziologiya rastenij i genetika — Plant physiology and genetics*, 50 (3), 218–240 [in Ukrainian].
42. Shapiro, I.D., Vilkova, N.A. & Slepian, E.I. (1986). *Immunitet rastenij k vreditelyam i boleznyam [Plant immunity to pests and diseases]*. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
43. Kremen, C. & Merenlender, A.M. (2018). Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*, 362, 304–315 [in English].
44. Gurr, G.M., Wratten, S.D., Landis, D.A. & You, M. (2017). Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62, 91–109 [in English].
45. Albert, L., Franck, P., Gilles, Y. & Plantegenest, M. (2017). Impact of agroecological infrastructures on the dynamics of *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies in Apple Orchards in Northwestern France. *Environmental Entomology*, 46, 528–537 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 10.09.2021
