

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАХИСТУ РОСЛИН**

НЯМЦУ ЄВГЕН ФЕДОРОВИЧ



УДК 632.913.1: 632.934.2

**ТОКСИКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ
ВИКОРИСТАННЯ МЕБРОКАРБОНОВИХ СУМІШЕЙ
ПРОТИ КАРАНТИННИХ ШКІДНИКІВ СПОСОБОМ ФУМІГАЦІЇ**

16.00.10 – ентомологія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на Дослідній станції карантину винограду і плодових культур Інституту захисту рослин Національної академії аграрних наук України

Науковий керівник

доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник
Клечковський Юрій Едуардович,
Дослідна станція карантину винограду
і плодових культур Інституту захисту
рослин НААН, директор

Офіційні опоненти:

доктор сільськогосподарських наук, професор
Саблук Василь Трохимович,
Інститут біоенергетичних культур і цукрових
буряків НААН, завідувач відділу фітопатології
і ентомології;

кандидат сільськогосподарських наук
Середняк Денис Петрович,
ТОВ «Украгрохімтрейд», директор

Захист дисертації відбудеться «10» вересня 2020 року о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.376.01 в Інституті захисту рослин НААН за адресою: 03022, м. Київ – 22, вул. Васильківська, 33, корпус № 1, зала засідань.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту захисту рослин НААН за адресою: 03022, м. Київ – 22, вул. Васильківська, 33, корпус № 1, кімн. № 65.

Автореферат розісланий «29» липня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Т. П. Панченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відсутність в Україні газоподібних пестицидів, що могли би зупинити інвазію шкідливих комах з інших географічних територій, інтродукцію регульованих шкідників, а також обмежити поширення їх з карантинних зон у вітчизняній свіжій плодоовочевій і квітково-декоративній продукції, є актуальною проблемою для фітосанітарної галузі держави. Для карантинних заходів і знезараження плодоовочевої і квітково-декоративної продукції способом фумігації, в процесі її міжнародного торгового переміщення, на сьогодні дозволено до застосування лише декілька фумігантних пестицидів: фосфористий водень (фосфін) і бромистий метил (бромметил, метил бромід, бромметан, CH_3Br) у зрідженому стані під високим тиском. Враховуючи різницю в експозиціях знезараження (фосфін – від 24 до 120 годин, метил бромід – від 2 до 5 годин), перевага завжди віддається бромистому метилу.

З наукових джерел відомо, що, в звичайних умовах, при збільшенні вмісту вуглекислоти навколо комах до 5 % фаза її вдихання займає 80–90 % від часу всього вентиляційного циклу. Враховуючи ці біологічні особливості комах, нами була висунута гіпотеза, що за таких умов, невелика кількість газо- або пароподібної токсичної речовини є цілком достатньою для знищення будь-якого шкідника. Вимоги Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар, не поширюються на використання бромистого метилу в карантинних обробках і обробках рослинної продукції перед її транспортуванням (надалі КООПТ). Це визначило доцільність застосування сумішей двоокису вуглецю (діоксиду вуглецю, CO_2) з бромистим метилом для вирішення зазначеної проблеми.

Пошук нижнього порогу ефективної кількості метил броміду в сумішах з діоксидом вуглецю, який стане основою для розроблення режимів фумігації щодо їх застосування у карантинних обробках рослинної продукції способом фумігації проти західного квіткового трипсу (*Frankliniella occidentalis* Perg.), картопляної (*Phthorimaea operculella* Zell.) та південноамериканської томатної (*Tuta absoluta* Meyr.) молей, середземноморської плодової мухи (*Ceratitis capitata* Wied.) і тютюнової білокрилки (*Bemisia tabaci* Gen.), зумовило пріоритетність вибору напряму досліджень і теми цієї наукової праці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематичного плану Дослідної станції карантину винограду і плодових культур Інституту захисту рослин НААН України впродовж 2016-2018 рр. за завданням «Розробити методи контролю карантинних шкідливих організмів, обмежено поширених в умовах півдня України» (№ ДР 0116U003548).

Мета і завдання досліджень. Мета – експериментальне визначення мінімальних норм витрати бромистого метилу в меброкарбонових фумігантних сумішах, ефективних проти західного квіткового трипсу, картопляної та південноамериканської томатної молей, середземноморської плодової мухи і тютюнової білокрилки.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

1) виготовити фумігаційну камеру із штучним створенням кліматичних умов (температури, вологості, вентиляції та освітлення) для скорочення часу досліджень;

2) виявити меброкарбонові суміші з технічною ефективністю 100% проти досліджуваних шкідників за температур під час введення у фумігаційну камеру: 0, 25 і 50 °С для двоокису вуглецю та 50 °С для парів бромистого метилу;

3) визначити мінімальні норми витрати CH_3Br в сумішах з CO_2 , при введенні останнього у фумігаційний простір за температур 0, 25, і 50 °С та тиску 34,9, 64,3 і 76 бар відповідно;

4) розробити фумігаційні режими і технологічні регламенти щодо застосування меброкарбонових сумішей в обробках свіжої рослинної продукції способом фумігації проти західного квіткового трипсу, картопляної та південноамериканської томатної молі, середземноморської плодової мухи і тютюнової білокрилки;

5) оцінити економічну ефективність меброкарбонових сумішей в карантинних обробках свіжої рослинної продукції способом фумігації.

