

КОНТРОЛЬ ЧИСЕЛЬНОСТІ ШКІДНИКІВ ПРОДОВОЛЬСТВА ТА ЗАПАСІВ ФТОРИСТИМ СУЛЬФУРИЛОМ

РОМАНКО В.О. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-5263-4190

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

ДУДИНСЬКА А.Т. – кандидат біологічних наук, доцент

orcid.org/0000-0001-7461-0512

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

Постановка проблеми. На даний час у фітосанітарних заходах в Україні фактично використовується лише один фумігант – фосфін. Незважаючи на високу ефективність цього фумігantu, постійне та недостатнє контролюване його використання може призвести до негативних наслідків, які пов'язані із виникненням у комах стійкості (резистентності), що генетично закріплюється й передається наступним поколінням. У випадку завезення резистентних шкідливих організмів або виникнення їх популяцій на території країни боротися з ними буде практично нічим. Це призведе до неконтрольованого розповсюдження стійких до фосфіну популяцій, а згодом й до значних матеріальних втрат. Крім того, фосфін, особливо його тверді форми, не відзначаються універсалізмом [1, 2, 3].

З вищенаведеного очевидно, що в Україні є необхідність в пошуку та заміні бромистого метилу, як забороного газу, а також твердих препаративних форм фосфіну, іншими альтернативними фумігантами. Як один із таких фумігантів може розглядатися фтористий сульфурин.

Проте фумігація фтористим сульфуриним проти різних груп шкідливих організмів, в тому числі комах-шкідників продовольства й запасів досліджена недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку наявністю таких проблем як пошук альтернативних бромметилу фумігантів, а також резистентності деяких шкідників до твердих препаративних форм фосфіну, в останні два десятиліття дослідження проводяться в напрямку випробовування різних фумігантів та їх препаративних форм, а також їх окремої дії на шкідників так і сумішей газів. В ідеалі альтернативні бромметилу фуміганти, або їх суміші повинні забезпечити не лише високу токсичну ефективність проти шкідників, а в карантинній фумігації навіть стовідсоткову, але, водночас, залишкова кількість газоподібних пестицидів в рослинній продукції після їх обробки повинна бути нижче за гранично допустимі показники. Крім того фуміганти не повинні негативно впливати на схожість та енергію проростання, товарну, біохімічну якість рослинної продукції яка знезаражується та бути безпечними для подальшого їх споживання чи використання. На думку, багатьох дослідників, пошук таких фумігантів, які б відповідали всім вищенаведеним критеріям, є складним питанням [2, 4, 5]. Тому більш доцільніше збільшувати асортимент фумігантів та їх сумішей або препаративних форм для конкретно взятого шкідника.

На думку, Rajendran & Somiahnadar (2020) ефективність контролю шкідливих організмів полягає у їх індивідуальному підході, а також застосуванні кількох способів знезараження [4].

Так, наприклад, Klechkovskiy Yu. E., Neamtsu E. F. (2020) доводять, що карантинна фумігація свіжих бульб картоплі сумішшю двоокису вуглецю і бромистого метилу (CH_3Br) проти карантинного шкідника – картопляної молі можлива з нормою витрати CH_3Br у 4 рази нижчої за його дозування, порівняно при застосуванні його в чистому вигляді [5].

Отриманий синергізм газів між фосфіном та етилформіатом проти *Pseudococcus longispinus* та *P. orchidicola*. Крім того, Cho S. W. et al. (2020) доводять, що дана фумігація сумішами етилформіатом концентрацією 16 мг/л і PH_3 0,1 мг/л протягом 4 годин, здатна забезпечити повну загибель імаго та німф даних шкідників [6].

При фумігації сумішей етилформіну (LC_{50} 68,1 і 73,1 г/м³) та бромистого метилу (LC_{50} 95,9 і 78,4 г/м³) за 15 °C проти *Achatina fulica* та *Lycoriella mali* (шкідників імпортованих орхідей), синергізм не визначали. Проте Kwon T.-H. et al. (2023) акцентують увагу на те, що виявилась значно нижча фітотоксична дія досліджуваних сумішей газів на живі рослини, на відміну від бромметилу [7].

Також проводили дослідження сумішей газів фосфіну з фтористим сульфуриним проти деяких комах-шкідників запасів. Зокрема отримані позитивні результати досліджень проти резистентного до фосфіну виду *Cryptolestes ferrugineus*. При чому Jagadeesan et al. (2021) вказують на те, що синергізм спостерігався за умови як сумісної дії фумігантів, так і їх почергової дії: спочатку знезараження проводили фтористим сульфуриним, а далі – фосфіном [8].

Romanko, V., & Dudynska, A. (2023) досліджували синергізм сумішей газів фосфіну та вуглекислим газом при фумігації проти зерноїдів на стадії імаго. Оптимальна концентрація вуглекислого газу знаходилася в межах 110-130 г/м³ (або 5,5-6,5 % від загального об'єму повітря) незалежно від температурного показника. Тоді як оптимальна концентрація фосфіну за невисоких температур (21-22 °C) – в межах 0,57-0,82 г/м³, а при високих (31-32 °C) – в діапазоні 0,21-0,36 г/м³. При збільшенні тривалості фумігації підвищувалася не лише ефективність фосфіну (еталону) проти імаго зерноїда, а також і ефективність сумішей газів. Температура виявилася

найбільш визначальним фактором, що впливав на значення показника синергізму газів у суміші фосфіну з вуглекислим газом. Так, підвищення температури з 30 до 32 °C сприяло збільшенню показника синергізму газів на 9 % [9].

