Захист і карантин рослин. 2021. Вип. 67.

УДК 632.951

DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.98-114>

О.Г. ВЛАСОВА, кандидат сільськогосподарських наук

М.П. СЕКУН, доктор сільськогосподарських наук

М.Д. ЗАЦЕРКЛЯНА, науковий співробітник

Інститут захисту рослин НААН,

вул. Васильківська, 33, м. Київ, 03022, Україна,

e-mail: toxicology_ipp@ukr.net

ТОКСИКОЛОГІЯ ІНСЕКТИЦИДІВ — ТЕОРІЯ, ВТІЛЕНА В ПРАКТИКУ

Мета. Еколого-токсикологічне обґрунтування удосконалення хімічного захисту сільськогосподарських культур і багаторічних насаджень від шкідливих членистоногих на основі оновленого асортименту інсектоакарицидів, властивостей хімічних препаратів та особливостей шкідливих видів комах і кліщів у технологіях вирощування стратегічних культур. **Методи.** Чутливість фітофагів досліджували на природних популяціях, зібраних на посівах певних культур, і визначали за різних методів отруєння, прийнятих у токсикології. Коефіцієнт вибірковості інсектициду у системі фітофаг — ентомофаг розраховували відношенням $СК_{50}$, % д.р. для фітофага до $СК_{50}$, % д.р. до ентомофага. Вплив Сечовини на властивості робочих розчинів хімічних і мікробіологічних препаратів вивчали у їх суміші за спеціальними для цього методиками. **Результати.** Дослідженнями виявлено різну чутливість природних популяцій членистоногих до сучасних інсектицидів, які проявляють різну вибірккову дію стосовно ентомофагів. Коефіцієнт вибірковості становив від 15 до 560. Удосконалено антрирезистентну систему захисту сільськогосподарських культур від шкідливих членистоногих. Узагальнено інформацію про можливість сумісного застосування інсектицидів різної природи із Сечовиною у єдиному технологічному процесі, що призводить до істотного зниження випаровування крапель розчину з обробленої поверхні. **Висновки.** Розширення асортименту пестицидів, особливо з іншим механізмом токсичної дії, дає змогу попередити або загальмувати процес розвитку резистентності у членистоногих до інсектицидів. Удосконалена антрирезистентна система захисту сільськогосподарських культур від шкідливих членистоногих забезпечує зниження токсичного навантаження на агроценоз і реверсію резистентності до початкових показників. Сечовина є активним антивипаровувачем робочих розчинів інсектицидів різної природи.

членистоногі; пестициди; середньосмертельна концентрація;

**резистентність; антирезистентна система; робочий розчин;
антивипаровувач**

Захист сільськогосподарських культур і багаторічних насаджень від шкідливих організмів є важливим елементом у загальній системі виробництва продукції. Серед методів захисту провідне місце займає хімічний. Хоча він і має деякі недоліки, він є і буде найбільш надійним, керованим людиною засобом управління процесами саморегуляції агроєкосистеми. На думку Р. Меткалфа пестициди настільки важливі для людства, що жоден кваліфікований спеціаліст не візьметься прогнозувати, коли відпаде необхідність у їх застосуванні. Швидкість і надійність захисного ефекту при застосуванні пестицидів, висока технічна й економічна ефективність та виключно швидкий прогрес в удосконаленні хімічних засобів є гарантією інтенсивного розвитку цього методу і в майбутньому.

Більш ніж столітнє практичне використання речовин хімічної природи для захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів дало змогу набутися певні знання і досвід у галузі аграрної токсикології пестицидів. Токсикологія (toxicon — отрута, logos — наука) — наука про отрути і їх дію на живі організми. Складовою первісної структури Інституту ентомології і фітопатології АН УРСР (1946 р.) була лабораторія фізіології й токсикології комах, якою керував директор установи академік АН УРСР В.П. Поспелов. Для випробувань хімічних засобів було створено мережу токсикологічних лабораторій, у тому числі чотири в Україні (при Українському науково-дослідному Інституті захисту рослин (УкрНДІЗР) — Українська, при Інституті цукрових буряків, Одеська і Кримська).

Історія розвитку токсикологічних досліджень в Інституті пов'язана з іменами академіка НАНУ В.П. Васильєва, професорів М.П. Секуна, В.А. Саніна, кандидатів наук І.В. Паліохи, М.Д. Таранухи, К.А. Орлачової, В.Л. Цюпкала, Н.М. Сікури, О.П. Борсук, Т.І. Горбач, К.А. Кудель, Я.Ф. Красюкової, Н.М. Кошевської, О.С. Нехая, В.А. Гродського, О.В. Манька, О.Г. Власової, Л.М. Лютко, Т.В. Захарової, Р.В. Яковлева, наукових співробітників Е.Я. Когосової, В.М. Лобко, Г.Л. Мельникової, М.Д. Зацеркляної, Л.М. Соловйової, Н.Д. Сокурена та інших.

Сучасна лабораторія організована 1986 року, її завідувачем до 2012 р. був доктор сільськогосподарських наук, професор М.П. Секун. У 2012—2013 рр. лабораторію очолювала кандидат сільськогосподарських наук, старша наукова співробітниця Л.М. Лютко. З 2013 р. і по нині її завідувачкою є кандидат сільськогосподарських наук, старша наукова співробітниця О.Г. Власова.

