

# ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТОКСИЧНОСТІ ПЕСТИЦИДІВ МЕТОДОМ ПРОБІТ-АНАЛІЗУ

**Мета.** Розглянути основні поняття, які використовуються в методі пробіт-аналізу, особливості його застосування для визначення токсичності пестицидів, зокрема інсектицидів, акарицидів та фунгіцидів. **Методи.** Для визначення токсичності пестицидів застосовано метод пробіт-аналізу, який полягає у встановленні дози речовини, необхідної для досягнення певного рівня смертності тестових організмів. Висновок робиться на основі трансформації S-подібної кривої «концентрація-відповідь» на пряму лінію. **Результати.** В статті детально розглянуто основні етапи проведення пробіт-аналізу: відбір біологічного матеріалу; визначення діапазону доз пестицидів, який буде використовуватись, приготування робочих розчинів; обробка біологічного матеріалу; облік смертності досліджуваних об'єктів; обробка одержаних результатів. Показано особливості застосування пробіт-аналізу за визначення токсичності інсектицидів та фунгіцидів різних хімічних груп та з різним механізмом дії. В якості прикладу розглянуто застосування методу для визначення токсичності інсектоакарициду Вертимек 018 ЕС, КЕ проти павутинного кліща (*Tetranychus urticae* Koch.). **Висновки.** Результати досліджень свідчать про ефективність методу пробіт-аналізу у визначенні токсичності засобів захисту рослин, можливість його застосування для оцінки чутливості шкідників і збудників хвороб до пестицидів, моніторингу їх резистентності.

**інсектициди; фунгіциди; пробіт-аналіз; смертельна концентрація; ефективна доза; шкідники; збудники хвороб**

Застосування пестицидів зводить до мінімуму великі втрати, що виникають через розповсюдження шкідників, хвороб і бур'янів. За даними ФАО, у 2020 р. в світі застосовувалось в середньому 1,81 кг/га пестицидів. У Європі цей показник становив

**<sup>1</sup>О.В. ШЕВЧУК,**  
кандидат сільськогосподарських наук

**<sup>1</sup>О.Г. ВЛАСОВА,**  
кандидат сільськогосподарських наук

**<sup>2</sup>І.В. ШЕВЧУК,**  
кандидат сільськогосподарських наук

**<sup>3</sup>Ю.Л. СТЕФКІВСЬКА,**  
<sup>1</sup>Інститут захисту рослин НААН,  
вул. Васильківська, 33, м. Київ,  
03022, Україна

<sup>2</sup>Інститут садівництва НААН,  
вул. Садова, 23, Новосілки,  
Київ, 03027, Україна

<sup>3</sup>Український інститут експертизи  
сортів рослин, вул. Генерала Родимцева,  
15, м. Київ, 03041, Україна  
e-mail: [phytoppi@ukr.net](mailto:phytoppi@ukr.net),  
[toxicology\\_ipp@ukr.net](mailto:toxicology_ipp@ukr.net)  
[shevig@ukr.net](mailto:shevig@ukr.net)

1,64 кг/га, у тому числі в Україні — 0,73 кг/га [1]. Найбільші обсяги застосування пестицидів відзначаються на кукурудзі, сої та картоплі [2, 3].

Оцінка токсичності пестицидів є важливим етапом встановлення безпечних доз використання і розробки належних регламентів з їх застосування. Зокрема, при синтезі нових або пошуку більш ефективних та менш небезпечних інсектицидів проводять первинну оцінку їхньої токсичності (скринінг) для певних тест-об'єктів. Крім того, широке застосування пестицидів викликало проблеми, пов'язані з виникненням резистентності до них у популяціях шкідливих організмів [4–7].

Оцінка токсичності пестицидів включає проведення низки досліджень, з яких найчастіше застосовують дози або концентрації, що спричиняють 50-відсоткову загибель особин: летальна доза ( $LD_{50}$ , д.р. мг/кг),

смертельна концентрація ( $СК_{50}$ , д.р. %). Реакція досліджуваного об'єкта може бути представлена як параметр, відмінний від смертності. У такому випадку використовують показник ефективної концентрації ( $EK_{50}$ , д.р. % — концентрація, що викликає 50% зниження вимірюваного показника).

Найпоширенішим методом, що використовується для аналізу даних про смертність за застосування певного діапазону доз/концентрацій, є пробіт-аналіз, який є спеціалізованою формою регресійного аналізу.