Романко В. (2023) проводив дослідження щодо токсичної дії сумішей фосфіну з вуглекислим газом проти шкідників зернобобової продукції на різних стадіях розвитку. Для забезпечення 100% загибелі стійких популяцій *Acanthoscelides obtectus* на стадії яйця була необхідність збільшити показники ДКЧ з 10,14–14,23 до 19,22–29,25 годинogramів залежно від температури. *Acanthoscelides obtectus* на стадії яйця виявся найбільш стійким при фумігації сумішами газів за різних температур. Лялечки лише на 7,0 % є менш стійкими до сумішей газів, порівняно з стадією яйця. Різниця загибелі між активними та неактивними стадіями становила 38,4 та 18,7 % за температур 30 та 22 °C відповідно, що вказує на важливість температурного фактору при незараженні [10].

Також Romanko V. O. Dudynska, A. (2023) досліджували токсичну дію сумішей газів фосфіну з вуглекислим газом проти комірних кліщів та комах-шкідників. На відміну від комірних кліщів, при застосуванні фосфіну з вуглекислим газом проти комах-шкідників водночас, відмічались як і синергізм газів так і їх ефективність [11].

В останні роки активно проводяться дослідження в напрямку вивчення ефективності дії фтористого сульфуриду проти цілого ряду шкідників продовольства й запасів та проти шкідників сухофруктів та горіхів.

Так, на думку авторів Nayak M. K., et al. (2016) фтористий сульфурид виявився ефективним проти основних шкідників, стійких до фосфіну, таких як *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* та *Cryptolestes ferrugineus*. Ефективність токсичної дії даного фуміганту залежала, перш за все, від температури і періоду експозиції. Повну загибель досліджуваних шкідників отримали за ДКЧ від 400 до 1500 годинogramів [12].

Автори Rajeswaran Jagadeesan, Manoj Nayak (2016) стверджують, що при дослідженні токсичної дії фтористого сульфуриду на *R. dominica*, *S. oryzae*, *C. ferrugineus* та *T. castaneum* їх резистентності до фуміганту не виявляли. Проте для повної загибелі даних шкідників необхідно було досягти високих значень ДКЧ 2438–2985 годинogramів [13].

Подібну токсичну дію досліджуваного фуміганту відзначали Романко В.О. та ін. (2014). Для забезпечення 100 % ефективності фтористого сульфуриду проти вогнівки млинової, довгоносика комірного, борошноїда суринамського, зерноїда квасолевого на стадії яйця необхідно застосовувати за ДКЧ (в межах від 410,20 до 1741,13 годинogramів) та експозицій (від 24 до 50 годин), залежно від температури та виду шкідника [14].

На нашу думку, вищенаведені параметри фумігації є достатньо високими, які актуальні при карантинній фумігації або незараженнях обмежених у часі. Проте, у разі можливості проведення повторних фумігацій є доцільність у розробці летальних норм шкідників лише на постембріональних стадіях, які можуть бути економічно обґрунтованими.

Мета роботи: дослідити ефективність фтористого сульфуриду проти основних комах – шкідників продовольства й запасів на постембріональних стадіях розвитку за різного температурного режиму.

Матеріали та методика досліджень. Роботу проводили в Закарпатському територіальному центрі карантину рослин Інституту захисту рослин НААН України в 2011–2013 роках. Продовжували дослідження в інституті електронної фізики Національної академії наук України в 2021–2024 роках.

Об'єкти досліджень: токсична дія фтористого сульфуриду, комахи-шкідники такі як *Sitophilus granarius* L. (довгоносик комірний), *Acanthoscelides obtectus* Say (зерноїд квасолевий), *Oryzaephilus surinamensis* L. (борошноїд суринамський), *Ephesia kuehniella* Zell. (вогнівка млинова) на постембріональних стадіях розвитку.

При вивченні токсичної дії фтористого сульфуриду проти шкідників за основний показник, від якого при певній температурі залежала ефективність фуміганту, було прийнято ДКЧ, який виражали у годинogramах [14].

Дослідження були направлені на вивчення токсичної дії фтористого сульфуриду проти шкідників на різних стадіях розвитку та за різних температурних режимів (від 17 до 32 °C).

Технологія проведення лабораторної фумігації фтористим сульфуридом

Фумігацію проводили у лабораторних умовах у спеціально розроблених камерах об'ємом 3 літри та обладнаних до потреб подібних досліджень. У камері є отвори для введення фуміганту та розташування садків з біоматеріалом, передбачено можливість рециркуляції газової суміші та створення від'ємного тиску.

Для введення в камеру необхідної кількості фуміганту була розроблена та виготовлена спеціальна установка, за допомогою якої з високою точністю можна дозувати фумігант від 0,1 до 35 г/м³. Вимірювання заданої кількості фуміганту проводиться за допомогою мірної бюретки ємністю 25 мл. шляхом введення у заповнену водою бюретку фтористого сульфуриду з балончика.

Методика дослідження інсектицидної дії фтористого сульфуриду

Для фумігації *прихованих стадій* комах (личинки та лялечки довгоносика комірного, личинки та лялечки квасолевого зерноїда) наважки зараженого комахами субстрату (масою від 500–800 мг борошна до 7000–9000 мг квасолі) поміщали у газопроникні садки. Контролем в нас слугували нефуміговані особини комах, які містилися в субстраті. Повторність триразова.

По закінченню експозиції та дегазації субстрат пересипали в пробірки, які закривали газопроникною тканиною і витримували в лабораторних умовах (кімнатна температура та вологість) до початку виходу імаго в контролі. Після початку виходу імаго підраховували кількість особин в дослідних варіантах та контролі, при цьому розтирали зерна пшениці та квасолі і підраховували також кількість прихованих особин у живому стані.

Далі підраховували загальну кількість особин комах у повторності і визначали кількість особин комах на

1 грам субстрату за формулою (2.1), а загибель комах у досліді – за формулою (2.2).

Кількість особин комах на 1 грам субстрату за формулою:

$$n = \frac{N \times 100}{m}, \text{ де} \quad (1)$$

n – кількість особин комах у 1 грамі субстрату, штук, N – кількість особин комаху пробі, штук, m – маса пробі, грами.