Агрономічна токсикологія — розділ загальної токсикології з ви-

вчення особливостей хімічних речовин, їхньої дії на організми членистоногих, грибів, бактерій, вірусів, рослин, на екологічні системи і агробіоценози в цілому. Основним її завданням є створення теоретичних основ для цілеспрямованого синтезу нових пестицидів за токсикологічними, санітарно-гігієнічними, екологічними параметрами з метою формування і удосконалення їх асортименту на стратегічних культурах, максимального використання властивостей пестицидів і біологічних особливостей шкідливих та корисних організмів, можливостей сумісного застосування з іншими хімічними речовинами або з комплексом корисних організмів в інтегрованій системі захисту рослин. Таким чином, агрономічна токсикологія є основою хімічного методу захисту рослин.

Реорганізація системи землекористування, послаблення ролі організаційно-господарських та агрономічних методів, спрощення систем обробітку ґрунту, зміни клімату призвели до перебудови агробіоценозів та зумовили необхідність удосконалення хімічного методу в загальних системах захисту рослин від шкідливих організмів.

Мета роботи. Еколого-токсикологічне обґрунтування удосконалення хімічного захисту рослин від шкідливих організмів в інтегрованих системах.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в лабораторії токсикології пестицидів Інституту захисту рослин НААН. Об'єкти досліджень — звичайний павутинний кліщ, колорадський жук, звичайна злакова попелиця, хрестоцвіті блішки, шкідлива черепашка, сонечко семикрапкове, зібрані на посівах відповідних культур.

Схема дослідів включала варіанти з інсектицидами різних хімічних класів і контроль. Отруєння членистоногих проводили методом занурювання заселених шкідниками листків рослин у водні розчини препаратів різних концентрацій. Обліки проводили через 24 години. Токсикологічні параметри розраховували за допомогою комп'ютерної програми PROBAN [1].

Показники резистентності ПР розраховували за формулою:

$$ПР = \frac{СК_{50}, \% \text{ д.р. для популяції, що обробляється}}{СК_{50}, \% \text{ д.р. для чутливої популяції}}$$

Коефіцієнт вибірковості інсектицидів розраховували відношенням $СК_{50}, \% \text{ д.р. для ентомофага}$ до $СК_{50}, \% \text{ д.р. для фітофага}$.

Результати досліджень та обговорення. Хімічний метод — це застосування отруйних речовин, які в результаті взаємодії з живими організмами викликають у них ті чи інші анатомічні зміни, порушення фізіологічних, біохімічних функцій організму, що спричиняють їхню загибель.

В Україні на практиці використовувати дію інсектицидів на чле-

нистоногих почали з неорганічних препаратів. Механізм дії препаратів цієї групи, які впродовж тривалого періоду складали арсенал хімічного захисту, ґрунтувався тільки на руйнуванні базальної мембрани середньої кишки комах [2]. Тому вони мали чітко виражену кишкову, проте нетривалу дію. Такі особливості препаратів давали змогу використовувати їх тільки для пригнічення чисельності шкідників, які ведуть відкритий спосіб життя і мають гризучий ротовий апарат.

На початку 40-х років минулого століття з'явилися інсектициди органічного синтезу, симптоми отруєння якими дали підставу віднести їх до групи препаратів нервової дії (гіперактивність, втрата координації). Першими інсектицидами з такими ознаками отруєння були хлорорганічні сполуки, серед яких відомі ДДТ та Гексахлоран. Поява цих препаратів відкрила необмежені перспективи використання їх для хімічного захисту рослин. Водночас виникла необхідність дослідити фізіологію сутності отруєння комах хлорорганічними препаратами, реакцію живих організмів на ці препарати, токсикологічні особливості. На дослідях звичайного і сірого довгоносиків доведена можливість підвищення токсичності препаратів за рахунок синергізму їх сумішей і температурного фактора [3]. Але препарати цього хімічного класу були заборонені внаслідок високої персистентності, кумулятивних властивостей і можливостей адсорбуватися на органічних речовинах, де вони тривалий час можуть бути в незмінному вигляді.

На зміну їм у практику хімічного захисту рослин почали запроваджувати фосфорорганічні сполуки, отруєння якими значною мірою схоже з токсичною дією антихолінестеразних речовин. У перших дослідях, присвячених вивченню механізму дії цих сполук, було зроблено спробу пов'язати розвиток симптомів при отруєнні зі ступенем пригнічення активності холінестерази — ферменту, що присутній у нервовій тканині комах і теплокровних та відповідальний за гідроліз ацетилхоліну. Проте, одержані згодом нові дані дали змогу зробити висновок про різноманітність дії фосфорорганічних препаратів на живі організми, пояснити яку не можна тільки з точки зору антихолінестеразної теорії. На прикладі колорадського жука, шкідливої черепашки, бурякового довгоносика, лускокрилих проведено оцінку фізіологічної і біологічної дії та післядії інсектицидів [4]. З'ясування загальних закономірностей впливу інсектицидів на комах і виявлення основних факторів, відповідальних за підвищення токсичності хімічних препаратів, стали основою для розробки рекомендацій із захисту картоплі, пшениці озимої і буряків цукрових.

Останнім часом сталися значні зміни в асортименті інсектицидів, різко зросли економічні й екологічні вимоги до них, змінилися стратегія і тактика застосування, відбувся перехід від максимального пригнічення чисельності популяції шкідливих видів членистоногих

до інтегрованої системи регулювання фітосанітарного стану агробіоценозу (табл. 1).