Термін «пробіт» («probit») походить від скорочення вислову «probability unit» — «одиниця ймовірності». Вперше його запропонував Честер Блісс (Chester Bliss) у 1934 р., згодом він був удосконалений Miller і Tainter та Finney [8, 9]. З його допомогою досліджують зв'язок між бінарною змінною-відгуком (тобто змінною, яка має одне з двох можливих значень-результатів — позитивний/негативний, живий/мертвий) та безперервною змінною, що характеризує чинник, який впливає на об'єкт. Це допомагає оцінити ймовірність того, наприклад, що комаха загине при дії певної кількості пестициду.

Пробіт-аналіз використовують у різних галузях, проте найширше його застосовують в токсикології для визначення ефективних або смертельних доз токсичних речовин, порівняння дії різних сполук або ж з метою визначення резистентності різних популяцій до певного токсиканту [10–12].

**Мета** досліджень — розглянути основні поняття, які використовуються в методі пробіт-аналізу, особливості його застосування для визначення токсичності

пестицидів, зокрема інсектицидів, акарицидів та фунгіцидів.

**Методика досліджень.** Пробіт-аналіз базується на припущенні, що результат дії токсичного агента, відображення якого є показник смертності, графічно має вигляд S-подібної кривої «концентрація — відповідь». Принцип даного методу полягає в трансформації даної кривої на пряму лінію. Для цього застосовується логарифмічне перетворення доз (концентрацій), а відповідні значення ефекту виражають в умовних одиницях — пробітах. Значення пробітів розраховується за формулою:

$$y_i = \Phi^{-1}(p_i), \quad (1)$$

де  $y_i$  — пробіти;  $\Phi^{-1}$  — зворотна кумулятивна функція розподілу ймовірностей стандартного нормального розподілу;  $p_i$  — скоригована смертність.

Для подальшого аналізу одержаних даних використовують регресійний аналіз із застосуванням методів найменших квадратів або максимальної правдоподібності. В результаті залежність стає лінійною і може бути описана формулою, яка має загальний вигляд:

$$y = kx + b, \quad (2)$$

де  $y$  — очікувана смертність в пробітах;  $x$  — логарифм дози/концентрації;  $k$  — кутовий коефіцієнт;  $b$  — вільний член.

Надалі робота проводиться з прямими лініями [8—10].

**Результати досліджень.** Метод пробіт-аналізу відомий досить давно, він широко застосовується на практиці і вважається найбільш достовірним для визначення показників токсичності пестицидів.

Загалом визначення показників токсичності можна поділити на такі основні етапи:

- відбір біологічного матеріалу;
- визначення діапазону доз пести-

цидів, який буде використуватись, приготування робочих розчинів;

- обробка біологічного матеріалу;
- облік смертності досліджуваних об'єктів;
- обробка одержаних результатів (обчислення основних показників токсичності та їхні помилки).

Для токсикологічних досліджень біологічний матеріал має бути однорідним, наприклад: комахи — зібрані в природних умовах на одному і тому ж полі при живленні однаковим сортом; моноспорові культури гриба — одного ізоляту.

Для дослідження реакції шкідливого об'єкта серію дозувань пестициду добирають таким чином, щоб вона охоплювала якомога більший діапазон реакції — від мінімальної, за якої гине 5—10% особин, до максимальної, коли рівень смертності становить 90% і більше. З метою стандартизації дослідів розрахунки ведуть за діючою речовиною препарату та застосовують однакову схему розведень, наприклад логарифмічну: 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001; 0,00001%, або за необхідності 0,1; 0,05; 0,025; 0,01; 0,005%.

За розрахунку концентрацій спочатку визначають кількість препарату, необхідного для приготування найбільш концентрованого (маточного) розчину. Використовують наступну формулу:

$$V = \frac{cv}{C} \times 100, \quad (3)$$

де  $V$  — кількість вихідного препарату для приготування необхідного об'єму розчину із заданою концентрацією;  $c$  — вміст діючої речовини у заданому розчині;  $v$  — необхідний для дослідів об'єм розчину;  $C$  — вміст діючої речовини у вихідному препараті.

Приготований розчин поступово розводять водою за схемою, поданою на рисунку 1. Оскільки для визначення  $СК_{50}$  (смертельної концентрації) необхідно мати не менше трьох точок, що лежать в межах від  $СК_{16}$  до  $СК_{84}$ , використовують не менше 5—6 концентрацій.