Загибель комах у досліді визначали за формулою:

$$E = 100 - \left(\frac{D}{K} \right), \text{ де} \quad (2)$$

E – загибель комах в досліді з урахуванням контролю, %, D – кількість живих комах у 1 грамі субстрату в досліді після фумігації, особин, K – кількість живих комах у 1 грамі субстрату в контролі, особин.

Для фумігації *неприхованих стадій* розвитку комах (імаго зерноїда квасолевого та довгоносики комірного, імаго, личинки, лялечки борошноїда суринамського та вогнівки млинової) поміщали в газопроникні садки, які в свою чергу – у фумігаційні камери. Після закінчення експозиції та дегазації комах поміщали в чашки Петрі для подальших обліків загибелі (личинки борошноїда суринамського та вогнівки млинової, виходу імаго із лялечок борошноїда суринамського та вогнівки млинової, а також імаго всіх досліджуваних комах) та витримували в лабораторних умовах. Обліки проводили візуально неозброєним оком та за допомогою бінокулярного мікроскопа.

Ефективність фумігації визначали з врахуванням контролю за формулою Аббота.

Фумігацію фтористим сульфуром проти досліджуваних комах на різних стадіях розвитку проводили за такими параметрами в межах: ДКЧ від 4,10 до 103,23 годинogramів, середньої концентрації від 0,82 до 34,87 г/м³, експозиції від 30 хвилин до 4 годин, залежно від температури (17, 23 та 32 °C).

В досліді із вивчення токсичної дії фтористого сульфуриту за різних температур використовували 100 яєць, 50 личинок, лялечок, імаго в одній повторності. Повторність у досліді та в контролі триразова.

Результати досліджень. При проведенні нами досліджень важливою умовою було встановлення показника загибелі шкідників на рівні 90-99 %, що в подальшому давало можливість більш точно визначити показник летальної норми за мінімально ефективних концентрацій та експозицій фумігantu. Тому у разі отримання 100 % загибелі шкідливих організмів токсичне навантаження зменшували до встановлення 90-99 % показника загибелі даних шкідливих організмів.

Слід відзначити, що фтористий сульфурит виявився ефективним проти зерноїда квасолевого на всіх постембріональних стадіях за невисоких значень ДКЧ. Так, повну загибель шкідника на постембріональних стадіях його розвитку отримували при різних температурах за ДКЧ від 34,87 до 103,23 годинogramів (рис. 1).

Серед постембріональних стадій зерноїда квасолевого найбільш стійкими виявились лялечки, 100 % загибель яких отримували в межах ДКЧ від 58,03 до 103,23 годинogramів залежно від температури. Найменш стійким шкідник виявився на стадії імаго. Летальні значення ДКЧ були в межах від 34,87 до 76,53 годинogramів залежно від температури.

Спостерігали чітку залежність токсичної дії фумігantu на комах від температури. При зниженні температури для отримання 100 % загибелі шкідників була необхідність у підвищенні токсичного навантаження, тобто у збільшенні показника ДКЧ, і навпаки, підвищення температури зменшувало стійкість комах до фумігantu. Так, за температури 17 °C в середньому стійкість зерноїдів на постембріональних стадіях розвитку збільшувалась у 1,3 рази порівняно за температури 23 °C та 1,9 разів порівняно за температури 32 °C.

Слід відзначити те, що при фумігації фтористим сульфуром 100 %-у загибель шкідника досягали за

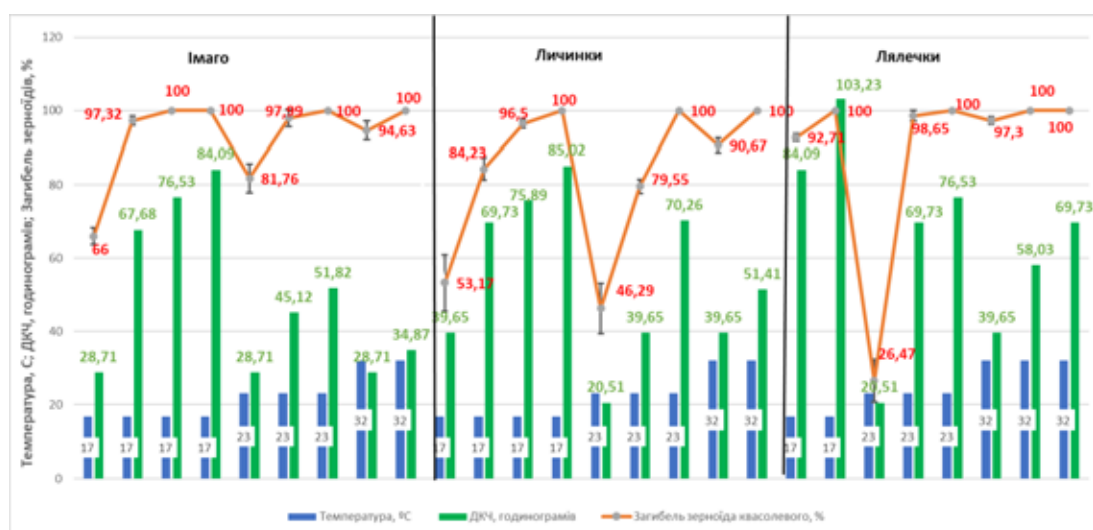


Рис. 1. Токсична дія фтористого сульфуриту проти зерноїда квасолевого на постембріональних стадіях розвитку за різних температур

коротких експозицій (2-4 години). Для порівняння, тривалість фумігації зерна фосфіном таблетованим від шкідників запасів проводиться в середньому 3-6 а в деяких випадках навіть до 9 діб залежно від температури [15].

Як і у випадку із зерноїдом квасолевим, температура значно впливала на загибель вогнівки млинової при знезараженні фтористим сульфуром (рис. 2).