1. Зміни в асортименті інсектицидів за роками, %

Клас хімічних сполук	2000	2008	2014	2020
Карбамати	10,5	—	—	—
Фосфорорганічні	21,0	25,0	19,0	13,6
Піретроїди	25,4	25,8	26,8	18,0
Неонікотинοїди	12,8	20,0	24,6	31,2
Фенілпіразоли	2,6	3,1	2,6	3,3
Антрапіламіди	—	—	2,6	3,3
Інші класи	27,7	26,1	26,4	30,6

На 1—2 порядки зменшилися норми витрат інсектицидів. Поліпшилась і гігієнічна характеристика препаратів: середній клас небезпеки — 2,79 у 2000 р. та 3,11 — у 2020 р., а середня токсичність для щурів відповідно становить 998 та 1446 мг/кг.

За останні 6 років піретроїди поступились неонікотинοїдам пріоритетністю та масштабами застосування, а саме:

- не мають вираженої перехресної резистентності з фосфорорганічними і піретроїдними сполуками;
- вибірково діють та добре акумулюються рецепторами комах і не впливають на рецептори людини та інших теплокровних;
- стійкі до гідролізу [5].

Значно розширився й асортимент цієї групи препаратів. На 2020 р. він налічував 51 найменування на основі діючих речовин імідаклоприду, тіометоксану, ацетоліприду, клотіанідину, тіаклоприду. Деякі з них (Гаучо, т.н.; Круїзер, т.к.с.; Ін Сет, в.г.) за своїми властивостями відповідають вимогам як протруйники-інсектициди. Крім загальних володіють і додатковими властивостями: добре проникають у рослини через вегетуючі органи, коріння, насіння; накопичуються у них у необхідній кількості і зберігаються тривалий час; згодом розкладаються і знешкоджуються. Препарати цієї групи виявляють токсичні властивості у широких межах температури і вологості ґрунту [6, 7].

Дослідами, проведеними у різні періоди з інсектицидами різних хімічних груп, встановлено однаковий характер дії препаратів на обмінні процеси в організмі комах [8]. Внаслідок гіперактивності за безпосередньої дії хімічної сполуки на нервову систему порушується респіраторна функція в організмі отруєних комах, зростає газообмін, підвищується активність окислювальних ферментів (каталази, пероксидази) майже у 2 рази порівняно з контролем.

Одним із проявів патогенезу є порушення водного балансу, що пов'язано з порушенням респіраторної функції. Об'єктивним критерієм стану, як окремих особин комах, так і популяції в цілому є вміст загальних жирів — переважним енергетичним джерелом у несприятливих умовах. Вміст їх в організмі шкідливої черепашки протягом перших діб після отруєння зменшується на 12—20% від контролю. Причому, зменшення вмісту жирів в основному відбувається за рахунок ненасичених жирних кислот, що відіграють важливу роль у стійкості комах до несприятливих умов в тому числі і до інсектицидів. Відбувається зниження вмісту білків, вуглеводів, дегідратація організму. Це стало для деяких авторів основою для твердження, згідно з яким зниження енергетичних запасів є причиною загибелі комах [9].

Спостерігаються кількісні та якісні зміни у гемолімфі: значно зменшується кількість гемоцитів, що виконують трофічну та кровотворну функції, відбуваються патологічні зміни у структурі самих клітин, поява у протоплазмі великої кількості вакуолей, децентралізація ядер, розрив оболонки клітини.

Функціональні порушення в організмі позначаються на фізіологічному стані комах, що зумовлює чутливість їх до умов зовнішнього середовища і виживання у зимовий період. Так, смертність клопів шкідливої черепашки і колорадського жука після отруєння Децисом, к.е. і Волатоном, к.е. була майже у два рази вищою, ніж у контрольних особин.

Під час дослідження біологічної післядії інсектицидів на шкідливі види комах спостерігали два протилежних результати: накопичення чисельності окремих видів шкідників або депресування їхнього розвитку. Так, самиці, що вижили після отруєння Хлорофосом і Поліхлорпіненом, мали підвищену плодючість і виживання личинок [10]. На противагу наведеному факту були одержані дані про можливість використання фосфорорганічних і піретроїдних інсектицидів у сублетальних дозах інтенсивного пригнічення розвитку ряду генерацій звичайної злакової попелиці, колорадського жука та шкідливої черепашки. Незалежно від класу хімічних сполук на інсектицидних фонах спостерігається зменшення значень таких основних популяційних параметрів, як плодючість, виживання, швидкість розвитку. Порушення, що виникають, негативно позначаються і на показниках швидкості розмноження та росту популяції. Коефіцієнт природного збільшення чисельності популяції на посівах пшениці озимої без інсектицидних обробок становив у середньому 0,1472, а на оброблених він варіював за варіантами і роками від 0,0861—0,0984 до 0,1283—0,1408.

Така неоднорідність післядії інсектицидів зайвий раз підтверджує необхідність більш ретельного і глибокого вивчення інсектицидів всіх хімічних класів, що пропонуються для практичного використання.

Таким чином, ефект дії та післядії інсектицидів виявляється як в

кількісних змінах динаміки чисельності комах, так і в якісних (фізіологічних) змінах, що характерні для окремих популяцій виду, і це дає змогу розширити уявлення про роль токсикантів у регуляції чисельності членистоногих.

Крім пошуку інсектицидів нових класів хімічних сполук з оптимальними властивостями вкрай важливими є дослідження щодо пошуку засобів використання токсикантів, що сприяють максимальному прояву позитивних ефектів.