Наступним етапом є обробка біологічного матеріалу з використанням різних доз досліджуваної речовини (пестициду). Для цього використовують методики, специфічні як для кожної з груп досліджуваних об'єктів, так і для різних класів пестицидів. При дослідженні інсектицидів киш-

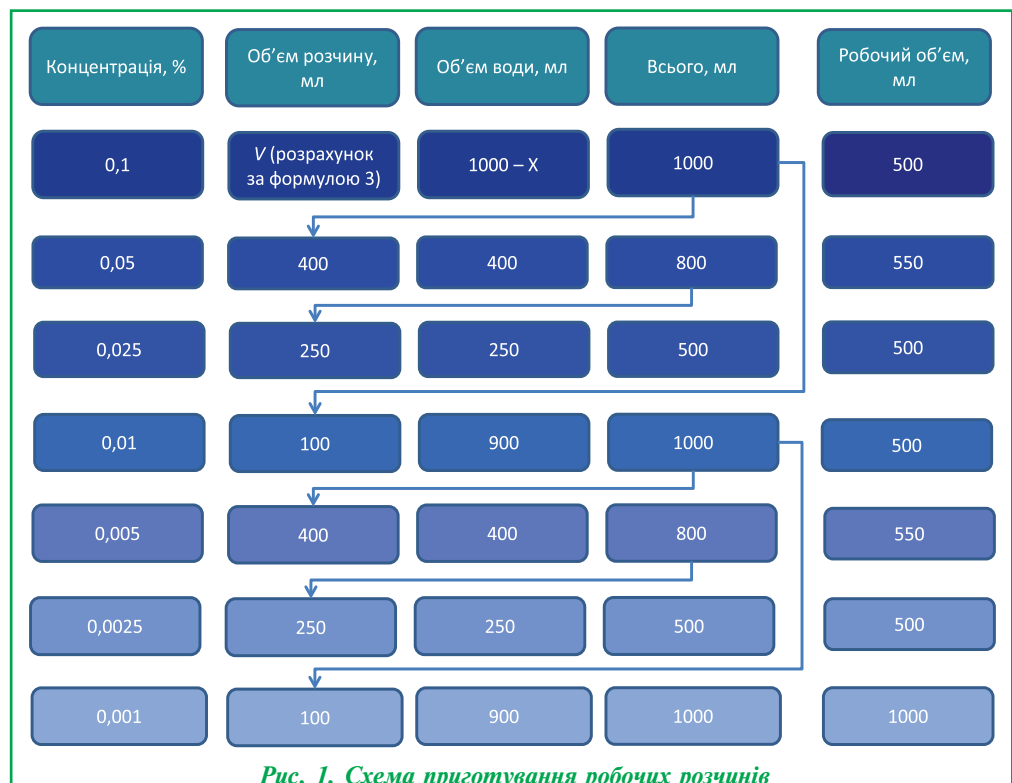


Рис. 1. Схема приготування робочих розчинів

кової дії використовують метод згодовування комахам отруєного корму. Для визначення токсичності інсектицидів контактної дії розчин інсектициду наносять безпосередньо на тіло комах або ж розташовують їх на попередньо обробленій поверхні. Обліковують загиблих комах через 7, 12, 24, 48 годин. Для оцінювання тривалості токсичної дії інсектицидів та акарицидів обліки проводять також і на наступні дні (до 7—14 діб залежно від виду комах і класів та класу препаратів).

Для кожної з доз обраховують смертність за наступною формулою:

$$P = \frac{m}{n} \times 100, \quad (4)$$

де  $P$  — смертність, %;  $m$  — кількість загиблих особин, екз.;  $n$  — кількість особин у дослідному варіанті, екз.

У випадку, коли в контрольному варіанті спостерігається загибель комах, розраховують смертність з поправкою на контроль за формулою Еббота:

$$P_c = \frac{P_i - P_0}{100 - P_0} \times 100, \quad (5)$$

де  $P_c$  — скоригована смертність, %;  $P_0$  — смертність у контролі, %;  $P_i$  — смертність у досліді, %.