На відміну від зерноїда квасолевого, вогнівка млинова виявилась більш чутливою до фуміганту. Так, повну загибель вогнівки млинової на постембріональних стадіях розвитку отримували за ДКЧ від 12,84 до 84,61 годинограмів залежно від температурного режиму.

Серед постембріональних стадій найбільш стійкими виявились лялечки вогнівки млинової, значення летальних норм ДКЧ яких було в межах від 55,83 до 84,61 годинограмів, залежно від температури. Личинки та імаго виявились значно чутливими до фуміганту – повну загибель визначали від 29,25 до 51,06 та від 12,84 до 28,71 годинограмів відповідно (рис. 2).

Як і в попередніх випадках, фтористий сульфур виявився ефективним і проти довгоносика комірного. Так, 100 % загибель шкідника на постембріональних стадіях розвитку отримували за ДКЧ від 16,41 до 70,26 годинограмів залежно від температурного режиму (рис. 3).

На відміну від зерноїда квасолевого та вогнівки млинової, в яких стадія імаго була найбільш чутливою до фуміганту, довгоносик комірний виявився найменш стійким до фуміганту на стадії личинки, повна загибель шкідника була в межах від 16,41 до 40,47 годинограмів, залежно від температури. Найбільш стійкою стадією до фтористого сульфурису, як і у попередніх випадках, виявились лялечки довгоносика комірного,

повну загибель якого отримували за ДКЧ від 40,29 до 70,26 годинограмів.

Температура, як і в попередніх випадках, виявилась основним параметром, який впливає на ефективність фуміганту.

Так, наприклад, підвищення температури з 17 до 23 °C зумовлювало збільшенню загибелі імаго довгоносика комірного з $91,28 \pm 5,70$ до 100,00 при дії фтористим сульфуром (ДКЧ в межах 28,62-28,71 годинограмів). Підвищення температури з 23 до 32 °C спричинювало зростанню загибелі імаго довгоносика комірного з $87,33 \pm 3,46$ до $96,64 \pm 1,31$ (ДКЧ 16,41 годинограмів) (рис. 3).

Також встановлено 100 % ефективність фтористого сульфурису проти борошноїда суринамського на постембріональних стадіях розвитку в межах від 9,57 до 56,06 годинограмів, залежно від температури (рис. 4).

Найбільш стійкою до фуміганту стадією розвитку комахи, як і в попередніх випадках, виявились лялечки, повне знищення яких було можливе за ДКЧ від 31,45 до 56,06 годинограмів, залежно від температури. Найбільш чутливими виявились личинки, летальні норми яких знаходились в межах від 9,57 до 20,51 годинограмів залежно від температури (рис. 4).

В цілому борошноїд суринамський виявився найменш стійким до фтористого сульфурису на всіх стадіях розвитку серед досліджуваних нами шкідників.

В середньому зерноїд квасолевий на стадіях імаго, личинки та лялечки виявився у 2,7, 1,8 та 1,1 рази більш стійким до фтористого сульфурису порівняно з імаго, гусеницями та лялечками вогнівки млинової; у 1,8, 5,1 та 1,9 рази більш стійкими порівняно з імаго, личинками та лялечками борошноїда суринамського та у 1,8, 2,9 та 1,5 рази – порівняно з довгоносиком комірним.

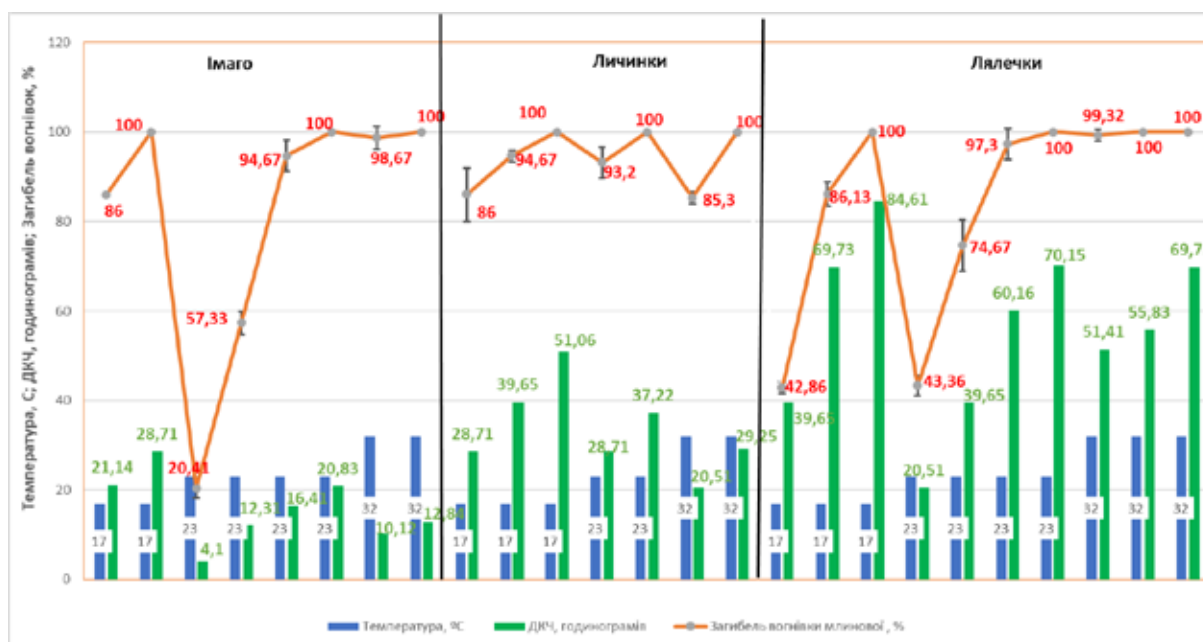


Рис. 2. Токсична дія фтористого сульфурису проти вогнівки млинової на постембріональних стадіях розвитку за різних температур