Однією із властивостей інсектицидів є їхня реакція на температурний режим середовища. В лабораторних і польових дослідах встановлено, що у більшості інсектицидів з підвищенням температури зростає їхня токсичність. На прикладі шкідливої черепашки, злакових попелиць, колорадського жука встановлено, що з підвищенням температури повітря з 10 до 30°C токсичність фосфорорганічних препаратів підвищується в 1,6—3,9 раза, а для піретроїдів найбільш висока токсичність спостерігається за температури близько 22—25°C. Температурний коефіцієнт токсичності для перших дорівнює 0,76—0,84, для других 0,58—0,66.

Практичний результат даного дослідження — визначення можливості в польових умовах вибору препарату, його норми витрат та періоду застосування залежно від температури повітря.

В сучасних умовах виникає необхідність створення таких систем регулювання чисельності шкідливих організмів у агроценозах, які б забезпечували збереження врожаю і його якості за раціонального застосування інсектицидів і максимального використання ентомофагів. Першорядного значення набувають дослідження токсикологічних властивостей інсектицидів, вивчення вибіркової (селективної) дії токсичних сполук та їх препаративних форм на ентомофауну агроценозу.

Поняття вибіркова (селективна) токсичність стосовно інсектицидів означає різницю у токсичній дії препаратів на людину, тварину, культурні рослини, бур'яни, шкідливі комахи та їхніх ентомофагів, комплекс інших корисних та шкідливих організмів, що населяють агробіоценози [11]. Всі пестициди за ступенем вибіркової дії діляться на три групи: сполуки з вибірковою дією для ссавців; сполуки, що діють вибірково на комах; сполуки позбавлені вибіркової дії.

Вибіркова токсичність препаратів до різних видів членистоногих оцінюється за коефіцієнтом вибіркової дії (КВ), який виражає відношення середньолетальної концентрації (дози) на рівні $СК_{50}$, % або $ЛД_{50}$ мг/г діючої речовини для ентомофагів і фітофагів.

Одним із складних і різноманітних проявів вибіркової дії пестицидів є фізіологічний, який визначається хімічною природою і препаративною формою препарату, закономірностями проникнення, накопичення і розподілу в тканинах і органах членистоногих, спрямуванням і швидкістю метаболізму в організмі, а також особливостями дії на

фізіологічні та біохімічні процеси у членистоногих різних систематичних груп [12].

Результати проведення токсикологічної оцінки дії інсектицидів із різних класів хімічних сполук на комах свідчать про різницю у видовій їх чутливості та особливості дії препаратів (табл. 2).

2. Порівняльна токсичність інсектицидів для черемхово-злакової попелиці та сонечка семикрапкового

Інсектицид	СК ₅₀ , % д.р.		Коефіцієнт вибірковості
	черемхово-злакова попелиця	сонечко семикрапкове	
Базудин, в.с.	$4,23 \cdot 10^{-4}$	$6,42 \cdot 10^{-3}$	15
Маврик, фло	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-1}$	141
Піримор, в.г.	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-1}$	560
Золон, к.е.	$2,78 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	4
Ацтек, к.е.	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-1}$	419
Бі-58 новий, к.е.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	4

Спектр вибірковості інсектицидів зумовлений спектром їхньої дії. Високий коефіцієнт вибірковості характерний для специфічних сполук (афіциди), а низький — для сполук, спектр дії яких не обмежується вузьким колом об'єктів.

Механізми вибіркової дії на комах на біохімічному рівні вивчено на фосфорорганічних сполуках. Важлива роль при цьому належить специфічності їхньої дії на деякі естерази.

У лабораторних дослідах лабораторії токсикології пестицидів на прикладі систем (черемхово-злакова попелиця — сонечко семикрапкове; капустяна совка — трихограма звичайна; білан капустяний — апантелес) встановлено видову специфічність комах стосовно чутливості їх ферментних систем до впливу ксенобіотиків.

Одержані дані свідчать, що вибіркова токсичність специфічних афіцидів Ацтек і Піримор зумовлюється антихолінестеразною активністю сполук. У системах вибірковості фосфорорганічного препарату Бі-58 новий головна роль належить карбоксилесеразі.

Антикарбоксилестеразна активність Маврика (піретроїд) також лежить в основі механізму його токсичності для цих систем.

Вважається, що коефіцієнт (карбоксил) естеразної дії є основним показником вибірковості інсектицидів на біохімічному рівні, за яким вже в лабораторних умовах можна проводити попередню оцінку хімічних сполук.

У серії дослідів з гусеницями 3-го віку капустяного білана, черемхово-злакової попелиці, апантелеса, імаго сонечка семикрапкового та-

кож виявлено видову специфічність проникнення інсектицидів через покриви, що пов'язано з будовою зовнішніх покривів комах, ступенем склеротизації, хімічним класом сполуки. Встановлено, що розраховані константи швидкості проникнення Бі-58 нового фактично однакові для дослідних комах ($12,1-22,0 \text{ хв}^{-1} \cdot 10^{-3}$). Інша картина спостерігається в дослідях з Мавриком 2ф і Ацтеком. Константа швидкості проникнення Маврика через покриви капустияного білана у 3,2 раза вища ніж через покриви апантелеса, а Ацтека у 2,2 раза вища у попелиці, ніж у сонечка, що узгоджується також ступенем токсичності у першому і другому випадках.