За оцінювання токсичної дії фунгіцидів дослідження проводять в лабораторних (*in vitro*) та лабораторно-вегетаційних (*in vivo*) умовах. Лабораторні методи досліджень загалом можна поділити на дві групи: перша базується на пророщуванні спор збудника в розчині (емульсії, суспензії) фунгіциду на предметних скельцях у вологій камері, друга — на культивуванні патогенів на живильних середовищах.

За допомогою першого з методів досліджують гриби, що добре спороносять й відносно легко культивуються на штучних поживних середовищах або на природних субстратах. Також можливе використання спор, які змивають з уражених тканин безпосередньо перед початком досліді.

Застосування другої групи методів дає змогу дослідити чутливість до препарату збудників хвороб, зокрема тих, що не фор-

мують спороношення на живильних середовищах.

Комплексне застосування лабораторних методів дає змогу встановити чутливість до фунгіцидів як спор так і міцелію гриба. Проте дані методи не дозволяють провести оцінку деяких облигатних збудників хвороб, дослідження з якими проводять в умовах *in vivo*.

Для культивування грибів можуть застосовуватись різні живильні середовища, найчастіше використовують картопляно-глюкозний агар, на якому спостерігається задовільний ріст та спороношення більшості некротрофних патогенів. Збудники культують за температури 22—26°C у чашках Петрі або в пробірках на скошеному агарі. Вік культури має бути однаковим та оптимальним для кожного з грибів.

Спорову суспензію готують не раніше ніж за 30 хв до початку досліді. Для цього в пробірку чи чашку з культурою гриба наливають стерильну дистильовану воду, потім беруть голку з розміщенням на ній шматочком стерильної гумки й легенько проводять нею по поверхні культури. Одержану спорову суспензію фільтрують через марлю. Якщо рівень життєздатності спор знижений, до суспензії додають 0,05% цукрози, щоб сприяти їхньому проростанню. Визначають вихідну концентрацію спор в суспензії за допомогою камери Горяєва. Для досліджень використовують суспензію з концентрацією  $5 \times 10^4$  спор/мл. Одержану вихідну суспензію розводять стерильною дистильованою водою до необхідного рівня та контролюють концентрацію, використовуючи камеру Горяєва.

Маточний розчин фунгіциду готують з розрахунку на 100 мл. Готують робочі розчини відповідно до схеми (рис. 1), методом розведення маточного розчину. Предметні скельця попередньо стерилізують й безпосередньо перед дослідом протирають ватою, змоченою етиловим спиртом. Щоб уникнути розтікання крапель розчину, використовують предметні скельця із заглибленнями (лунками).

Розчин фунгіциду наносять на предметні скельця по 1—2 краплі, підсушують, після чого додають такий самий об'єм суспензії конідій. У контролі застосовують спорову суспензію без фунгіциду. За іншого методу спорову суспензію (0,5 мл) в пробірці змішують з 0,5 мл розчину фунгіциду, струшують і краплю одержаної суміші ( $\approx 0,1$  мл) наносять на предметне скельце. У даному випадку готують маточний розчин, концентрація якого вдвічі більша, враховуючи те, що за додавання спорової суспензії концентрація препарату і конідій зменшується вдвічі. У контрольному варіанті замість розчину фунгіциду використовують стерильну дистильовану воду [13]. Скельця розміщують у вологій камері, для чого в чашки Петрі вкладають два шари фільтрувального паперу, зволоженого стерильною дистильованою водою (5—7 мл). Для кожної концентрації, включаючи контроль, роблять 3—4 повторення.

Чашки Петрі витримують 24 години в термостаті за температури  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Обліки проводять при малому збільшенні мікроскопа ( $16\times$ ), підраховуючи в 10-ти місцях кожної краплини кількість пророслих чи непророслих конідій. На кожному повторенні враховують 100 конідій. Пророслою вважається та спора, в якій росток більший за половину діаметра. Вираховують відсоток пророслих спор [13].

Гальмування проростання конідій, з урахуванням поправки на контроль, розраховують за формулою Еббота:

$$T = \frac{G_c - G_t}{G_c} \times 100, \quad (6)$$

де  $T$  — гальмування проростання конідій, %;  $G_c$  — відсоток пророслих конідій в контролі, %;  $G_t$  — відсоток пророслих конідій в досліді, %.

Дослід повторюють тричі. Для кожної з концентрацій вираховують середній відсоток гальмування з трьох серій.