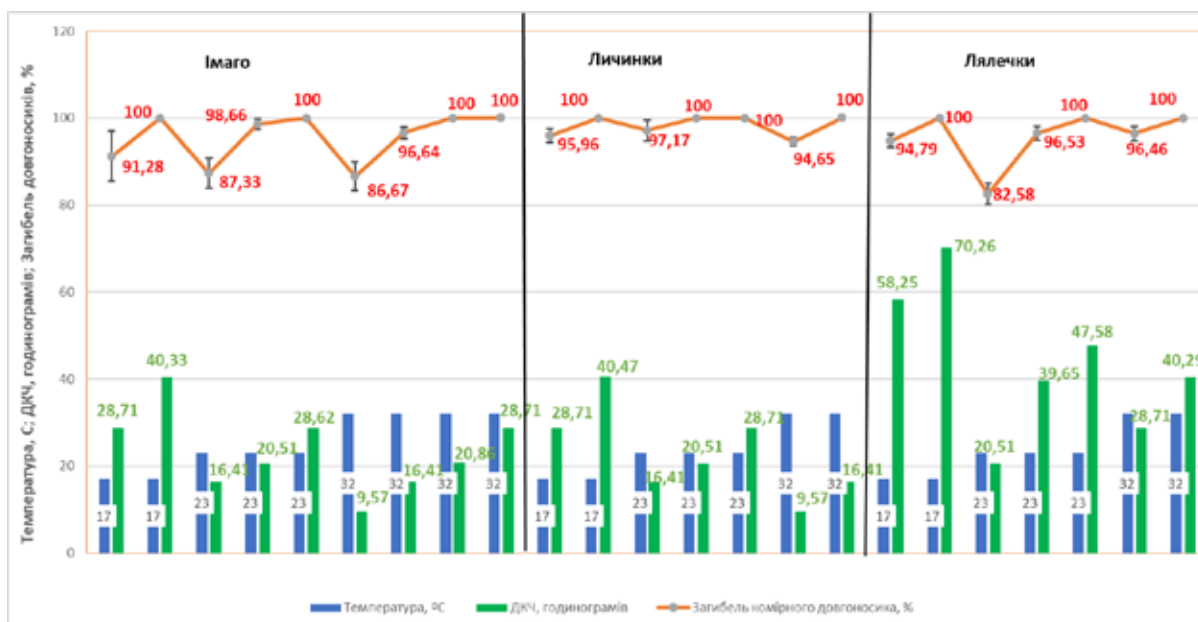


Рис. 3. Токсична дія фтористого сульфуриду проти довгоносика комірного на постембріональних стадіях розвитку за різних температур

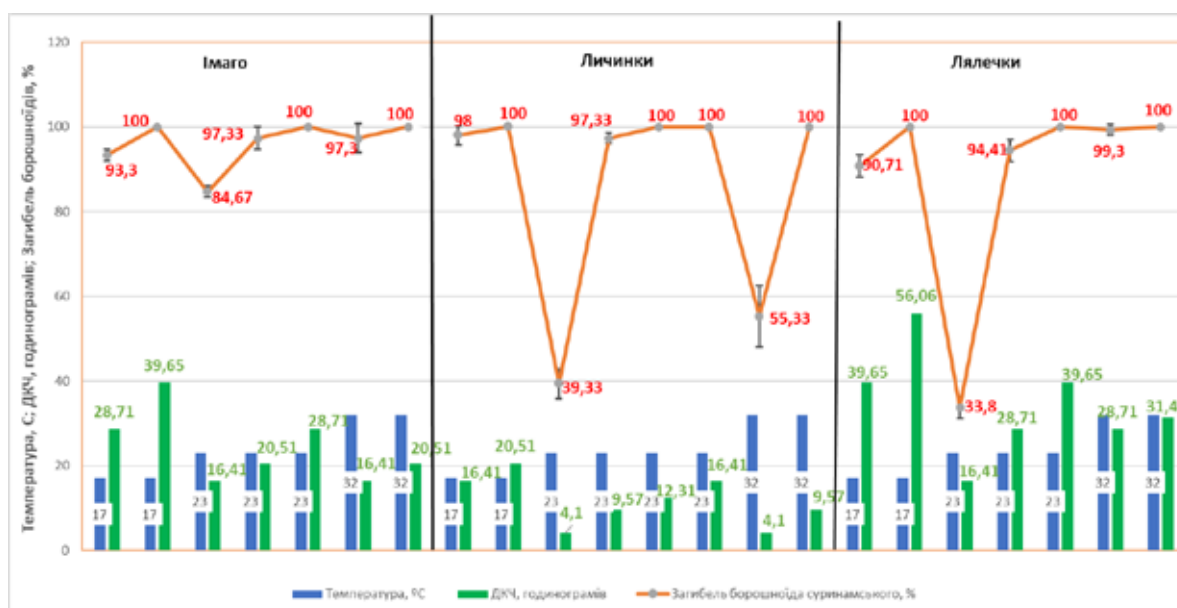


Рис. 4. Токсична дія фтористого сульфуриду проти борошноїда суринамського на постембріональних стадіях розвитку за різних температур

Різниця між найбільш та найменш чутливою стадією розвитку комах до фтористого сульфуриду була: у зерноїда квасолевого в 1,5 рази, у довгоносика комірного – 2,2, у борошноїда суринамського – 3,1, у вогнівки млинової – 3,4 відповідно.

В цілому більшу різницю чутливості відмічали між стадіями одного виду, ніж у порівнянні з міжвидовою чутливістю комах, які знаходились на однакових стадіях розвитку.

Відзначали залежність загибелі шкідників на всіх постембріональних стадіях розвитку від температурного

режиму за фумігації фтористим сульфуром. А саме, спостерігали прямий кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції в межах від 0,94 до 0,99) між загибеллю комах (в %) та температурою за однакових значень ДКЧ.