Порівняльні результати досліджень з одночасним визначенням токсиметричних показників і вивченням впливу інсектицидів на біохімічні системи організму комах забезпечують більш повну інформацію про складні механізми, що лежать в основі вибіркової чутливості комах.

У загальній системі пошуку нових шляхів раціонального використання інсектицидів широкого розвитку набувають дослідження комплексного застосування хімічних і мікробіологічних препаратів. З практичної точки зору це дає можливість знизити норми витрат хімічних препаратів, зменшити вміст отруйних залишків у продуктах урожаю, а також сприяє розв'язанню проблеми виникнення резистентності шкідливих членистоногих до інсектицидів.

Бінарні суміші (Драгуна з Актофітом і Лепідоцидом; Карате з Актофітом; Актелліка і К-Обіоля з Бітоксикациліном) виявили високу технічну і економічну ефективності проти шкідників генеративних органів ріпаку озимого, акацієвої вогнівки і звичайного павутинного кліща на сої, шкідників запасів зерна в період зберігання. В основі дії сучасних хімічних препаратів з мікробіологічними лежить фізіологічне послаблення членистоногих, що створює сприятливі умови для успішного розвитку мікроорганізмів.

Покращити фізико-хімічні властивості робочої рідини, підвищити її ефективність можна домішуванням безпосередньо перед використанням поверхнево-активної речовини та антивипаровувача. В лабораторних дослідях доведено, що додавання до суспензій та емульсій робочих розчинів інсектицидів (Бі-58 новий, Карате Зеон, Кораген, Конфідор), мікробіологічних препаратів (Бітоксикацилін, Лепідоцид) і Сечовини у кількості 3,0—4,0 кг/га підвищує токсичність препаратів, токсикологічні якості робочих розчинів (підвищується однорідність крапель та їх утримання на поверхні об'єкту, що обробляється, зменшується випаровування краплин більш, ніж у 1,5 раза [13]. Це важливо в умовах потепління клімату та особливо під час малооб'ємного та ультрамалооб'ємного обприскування. При цьому Сечовина істотно не впливає на поверхневий натяг та реакцію розчину.

Не знімається, а навпаки, загострюється проблема резистентності членистоногих до інсектицидів у зв'язку з реєстрацією нових фактів про набуту стійкість шкідливих організмів до пестицидів. Неминучими наслідками формування резистентних популяцій є зниження ефективності препаратів, підвищення норми витрат і кількості обробок. Проблема резистентності входить до кола питань, що належать до токсикологічної екології, і залишається однією з центральних у зв'язку з необхідністю у майбутньому широкого використання хімічного методу захисту рослин. Цій проблемі протягом багатьох років приділяється пильна увага. В 60—70-х роках в Україні було вперше виявлено чутливі раси звичайного бурякового довгоноса і колорадського жука до хлорорганічних препаратів. Цілеспрямовані дослідження у цьому напрямі дали змогу встановити резистентність природних популяцій тетраніхових кліщів, злакових попелиць, ріпакового квіткоїда, хрестоцвітних блішок, звичайного павутинного кліща до сучасних інсектицидів: Конфідор, Децис Профі, Карате Зеон, Корраген, Актара, Каліпсо, Форс [14—16].

З нових аспектів слід відзначити важливість визначення швидкості розвитку резистентності залежно від пестицидного навантаження, що пов'язано із сучасною стратегією використання хімічних препаратів — не повне знищення шкідливих видів, а зниження їхньої чисельності до економічно невідчутного рівня. Дані, одержані у дослідях із звичайною злаковою попелицею, свідчать, що більш простий відбір (більша норма витрат, концентрація) прискорює розвиток резистентності у порівнянні з лише жорстким відбором. Водночас одержано і інший важливий висновок: стійкість у шкідників розвивається швидше до більш стійких (персистентних) препаратів. З практичного боку важливою є розробка антирезистентної системи захисту рослин від шкідливих членистоногих. Вона базується на підходах, які сприяють максимальному зниженню токсичного навантаження на агроценози при збереженні ефективності захисних заходів на задовільному рівні та забезпеченню реверсії резистентних популяцій до інсектицидів на рівні початкових показників.

На основі результатів досягнень лабораторії і узагальнення даних літератури з питань запобігання резистентності до інсектицидів популяціями шкідників сільськогосподарських культур розроблені положення, з урахування яких повинні базуватись антирезистентні системи. Основні з цих положень:

- раннє виявлення процесу розвитку резистентності до інсектоакарицидів у популяціях економічно значущих видів членистоногих. Визначення типу резистентності до препаратів споріднених та інших хімічних класів;
- формування асортименту інсектицидів з різних хімічних класів, які характеризуються різним механізмом токсичної дії і

спектром активності для систем хімічного захисту культури від комплексу фітофагів;

- постійний моніторинг чутливості природних популяцій до інсектицидів для своєчасного виключення з системи захисту препаратів, що втратили ефективність, та включення в них більш ефективних токсикантів-замінників із споріднених або іншого хімічного класу, а також використання сумішей інсектицидів;
- чергування (ротація) інсектоакарицидів з різних хімічних класів, підібраних з розрахунком знищення резистентних особин, які містяться в популяціях шкідників;
- скорочення кількості хімічних обробок за рахунок обробки посівного матеріалу (токсикація сходів), включення у систему захисту інших методів (біологічного, імунологічного), що сприяють зниженню токсикологічного навантаження на популяції шкідливих видів і відповідно гальмують процес подальшого розвитку резистентності за збереження високої ефективності засобів захисту рослин;
- вибіркове застосування інсектицидів відповідно до показників ЕПШ, характеру розподілу шкідників на посівах зменшує розміри площ, що обробляються, та чисельність популяції шкідників, що підлягають дії токсикантів. Все це сприяє сповільненню швидкості відбору резистентних особин, а також збереженню корисних членистоногих, як природних регуляторів чисельності фітофагів.