Також для оцінки чутливості збудників хвороб до фунгіцидів

використовують метод вирощування культур на агаризованому середовищі із розчином фунгіциду [14]. Градієнт концентрацій препарату створюють за допомогою розведень, як описано вище. Розчин фунгіциду вводять до розплавленого середовища при 40–50°C й збовтують. При цьому слід враховувати, що відбувається взаємне зниження концентрацій як препарату, так і середовища. Живильне середовище з препаратом розливають у чашки Петрі (по 20 мл). Повторність дослідів для кожної з концентрацій — п'ятиразова. В якості контролю застосовують чашки Петрі з середовищем без додавання фунгіциду. Інокуляцію агарової пластини проводять через 16–20 год після розливання середовища. Частинку міцелію грибаносять голкою в трьох місцях агарової пластини. Культури витримують в термостаті при температурі 22–26°C. Визначають середній розмір колоній, для чого двічі вимірюють діаметр кожної з них під кутом 90°. Гальмування росту колоній обчислюють за формулою [13]:

$$MGI = \frac{D_c - D_l}{D_c} \times 100, \quad (7)$$

де  $MGI$  — гальмування росту колонії, %;  $D_c$  — діаметр колонії в контролі;  $D_l$  — діаметр колонії в досліді.

Використовують також метод, коли препарат не додається до середовища безпосередньо. Диски фільтрувального паперу діаметром 12 мм змочують водним розчином, суспензією або емульсією фунгіциду та розкладають на поверхню живильного середовища. В центрі кожного з них розміщують диск живильного середовища з міцелієм гриба діаметром 5 мм [15].

До лабораторно-вегетаційних дослідів відносять методи, які передбачають оцінювання чутливості збудників до фунгіцидів за допомогою штучного зараження рослин (на ранніх стадіях розвитку), їх частин або плодів. Ступінь ураження обліковують за відповідними баловими шкалами та вираховують розвиток

хвороби. Гальмування ураження визначають за формулою Еббота.

Наступним етапом є обробка одержаних результатів і визначення  $СК_{50}$  ( $ЕК_{50}$ ). При цьому можна застосовувати як спеціалізовані статистичні програми (SPSS, R, StatPlus, Polo Plus тощо), так і програмне забезпечення загального призначення, зокрема Microsoft Excel.

Перш за все скоригований відсоток смертності (гальмування росту) переводиться в пробіти за допомогою таблиці 1 або з використанням комп'ютерних програм. Наприклад, при застосуванні Microsoft Excel використовується функція НОРМ.ОБР() (NORM.INV()) із значеннями параметрів  $\mu=5$ ,  $\sigma=1$ . Вираховуються десяткові логарифми концентрацій.

Далі будується діаграма, де по осі  $x$  відображається логарифм концентрації речовини, а по осі  $y$  — пробіти. За допомогою регресійного аналізу розраховується рівняння лінійної регресії. Важливим показником цього рівняння є кут нахилу пробіт-лінії. Чим він менший, тим горизонтальніше лежить лінія загибелі, тим більший діапазон концентрацій вона охоплює і більш гетерогенною є популяція за чутливістю до препарату. Зменшення кута нахилу лінії регресії аналізованої популяції свідчить про спрямованість процесу в популяції у бік розвитку резистентності до досліджуваного токсиканта [11, 12].

Використовуючи одержане рівняння знаходять значення логарифма концентрації, яке відповідає пробіту 5 (загибель 50%). Далі здійснюють його антилогарифмічне перетворення, в результаті чого одержують значення  $СК_{50}$ . Аналогічно можуть бути розраховані показники  $СК_{95}$ ,  $СК_{84}$ ,  $СК_{16}$ .

Стандартна помилка ( $SE$ ) вираховується за формулою:

$$SE = \frac{LC_{84} - LC_{16}}{\sqrt{2N}} \times 100, \quad (8)$$

де  $LC_{84}$  відповідає пробіту 6,  $LC_{16}$  — пробіту 4,  $N$  — кількість особин у групах, використаних для доз, для яких значення пробітів знаходяться в межах від 3,5 до 6,5.

Розглянемо застосування пробіт-аналізу на конкретному прикладі. В якості біологічного об'єкта був обраний павутинний кліщ (*Tetranychus urticae* Koch.). Досліджували дію препарату Вертимек 018 ЕС, КЕ, діючою речовиною якого є абабектин (18 г/л).