Крім того, в залежності від температурного режиму відзначали різну амплітуду чутливості у активних (личинки та імаго) та неактивних (лялечки) стадій комах до фтористого сульфуриду.

Так, у імаго зерноїда квасолевого різниця чутливості до фумігantu між температурами 17 та 23 °C, 17 та 32 була у 1,5 та 2,2 рази відповідно. Для порівняння

у лялечок зерноїда квасолевого – 1,4 та 1,8 рази (при тих самих температурах). Між температурами 17 та 23 °C різниця чутливості імаго вогнівки млинової була у 1,4 рази, а у лялечок – 1,2 рази. Між температурами 17 та 32 °C різниця чутливості імаго вогнівок була ще більшою – 2,3 рази, а у лялечок – 1,5 рази. Аналогічну тенденцію спостерігали з борошноїдом суринамським та довгоноси́ком ко́мірним.

Це, ймовірно, пояснюється тим, що в умовах високих температур процеси дихання у активних стадій проходять більш інтенсивно, ніж у лялечок, відповідно, личинки та імаго більш вразливі до фумігantu.

Таким чином, встановлено високу ефективність досліджуваного фумігantu за коротких експозицій (в межах від 2 до 4 годин) проти довгоноси́ка ко́мірного, зерноїда квасолевого, борошноїда суринамського та вогнівки млинової на постембріональних стадіях розвитку. Залежно від температурного режиму та стадії розвитку комах, 100 % загибель шкідників отримували за ДКЧ до 103,23 годинограмів.

Вищенаведені параметри фумігації є економічно обґрунтованими, оскільки для повної загибелі шкідників запасів на стадії яйця необхідно застосовувати високі показники ДКЧ від 400 до 2985 годинограмів [12, 14].

На нашу думку, є актуальними подальші дослідження у напрямку встановлення оптимальним періодів для повторних фумігацій в залежності від видової приналежності шкідника та температурного режиму.

Висновки

1. За результатами лабораторних досліджень встановлені летальні норми ДКЧ фтористим сульфуром проти шкідників запасів на постембріональних стадіях розвитку. Фумігація фтористим сульфуром за ДКЧ в межах від 9,57 до 103,23 годинограмів та при температурі в межах 17-32 °C, забезпечує 100 % загибель довгоноси́ка ко́мірного, зерноїда квасолевого, борошноїда суринамського та вогнівки млинової.

2. Спостерігали чітку залежність токсичної дії фумігantu на комах від температури. При зниженні температури для отримання 100 % загибелі шкідників була необхідність у підвищенні токсичного навантаження, тобто у збільшенні показника ДКЧ, і навпаки, підвищення температури зменшувало стійкість комах до фумігantu. Відзначали прямий кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції в межах від 0,94 до 0,99) між загибеллю комах на різних постембріональних стадіях (в %) та температурою за однакових значень ДКЧ.

3. Дещо більшу різницю чутливості відмічали між стадіями одного виду (1,5-3,4 рази залежно від виду шкідника), ніж у порівнянні з міжвидовою чутливістю комах (1,1-2,9 рази залежно від виду шкідника), які знаходились на однакових стадіях розвитку. Виключенням виявились лише личинки борошноїда суринамського, які 5,1 разів виявились менш стійкими ніж личинки зерноїда квасолевого.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* in Australia: A national analysis of trends and frequencies over time and geographical spread / Holloway J. C.,

- Falk M. G., Emery R. N., Collins P. J. Nayak M. K. *Journal of Stored Products Research*. October 2016. Vol. 69. P.129-137. doi.org/10.1016/j.jspr.2016.07.004
2. Radek Aulicky, Vaclav Stejskal, Barbora Frydova, Christos Athanassiou. Evaluation of phosphine resistance in populations of *Sitophilus oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis* and *Rhyzopertha dominica* in the Czech Republic. *Insects*. 2022. 13(12), 1162; https://doi.org/10.3390/insects13121162
3. Aulicky, R., Stejskal, V. and Frydova, B. Field validation of phosphine efficacy on the first recorded resistant strains of *Sitophilus granarius* and *Tribolium castaneum* from the Czech Republic. *J. Stored Prod. Res.* 2019. 81: 107-113. doi.org/10.1016/j.jspr.2019.02.003
4. Rajendran Somiahnadar. Insect Pest Management in Stored Products. *Outlooks on Pest Management*. 2020. 31(1). P. 24-35. doi: 10.1564/v31_feb_05.
5. Кличковський Ю., Нямцу Є. Контроль чисельності картопляної молі за використання меброкарбонів сумішей. *Вісник аграрної науки*. 2020. 98(1), P. 32-38. doi: 10.31073/agrovisnyk202001-05/
6. Cho, S.W., Kim, H.K., Kim, B.S., Yang, J.O., & Kim G.H. Combinatory effect of ethyl formate and phosphine fumigation on *Pseudococcus longispinus* and *P. orchidicola* (Hemiptera: Pseudococcidae) mortality and phytotoxicity to 13 foliage nursery plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2020. 23(1), 152-158. doi: 10.1016/j.aspen.2019.11.005.
7. Kwon, T.-H., Kim, D.-B., Lee, B.-H., Cha, D.H., & Park, M.-G. Comparison of methyl bromide and ethyl formate for fumigation of snail and fly pests of imported orchids. *Insects*. 2023. 14(1). P. 66. doi: 10.3390/insects14010066.
8. Jagadeesan, R., Singarayan, V.T., & Nayak M.K. A co-fumigation strategy utilizing reduced rates of phosphine (PH₃) and sulfuryl fluoride (SF₆) to control strongly resistant rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae). *Pest Management Science*. 2021. 77(9). P. 4009-4015. doi: 10.1002/ps.6424
9. Romanko, V., & Dudynska, A. Synergism of a mixture of phosphine and carbon dioxide in fumigation against bean weevils. *Scientific Horizons*. 2023. 26(5), 89-98. https://doi.org/10.48077/scihor5.2023.89
10. Романко, В. О. Фумігація сумішами фосфіну та вуглекислого газу проти зерноїдів на різних стадіях розвитку. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія та біологія*. 2023. 51 (1), С. 104-110. https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.12
11. Романко В. О., Дудинська А. Т. Синергізм суміші фосфіну та вуглекислого газу при фумігації проти хлібних шкідників запасів. *Аграрні інновації*. 2023. № 1. С. 113-119. https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.17.15
12. Nayak, M. K., Jagadeesan, R., Kaur, R., Daglish, G. J., Reid, R., Pavic, H., Smith, L., Collins, P. J. Use of sulfuryl fluoride in the management of strongly phosphine-resistant insect pest populations in bulk grain storages in Australia. *January Indian Journal of Entomology*. 2016. 78 (special):100. DOI: 10.5958/0974-8172.2016.00030.4
13. Rajeswaran Jagadeesan, Manoj Nayak. Phosphine resistance does not confer cross resistance to sulfuryl fluoride in four major stored grain insect pests. *Pest*