Аналіз результатів вивчення закономірностей формування резистентності дозволяє рекомендувати вибір того чи іншого заходу залежно від показників її розвитку, окремих препаратів або їх груп в конкретних популяціях.

У початковий період розвитку резистентності, або так званої толерантності, яка перевищує природну чутливість особин у 2—5 разів, можна обмежитися підбором ефективної норми витрат препарату (в межах регламенту), чергуванням інсектицидів цього хімічного класу, використанням сумішей препаратів.

У другий період стрімкого зростання резистентності, коли стійкість популяції перевищує початковий рівень у 80—100 разів, виправданим є вибір заходів, які сприяють ослабленню пестицидного навантаження: використання ЕПШ, стійких сортів (гібридів), локальні обробки, чергування інсектицидів різних хімічних класів, використання сумішей інсектицидів з біопрепаратами.

Третій період характеризується стабілізацією резистентності на максимальному для даного препарату і даного організму рівні. Показники резистентності досягають високого рівня (ПР понад 100). Інсектициди стають неефективними за різних норм витрат. Необхідне

повне виключення цих інсектицидів із системи захисту рослин і перехід на альтернативні методи.

Дослідження проведено в рамках ПНД 12 «Наукові основи сучасних технологій прогнозу і управління фітосанітарним станом агроценозів» (Захист рослин); № ДР 0116U003531.

ВИСНОВКИ

Токсикологія інсектицидів, як наука, має досить тривалий шлях формування. В її основу покладено в одному ритмі з розвитком хімічного захисту рослин наукові погляди медиків, фізіологів та біохіміків. Дослідження токсикології інсектицидів дає можливість науково обґрунтувати дію і післядію хімічних препаратів на шкідливих членистоногих, коли відбуваються кількісні і якісні зміни енергетичних запасів в організмі, що негативно впливають на біотичний потенціал особин. Встановлено, що інсектициди різної хімічної будови та механізму дії зумовлюють однаковий характер біологічної післядії, яка проявляється в пригніченні розвитку і розмноження комах.

Вибіркова токсичність інсектицидів у системі комах фітофаг — ентомофаг зумовлюється комплексом чинників, серед яких важливу роль мають проникнення їх через покриви комах, депонування та розподіл в тканинах та органах, метаболізм і виділення, активність основних ферментних систем детоксикації. У вивчених інсектицидів встановлено не однаковий прояв вибіркової токсичності на доміантних паразитів і хижаків.

Найвищу вибірковість проявляють специфічні інсектициди (Піримор, Ацтек, Маврик), коефіцієнт вибіркової для яких може сягати 141—560. Серед політоксичних препаратів не проявляють вибіркової дії фосфорорганічні і піретроїдні препарати, для яких коефіцієнт вибіркової не перевищує 15.

Моніторинг формування резистентності популяцій шкідників до інсектицидів свідчить про різну чутливість природних популяцій до сучасних препаратів. Виявлено перехресну резистентність. Однак, за такого рівня резистентності застосування інсектицидів ще не позначається на їхній ефективності. За подальшого використання слід змінювати тактику застосування препаратів, яка дасть змогу гальмувати подальший розвиток резистентності.

Для запобігання появи резистентних популяцій (особливо множинної) запропоновано антирезистентну систему захисту рослин від шкідливих членистоногих, яка базується на принципах, що сприяють максимальному зниженню токсикологічного навантаження на агроценози при збереженні ефективності захисних заходів на задовільному рівні та забезпеченню реверсії резистентних популяцій на рівні початкових показників.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Мониторинг* резистентности к пестицидам в популяциях вредных членистоногих. Методические указания. СПб, 2004. 127 с.
2. Пилат М.В. Гистологическое исследование действия инсектицидов на кишечник насекомых. *Труды по защите растений*. ИЗД-3, 1936. Вып. 7. С. 55—79.
3. Орлячова К.А., Циопкало В.Л. Об устойчивости свекловичного долгоносика к инсектицидам. *Сб. Химические средства защиты растений*. Киев. 1963. С. 92—114.
4. Сикура Н.М., Борсук О.П. Биологическое последствие применения инсектицидов на примере колорадского жука. *Защита растений*. Киев. 1984. Вып. 31. С. 22—26.
5. Секун М.П. Неонікотинної в аграрному виробництві. *Захист і карантин рослин*. 2012. Вип. 58. С. 180—191.
6. Яковлев Р.В. Ефективність інсектицидів при різних методах їхнього застосування проти шкідників сходів гірчиці. *Бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2007. Вип. 12. С. 263—267.
7. Секун М.П., Власова О.Г., Журавський В.С. Ефективність нових інсектицидів для захисту ріпаку ярого від хрестоцвітних блішок. *Захист і карантин рослин*. 2015. Вип. 61. С. 228—235.
8. Лютко Л.М. Особливості дії та післядії інсектицидів на комах фітофагів. *Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ. 2011. Вип. 132. С. 46—123.
9. Пайкин Д.М., Гампер Н.М. Действие инсектицидов на вредных насекомых и клещей. *Вестник сельскохозяйственных наук*. 1993. № 7. С. 44—47.
10. Мельникова Г.Л., Секун Н.П. Последствие инсектицидов на биологические параметры популяции вредной черепашки. *Сельскохозяйственная биология*. 2002. № 5. С. 150—154.
11. Альберт Э. Избирательная токсичность. Москва: Мир, 1991. 381 с.
12. Zakharowa T., Sekun N. Anticholinesterase effect of the organophosphorus and pyrethroid insecticides to some phiohages species their predators and parasites. *Archives of phytopathology and plant protection*. 2009. № 6 p. 491—498.
13. Секун М.П., Березовська-Бригас В.В. Оцінка впливу Сечовини на деякі фізико-хімічні властивості робочих розчинів інсектицидів. *Агробіологія*. Біла Церква, 2017. № 1. С. 188—193.
14. Секун М.П., Манько О.В. Резистентність шкідливих членистоногих до сучасних інсектоакарицидів та шляхи подолання формування резистентних популяцій. *Інтегрований захист на початку ХХІ століття. Матер. міжнар. наук.-практ. конференції*. Київ, 2004. С. 294—298.
15. Секун М.П., Власова О.Г., Березовська-Бригас В.В. Моніторинг форму-