Отруєння кліщів проводили методом підсадки дорослих самиць кліщів на висічки із попередньо оброблених листків квасолі. Робочі розчини розводили за діючою речовиною. З вільних від кліщів листків квасолі робили висічки діаметром 22,5 мм, які за допомогою пінцета занурювали на три секунди у водні розчини препаратів заданих концентрацій (0,01 .. 0,000001 % д.р.).

**1. Таблиця перерахунку відсотків смертності у пробіти [16]**

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,25	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Контролем були чотири висічки з листків квасолі, занурені у воду. Висічки після підсушування розкладали в заздалегідь підготовлені чашки на вологу вату нижньою стороною догори. В одну чашку Петрі вміщували чотири висічки. На кожну висічку підсаджували під бінокляром за допомогою препарувальної голки 10 самиць кліща. Для кожної концентрації, включаючи контроль, брали чотири повторності. Обліки смертності кліщів проводили через 24 год.

Смертність кліщів у досліді, залежно від концентрації, варіювала в межах від 38,4 до 90,0% (табл. 2). У контролі загибелі дослідних об'єктів не спостерігали, тому коригування показника смертності для врахування поправки на контроль не проводили.

Розраховували пробіти за допомогою програми Microsoft Excel, значення становило від 4,705 до 6,282 (табл. 2). Регресійний аналіз одержаних даних та побудову графіка також здійснювали у Microsoft Excel. Для визначення кутового коефіцієнта нахилу використовували функцію НАКЛОН() (SLOPE()), а для вільного члена — ОТРЕЗОК() (INTERCEPT()). У результаті одержали рівняння:  $y = 0,2578x + 6,7607$  (рис. 2). Підставляючи в нього значення пробіту 5 ( $y$ ), одержуємо:  $x = (y - 6,7607) / 0,2578 = (5 - 6,7607) / 0,2578 = -6,8297$ . Тобто пробіту 5 відповідає логарифм концентрації  $-6,8297$ . Отже,  $СК_{50}$  абамектину для самиць павутинного кліща дорівнює  $10^{-6,8297} = 1,48 \cdot 10^{-7}\%$ .

## ВИСНОВКИ

Результати досліджень свідчать про ефективність методу пробіт-аналізу у визначенні токсичності засобів захисту рослин, можливість його застосування для оцінювання чутливості шкідників і збудників хвороб до пестицидів, моніторингу їхньої резистентності.

**Фінансування.** Дослідження виконували в рамках завдань 24.01.02.03.Ф «Наукові основи

## 2. Дія Вертимеку 018 ЕС, КЕ (абамектин, 18 г/л) на самиць звичайного павутинного кліща

Препарат	Концентрація, % за д.р.	Кількість кліщів, екз.	Середній % смертності	Логарифм концентрації	Пробіт
Вертимек 018 ЕС, КЕ (абамектин, 18 г/л)	0,1	40	90,0	-1	6,282
	0,01	40	89,25	-2	6,240
	0,0001	40	86,9	-4	6,122
	0,00001	40	79,25	-5	5,815
	0,000001	40	38,4	-6	4,705
Контроль (обробка водою)	0	40	0	—	—

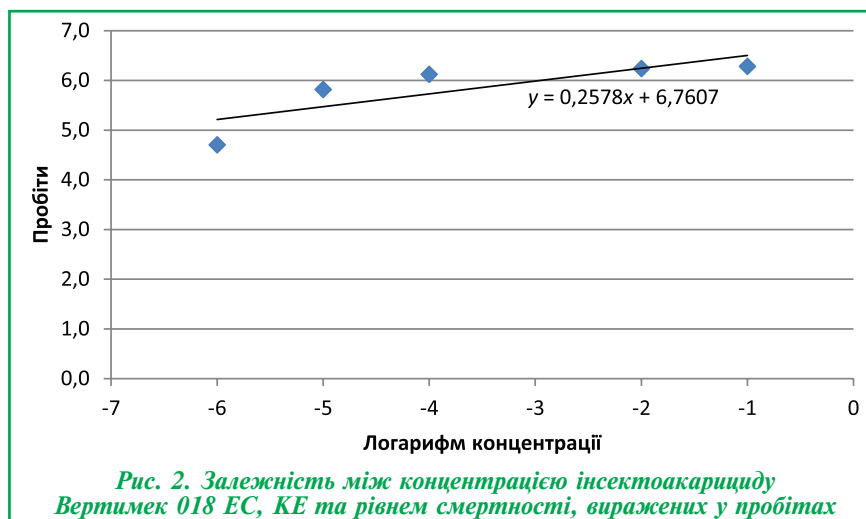


Рис. 2. Залежність між концентрацією інсектоакарициду Вертимек 018 ЕС, КЕ та рівнем смертності, виражених у пробітах