- Management Science*. 2016. 73 (7). doi.org/10.1002/ps.4468
14. Романко В.О., Журавчак Т.М., Бокшан О.Я. Овідна дія фтористого сульфуриту проти шкідників запасів. *Захист і карантин рослин*. Випуск 60. 2014. С. 261-267.
 15. Phosphine fumigation of dried fruits and nuts to control various stored product insects. *Bulletin OEPP/Bulletin*. 2012. 42 (3), 504–506 DOI: 10.1111/epp.2598
- REFERENCES:**
1. Holloway J. C., Falk M. G., Emery R. N., Collins P. J. Nayak M. K. (2016). Resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* in Australia: A national analysis of trends and frequencies over time and geographical spread. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 69. P.129-137. doi.org/10.1016/j.jspr.2016.07.004
 2. Radek Aulicky, Vaclav Stejskal, Barbora Frydova, Christos Athanassiou (2022). Evaluation of phosphine resistance in populations of *Sitophilus oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis* and *Rhyzopertha dominica* in the Czech Republic. *Insects*, 13(12), 1162; https://doi.org/10.3390/insects13121162
 3. Aulicky, R., Stejskal, V., Frydova, B. (2019). Field validation of phosphine efficacy on the first recorded resistant strains of *Sitophilus granarius* and *Tribolium castaneum* from the Czech Republic. *J. Stored Prod. Res.*, 81: 107-113. doi.org/10.1016/j.jspr.2019.02.003
 4. Rajendran, & Somiahnadar (2020). Insect Pest Management in Stored Products. *Outlooks on Pest Management*, 31(1). P. 24-35. doi: 10.1564/v31_feb_05.
 5. Klechkovskyi Yu. E., Niamtsu Ye. F. (2020). Kontrol chyselnosti kartoplanoi moli za vykorystannia mebrokarbonovykh sumishei [Control of the number of potato moth using mebrocarbon mixtures]. *Bulletin of Agricultural Science*. Vol. 98. № 1 С. 32- 38. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-05 [in Ukrainian]
 6. Cho, S.W., Kim, H.K., Kim, B.S., Yang, J.O., & Kim G.H. (2020). Combinatory effect of ethyl formate and phosphine fumigation on *Pseudococcus longispinus* and *P. orchidicola* (Hemiptera: Pseudococcidae) mortality and phytotoxicity to 13 foliage nursery plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(1), 152-158. doi: 10.1016/j.aspen.2019.11.005.
 7. Kwon, T.-H., Kim, D.-B., Lee, B.-H., Cha, D.H., & Park, M.-G. (2023). Comparison of methyl bromide and ethyl formate for fumigation of snail and fly pests of imported orchids. *Insects*, 14(1). P. 66. doi: 10.3390/insects14010066.
 8. Jagadeesan, R., Singarayan, V.T., & Nayak M.K. (2021). A co-fumigation strategy utilizing reduced rates of phosphine (PH₃) and sulfuryl fluoride (SF₂) to control strongly resistant rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae). *Pest Management Science*, 77(9). P. 4009-4015. doi: 10.1002/ps.6424.
 9. Romanko, V., & Dudynska, A. (2023). Synergism of a mixture of phosphine and carbon dioxide in fumigation against bean weevils. *Scientific Horizons*, 26(5), 89-98. https://doi.org/10.48077/scihor5.2023.89
 10. Romanko, V. O. (2023). Fumihatsiia sumishamy fosfinu ta vuhlekysloho hazu proty zernoidiv na riznykh stadiakh rozvytku. [Fumigation with mixtures of phosphine and carbon dioxide against bean weevils at different stages of development]. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology*, 51 (1), С. 104-110. https://doi.org/10.32782/agro-bio.2023.1.12 [in Ukrainian]
 11. Romanko V. O., Dudynska A. T. (2023). Synerhizm sumishi fosfinu ta vuhlekysloho hazu pry fumihatsii proty khlibnykh shkidnykiv zapasiv [Synergism of a mixture of phosphine and carbon dioxide during fumigation against grain pests of stored grain]. *Agrarian Innovations*, № 1. С. 113-119. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.15 [in Ukrainian]
 12. Nayak, M. K., Jagadeesan, R., Kaur, R., Daglish, G. J., Reid, R., Pavic, H., Smith, L., Collins, P. J. (2016). Use of sulfuryl fluoride in the management of strongly phosphine-resistant insect pest populations in bulk grain storages in Australia. *January Indian Journal of Entomology*, 78(special):100. DOI: 10.5958/0974-8172.2016.00030.4
 13. Rajeswaran Jagadeesan, Manoj Nayak (2016). Phosphine resistance does not confer cross resistance to sulfuryl fluoride in four major stored grain insect pests. *Pest Management Science*. 73 (7). doi.org/10.1002/ps.4468
 14. Romanko, V.O., Zhuravchak, T.M. & Bokshan, O.Ya. (2014). Ovitsydnna diia ftorystoho sulfurylu proty shkidnykiv zapasiv [Ovicidal action of sulfuryl fluoride against stock pests]. *Protection and quarantine of plants*, 60, 261–267 URL: http://zkr.ipp.gov.ua/index.php/journal/issue/view/6/60-pdf [in Ukrainian].
 15. Phosphine fumigation of dried fruits and nuts to control various stored product insects (2012). *Bulletin OEPP/Bulletin*, 42 (3), 504–506 DOI: 10.1111/epp.2598
- Романко В.О., Дудинська А.Т. Контроль чисельності шкідників продовольства та запасів фтористим сульфуритом**
- Робота присвячена пошуку заміників бромистому метилу, який був обмежений у застосуванні на вимогу Монреальського протоколу. В статті наведені результати параметрів фумігації фтористим сульфуритом проти комах-шкідників.
- Мета:** визначити ефективність фтористого сульфуриту проти основних комах – шкідників продовольства й запасів на постембріональних стадіях розвитку за різного температурного режиму.
- Методи.** Об'єкти досліджень. комахи-шкідники такі як *Sitophilus granarius* L. *Acanthoscelides obtectus* Say, *Oryzaephilus surinamensis* L., *Ephestia kuehniella* Zell. на постембріональних стадіях розвитку.
- Матеріал досліджень** – фтористий сульфурит.
- Методи:** аналітичний огляд по тематиці досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців, аналіз біологічних особливостей комах-шкідників; експериментальний – варіювання різних параметрів фумігації (концентрація, тривалість експозиції, показник ДКЧ, температура); математико-статистичний – за допомогою комп'ютерних математичних функцій, вбудованих у програму Microsoft Excel 2003.
- Результати.** Фтористий сульфурит виявився ефективним проти всіх досліджуваних нами шкідників. Повну загибель зерноїда квасолевого на постембріональних стадіях його розвитку отримували при різних температурах за ДКЧ від 34,87 до 103,23 годинogramів.
- 100 % загибель вогнівки млинової на постембріональних стадіях розвитку отримували за ДКЧ від 12,84 до 84,61 годинogramів залежно від температурного режиму.