вання резистентності популяцій шкідників сільськогосподарських культур до інсектицидів. *Захист і карантин рослин*, 2019. Вип. 65. С. 149—160.

16. Березовська-Бригас В.В., Яковлев Р.В., Дмитренко Н.М. Моніторинг резистентності до інсектицидів колорадського жука. *Методичні рекомендації*. Київ, 2017. 32 с.

Власова О.Г., Секун Н.П., Зацеркляная М.Д.

Институт защиты растений НААН,
ул. Васильковская, 33, г. Киев, 03022, Украина,
e-mail: toxicology_ipp@ukr.net

Токсикология инсектицидов — теория, вплощенная в практику

Цель. Эколого-токсикологическое обоснование совершенствования химической защиты сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений от вредных членистоногих на основе обновленного ассортимента инсектоакарицидов, свойств химических препаратов и особенностей вредных видов насекомых и клещей в технологиях выращивания стратегических культур. **Методы.** Чувствительность фитофагов исследовали на естественных популяциях, собранных на посевах определенных культур и определяли их различными методами отравления, принятыми в токсикологии. Коэффициент избирательности инсектицида в системе фитофаг — энтомофаг рассчитывали отношением $СК_{50}$, % д.в. для фитофага к $СК_{50}$, % д.в. для энтомофага. Влияние Мочевины на свойства рабочих растворов химических и микробиологических препаратов изучали в их смеси по специальным для этого методиками. **Результаты.** Исследованиями выявлена различная чувствительность природных популяций членистоногих к современным инсектицидам, которые проявляют разное избирательное действие в отношении энтомофагов. Коэффициент избирательности составлял от 15 до 560. Усовершенствована антирезистентная система защиты сельскохозяйственных культур от вредных членистоногих. Обобщена информация о возможности совместного применения инсектицидов различной природы с Мочевинной в едином технологическом процессе, что приводит к существенному снижению испарения капель раствора с обработанной поверхности. **Выводы.** Расширение ассортимента пестицидов, особенно с другим механизмом токсического действия, позволяет предупредить или затормозить процесс развития резистентности у членистоногих к инсектицидам. Усовершенствованная антирезистентная система защиты сельскохозяйственных культур от вредных членистоногих обеспечивает снижение токсической нагрузки на агроценоз и реверсию резистентности к исходным показа-

телями. Мочевина является активным антииспарителем рабочих растворов инсектицидов различной природы.

членистоногие; пестициды; средняя смертельная концентрация; резистентность; антирезистентная система; рабочий раствор; антииспаритель

Vlasova O., Sekun M., Zatserkliana M.

Institute of Plant Protection of NAAS,
33, Vasylkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine,
e-mail: toxicology_ipp@ukr.net

Toxicology of insecticides — theory, implemented in practice

Goal. *Ecological and toxicological substantiation of improving the chemical protection of agricultural crops and perennial plantations from harmful arthropods based on the updated assortment of insectoacaricides, the properties of chemicals and the characteristics of harmful insect and mite species in the technology of growing strategic crops.* **Methods.** *The sensitivity of phytophages was investigated on natural populations collected on crops of certain crops and determined by various methods of poisoning adopted in toxicology. The coefficient of selectivity of the insecticide in the phytophage — entomophage system was calculated by the ratio CK_{50} , % a.v. for phytophage to SC_{50} , % a.v. for an entomophage. The effect of urea on the properties of working solutions of chemical and microbiological preparations was studied in their mixture using special techniques.* **Results.** *Studies have shown different susceptibility of natural arthropod populations to modern insecticides, which have different selective effects on entomophages. The selectivity factor ranged from 15 to 560. Improved anti-resistance system to protect crops from harmful arthropods. The information on the possibilities of joint application of insecticides of different nature with Urea in a single technological process is generalized, which leads to a significant reduction in the evaporation of drops of solution from the treated surface.* **Conclusions.** *Expansion of the range of pesticides, especially those with a different mechanism of toxic action, makes it possible to prevent or slow down the development of resistance in arthropods to insecticides. An improved anti-resistance system for protecting agricultural crops from harmful arthropods provides a decrease in the toxic load on the agocenosis and a reversal of resistance to the initial parameters. Urea is an active anti-evaporation agent for working solutions of insecticides of various nature.*

arthropods; pesticides; average lethal concentration; resistance; anti-resistance system; working solution; anti-vaporizer