управління розвитком хвороб грибної етіології в трансформованих агроценозах», 24.05.02.01.Ф «Еколого-токсикологічні основи оптимізації хімічного захисту сільськогосподарських культур від шкідників для фітосанітарного оздоровлення агроценозів», 22.01.03.04.Ф «Розроблення теоретичних основ ефективного управління фітосанітарним станом плодових і ягідних агроценозів при виробництві органічної продукції»

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. FAOSTAT. Pesticides indicators [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/EP> (дата звернення 15.02.2023).
2. United Nations Environment Programme. Synthesis Report on the Environmental and Health Impacts of Pesticides and Fertilizers and Ways to Minimize Them. Geneva, 2022. 72 p.
3. Fernandez-Cornejo J., Nehring R., Osteen C. et al. Pesticide Use in U.S. Agriculture: 21 Selected Crops, 1960—2008. Technical report. United States Department of Agriculture, 2014. 86 p.
4. Березовська-Бригас В.В., Секун М.П. Моніторинг резистентності до інсектицидів у

популяціях шкідників сільськогосподарських культур. Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства НААН. 2018. №3. С. 39-49.

5. Власова О.Г., Секун М.П., Зацеркляна М.Д. Антирезистентна система захисту рослин від шкідливих членистоногих. Захист і карантин рослин. 2020. Вип. 66. С. 58-73.

6. Beckie H.J., Busi R., Lopez-Ruiz F.J., Umina P.A. Herbicide resistance management strategies: how do they compare with those for insecticides, fungicides and antibiotics? Pest Management Science. 2021. V. 77, N 7. P. 3049-3056. <https://doi.org/10.1002/ps.6395>

7. Corkley I., Fraaije B., Hawkins N. Fungicide resistance management: Maximizing the effective life of plant protection products. Plant Pathology. 2022. V. 71, N 1. P. 150-169. <https://doi.org/10.1111/ppa.13467>

8. Sparling D.W. Modeling in Ecotoxicology. In: Ecotoxicology Essentials, Academic Press, 2016. P. 361-390. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801947-4.00012-3>

9. Arambašić M.B., Randhawa M.C. Comparison of the methods of Finney and Miller-Tainter for the calculation of LD50 values. World Applied Sciences Journal. V. 32, N 10. P. 2167-2170. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.32.10.9132>

10. Denham B.E. Probit analysis. In: Categorical Statistics for Communication Research. John Wiley & Sons, Inc., 2017. P. 118-215.

11. Demidenko E., Miller T.W. Statistical determination of synergy based on Bliss definition of drugs independence. PLoS ONE. 2019. V. 14, N 11. Article: e0224137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224137>

12. Lei C., Sun X. Comparing lethal dose ratios using probit regression with arbitrary slopes. BMC Pharmacology and Toxicology,

2018. V. 19. Article: 61. <https://doi.org/10.1186/s40360-018-0250-1>

13. Koka J.A., Bhat M.Y., Wani A.H. In vitro efficacy of fungicides on mycelial growth and spore germination of *Alternaria alternata* and *Mucor plumbeus*. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2021. V. 11, N 3. P. 17-22. <https://doi.org/10.22270/jddt.v11i3.4692>

14. Balouiri M., Sadiki M., Ibsouda S.K. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 2016, V. 6, N 2. P. 71-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>

15. Ceiro-Catasú W.G., Rueda-Puente E.O., Rondón-Fonseca R. et al. Inhibición del crecimiento de *Fusarium oxysporum* f. sp. *nicotianae* por dos métodos de envenenamiento in vitro con fungicidas de diferentes grupos toxicológicos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2022. V. 39, N 3. Article e223944. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n3.10](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n3.10)

16. Hamidi M.R., Jovanova B., Panovska T.K. Toxicological evaluation of the plant products using Brine Shrimp (*Artemia salina* L.) model. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*. 2014. V. 60, N 1. P. 9-18. <http://dx.doi.org/10.33320/maced.pharm.bull.2014.60.01.002>