Повну загибель комірного довгоносики на постембріональних стадіях розвитку отримували за ДКЧ від 16,41 до 70,26 годинogramів залежно від температурного режиму.

100 % ефективність фтористого сульфуриду проти борошноїда суринамського на постембріональних стадіях розвитку становила в межах від 9,57 до 56,06 годинogramів, залежно від температури.

Висновки. Постембріональні стадії досліджуваних комах-шкідників виявилися значно менш стійкими до фумігantu, порівняно стадії яйця. Залежності від температури та виду шкідника стійкість постембріональних стадій до фумігantu була в межах від 7,6 до 22,61 рази менша порівняльно з стадією яйця.

Отримані результати свідчать про необхідність проведення подальших досліджень, зокрема в напрямку встановлення оптимальним періодів для повторних фумігацій та їх ефективності в залежності від видової приналежності шкідника і температурного режиму.

Ключові слова: альтернатива бромистому метилу, постембріональні стадії розвитку, параметри фумігації.

Romanko V.O., Dudynska A.T. Control of food and stock pests with sulfuryl fluoride

The work is devoted to the search for substitutes for methyl bromide, which was limited in use by the requirements of the Montreal Protocol. The article presents the results of fumigation parameters with sulfuryl fluoride against insect pests.

Purpose: Determination of the effectiveness of sulfuryl fluoride against the main insect pests of food and storage at post-embryonic stages under different temperature conditions.

Methods. *Objects of research.* Insect pests *Sitophilus granarius* L., *Acanthoscelides obtectus* Say, *Oryzaephilus surinamensis* L., *Ephestia kuehniella* Zell. at post-embryonic stages of development.

The research material – sulfuryl fluoride.

Methods: analytical review of the research topics of domestic and foreign scientists, the current regulatory framework in the field of fumigation; analysis of biological

characteristics of insect pests; experimental – variation of different fumigation parameters (concentration, exposure duration, c (concentration) $\times$ t (time) products (CT-products), temperature; mathematical and statistical – with the help of computer mathematical functions built into the Microsoft Excel 2003 program.

The results. Sulfuryl fluoride was found to be effective against all pests we tested. 100 percent mortality of the *Acanthoscelides obtectus* at the postembryonic stages of development was obtained at different temperatures with CT-products from 34.87 to 103.23 g-hr.

100% effectiveness of the *Ephestia kuehniella* at postembryonic stages of development was obtained at CT-products of 12.84 to 84.61 g-hr., depending on the temperature.

100 percent mortality of the *Sitophilus granarius* at postembryonic stages of development was obtained at CT-products of 16.41 to 70.26 g-hr., depending on the temperature.

100% effectiveness of sulfuryl fluoride against the *Oryzaephilus surinamensis* at postembryonic stages of development ranged from 9.57 to 56.06 g-hr., depending on temperature.

Conclusions. Postembryonic stages of the studied insect pests were significantly less tolerant to fumigant than the egg stage. Depending on the temperature and pest species, the tolerant of postembryonic stages to fumigant ranged from 7.6 to 22.61 times lower than that of the egg stage.

The results obtained indicate the need for further research, in particular, in the direction of establishing optimal periods for repeated fumigations and their effectiveness depending on the species of the pest and the temperature.

Key words: alternative to methyl bromide, post-embryonic stages of development, fumigation parameters.

Дата першого надходження рукопису до видання: 03.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 27.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025