REFERENCES

1. *Monitoring rezistentnosti k pestitsidam v populyatsiyakh vrednykh chlenistonogikh*. [Monitoring of pesticide resistance in populations of harmful arthropods]. *Metodicheskie ukazaniya*. SPb, 2004. 127 s. (in Russian).
2. Pilat M.V. (1936). Gistologicheskoe issledovanie deystviya insektitsidov na kishechnik nasekomykh. [Histological study of the effect of insecticides on the intestines of insects]. *Trudy po zashchite rasteniy*. IZD-3, Vyp. 7. S. 55—79. (in Russian).
3. Orlachova K.A., Tsiopkalo V.L. (1963). Ob ustoychivosti sveklovichnogo dolgonosika k insektitsidam. [On the resistance of the beet weevil to insecticides]. *Sb. Khimicheskie sredstva zashchity rasteniy*. Kiev. S. 92—114. (in Russian).
4. Sikura N.M., Borsuk O.P. (1984). Biologicheskoe posledeystvie primeneniya insektitsidov na primere koloradskogo zhuka. [Biological after-effects of insecticides on the example of the Colorado potato beetle]. *Zashchita rasteniy*. Kiev. Vyp. 31. S. 22—26. (in Russian).
5. Sekun M.P. (2012). Neonikotynoidy v aharnomu vyrobnytstvi. [Neonictinoids in agricultural production]. *Zakhyst i karantyn roslyn*. V. 58. P. 180—191. (in Ukrainian).
6. Yakovlev R.V. (2007). Efektyvnist insektytsydiv pry riznykh metodakh yikhnoho zastosuvannia proty shkidnykiv skhodiv harchytsi. [The effectiveness of insecticides in various methods of their use against pests of mustard seedlings]. *Biuleten Instytutu oliynykh kultur NAAN*. V. 12. P. 263—267. (in Ukrainian).
7. Sekun M.P., Vlasova O.H., Zhuravskiy V.S. (2015). Efektyvnist novykh insektytsydiv dlia zakhystu ripaku yarocho vid khrestotsvitykh blishok. [Efficacy of new insecticides to protect spring rape from cruciferous fleas]. *Zakhyst i karantyn roslyn*. V. 61. P. 228—235. (in Ukrainian).
8. Lyutko L.M. (2011). Osoblyvosti dii ta pisliadii insektytsydiv na komakh fitofahiv. [Features of action and aftereffects of insecticides on phytophagous insects]. *Naukovyi visnyk natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. Kyiv: V. 132. P. 46—123. (in Ukrainian).
9. Paykin D.M., Gamper N.M. (1993). Deystvie insektitsidov na vrednykh nasekomykh i kleshchey. [The effect of insecticides on harmful insects and mites]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennykh nauk*. № 7. S. 44—47. (in Russian).
10. Mel'nikova G.L., Sekun N.P. (2002). Posledstvie insektitsidov na biologicheskie parametry populyatsii vrednoy cherepashki. [The effect of insecticides on the biological parameters of the population of the harmful turtle]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2002. № 5. S. 150—154. (in Russian).
11. Al'bert E. (1991). Izbirateľnaya toksichnost'. [Selective toxicity]. Moskva: Mir, 1991. 381 s. (in Russian).
12. Zakharowa T., Sekun N. (2009). Anticholinesterase effect of the organo-

phosphorus and pyrethroid insecticides to some phlophages species their predators and parasites. *Archives of phytopathology and plant protection*. № 6. P. 491—498. (in English).

13. Sekun M.P., Berezovska-Bryhas V.V. (2017). Otsinka vplyvu Sechovyny na deiaiki fizyko-khimichni vlastyivosti robochykh rozchyniv insektytsydiv. [Evaluation of the effect of Urea on some physicochemical properties of working solutions of insecticides]. *Ahrobiolohiia*. Bila Tserkva, № 1. S. 188—193. (in Ukrainian).

14. Sekun M.P., Manko O.V. (2004). Rezystentnist shkidlyvykh chlenystonohykh do suchasnykh insektoakarytsydiv ta shliakhy podolannia formuvannia rezystentnykh populiatsii. Intehrovanyi zakhyst na pochatku XXI stolittia. [Resistance of harmful arthropods to modern insecticides and ways to overcome the formation of resistant populations. Integrated protection at the beginning of the XXI century]. *Mater. mizhnar. nauk.-prakt. konferentsii*. Kyiv. S. 294—298. (in Ukrainian).

15. Sekun M.P., Vlasova O.H., Berezovska-Bryhas V.V. (2019). Monitorynh formuvannia rezystentnosti populiatsii shkidnykiv silskohospodarskykh kultur do insektytsydiv. [Monitoring the formation of resistance of populations of agricultural pests to insecticides]. *Zakhyst i karantyn roslyn*. V. 65. S. 149—160. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2019.65.149-160> (in Ukrainian).

16. Berezovska-Bryhas V.V., Yakovlev R.V., Dmytrenko N.M. (2017). Monitorynh rezystentnosti do insektytsydiv koloradskoho zhuka. [Monitoring of Colorado potato beetle insecticide resistance]. *Metodychni rekomendatsii*. Kyiv. 32 s. (in Ukrainian).

Надійшла 08.07.2021 р.