<sup>1</sup>Shevchuk O.,

ORCID: 0000-0003-0954-1922

<sup>1</sup>Vlasova O.,

ORCID: 0000-0002-5704-3322

<sup>2</sup>Shevchuk I.,

ORCID: 0000-0001-6625-9427

<sup>3</sup>Stefkivska Yu.,

ORCID: 0000-0002-5679-0377

<sup>1</sup>*Institute of Plant Protection of NAAS, 33, Vasylykivska str., Kyiv, 03022, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute of horticulture NAAN, Sadova st., 23, Novosilky, Kyiv, 03027, Ukraine*

<sup>3</sup>*Ukrainian institute for plant variety examination, 15, Henerala Rodymtseva str., Kyiv, 03041, Ukraine*

*e-mail: phytoppi@ukr.net, toxicology\_ipp@ukr.net, shevig@ukr.net*

### Determination of pesticide toxicity parameters using probit-analysis

**Goal** of the research is to consider the main concepts used in the probit-analysis method, the features of its application to determine the toxicity of pesticides, in particular insecticides, acaricides and fungicides. **Methods.** To determine the toxicity of pesticides, the method of probit-analysis was used. It consists in determining the dose of a substance necessary to achieve a certain level of mortality of test organisms, based on the transformation of the S-shaped «dose-effect» curve into a straight line. **Results.** The article describes in detail the

main stages of probit-analysis: selection of biological material; determination of the pesticide dose range to be used and preparation of working solutions; processing of biological material; assessing the mortality of the studied objects; processing of the obtained results. The peculiarities of its use in determining the toxicity of insecticides and fungicides of different chemical groups and with different mechanisms of action are shown. As an example, the application of the method for determining the toxicity of insecto-acaricide Vertimek 018 EC against the spider mite (*Tetranychus urticae* Koch.) is given. **Conclusion.** The results of the research show the effectiveness of the probit-analysis method in determining the toxicity of pesticides, the possibility of its application for assessing the sensitivity of pests and pathogens to pesticides, and monitoring of their resistance.

**insecticides; fungicides; probit-analysis; median lethal concentration; median effective dose; pests; diseases**

Надійшла до редакції: 02.05.2023

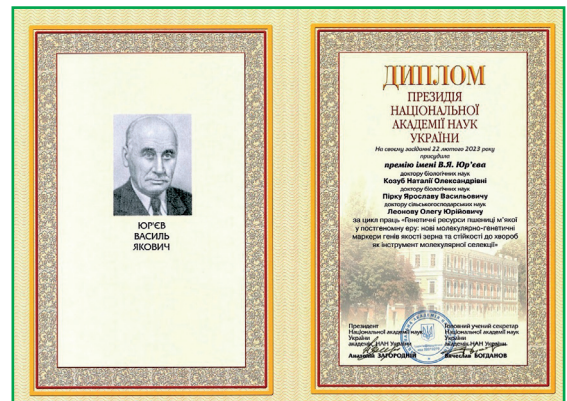
Прийнята до друку: 15.05.2023

Надруковано й опубліковано онлайн: липень 2023

## ВРУЧЕННЯ НАГОРОД ЛАУРЕАТАМ ПРЕМІЙ ІМЕНІ ВИДАТНИХ УЧЕНИХ УКРАЇНИ ЗА ПІДСУМКАМИ КОНКУРСУ 2022 РОКУ

Під час чергової сесії Загальних зборів Національної академії наук України, що відбулася 27 квітня 2023 року в Києві, Президент НАН України академік Анатолій Загородній вручив дипломи лауреатам премій імені видатних учених України за підсумками конкурсу 2022 року.

Премію імені Василя Яковича Юр'єва за видатні наукові роботи в галузі генетики і створення нових методів акліматизації, більш високотоврожайних сортів сільськогосподарських культур та високопродуктивних порід тварин — за цикл праць «Генетичні ресурси пшениці м'якої у постгеномну еру: нові молекулярно-генетичні маркери генів якості зерна та стійкості до хвороб як інструмент молекулярної селекції» отримали: завідувачка лабораторії екологічної генетики рослин та біотехнології Інституту захисту рослин



НААН України доктор біологічних наук Наталія Козуб; учений секретар Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України» доктор біологічних наук Ярослав Пірко; завідувач лабораторії Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України доктор сільськогосподарських наук Олег Леонов.