Предмет досліджень: удосконалення знезараження плодоовочевої і квітково-декоративної продукції меброкарбоновими сумішами від найбільш поширених регульованих шкідників способом фумігації.

Об'єкти досліджень: шкідники – західний квітковий трипс, картопляна міль, південноамериканська томатна міль, середземноморська плодова муха, тютюнова білокрилка; компоненти фумігантних сумішей – бромистий метил і двоокис вуглецю.

Методи дослідження: лабораторно-польовий – визначення видового складу шкідників, встановлення летальних норм та експозицій за певних температурних параметрів, визначення концентрацій фумігантів; математично-статистичний – оцінка та встановлення кореляційних зв'язків результатів досліджень; розрахунковий – економічна ефективність застосування фумігантних сумішей для знезараження способом фумігації.

Наукова новизна одержаних результатів. За результатами досліджень, вперше:

– вивчено вплив меброкарбонових сумішей на західного квіткового трипса, картопляну та південноамериканську томатну міль, середземноморську плодову муху і тютюнову білокрилку.

– обґрунтовано залежність токсичної дії меброкарбонових сумішей від стану двоокису вуглецю під час його введення у фумігаційний простір – чутливість досліджених шкідників до сумішей з надкритичним CO_2 була вище в 2 рази за сумішей з насиченими парами вуглекислоти;

– досягнуто нижні токсикологічні параметри застосування метил броміду в сумішах з двоокисом вуглецю, які забезпечують зменшення дозувань CH_3Br до 75% за норм витрат при використанні виключно бромистого метилу;

– визначено ефективні мінімальні концентрації бромметилу в меброкарбонових сумішах;

– розраховано летальні норми для меброкарбонових сумішей, які забезпечують ефективність проти вищезазначених шкідників;

- виявлено, що при застосуванні меброкарбонових сумішей проти досліджених видів, летальні норми годинограмів зменшуються, в залежності від стану двоокису вуглецю під час введення у фумігаційний простір, а саме: в 1,5–2 рази – для пароподібного та в 4 рази – для надкритичного стану;
- доведено, що при зменшенні норм витрат метил броміду в меброкарбонових сумішах до 4 разів, в порівнянні з його класичним використанням, технічна ефективність зберігається на тому же рівні;
- встановлено ефективні концентрації метил броміду в меброкарбонових сумішах з пароподібною вуглекислою за температур 0°C і тиску 34,9 бар та 25°C і тиску 64,3 бар в момент введення у фумігаційний простір, які на 40 і 50 % відповідно менше за норм витрати бромистого метилу в чистій формі;
- досліджено фітотоксичну дію меброкарбонових сумішей з нормами витрати бромистого метилу меншими в 1,5–4 рази (в залежності від стану двоокису вуглецю під час введення у фумігаційний простір) в порівнянні із застосуванням виключно бромметилу на свіжих овочах і фруктах, зрізах квітів, розсаді овочевих, квітково-декоративних і горщиківих культур;
- оцінено економічну ефективність застосування меброкарбонових сумішей (рівень рентабельності склав 1263,6–1566,7%) способом фумігації, в порівнянні з фінансовими витратами, пов'язаними з поверненням імпортової продукції країні-експортеру у випадку виявлення карантинного шкідника.

Практичне значення одержаних результатів. За умови державної реєстрації бромистого метилу в Україні для використання його в суміші меброкарбонових сполук, фумігація свіжої плодоовочевої і квітково-декоративної продукції є більш актуальною та безпечною, що має усунути інтродукцію карантинних шкідників та їх поширення.

Фумігаційні режими і технологічні регламенти, які розроблено для карантинних заходів рослинної продукції меброкарбоновими сумішами способом фумігації проти карантинних шкідників, сприяють зменшенню застосування бромистого метилу у фітосанітарних заходах, що має значно знизити руйнівний вплив метил броміду на озоновий шар.

Проведення карантинних заходів способом фумігації імпортової рослинної продукції за місцем її розмитнення, дасть змогу торговельним компаніям уникнути непередбачених економічних витрат, які виникають при її поверненні експортеру з причини виявлення карантинних шкідників.

Використання меброкарбонових сумішей усуне фітотоксичний вплив бромистого метилу на деякі види рослинної продукції під час здійснення карантинних обробок.

Завдяки створенню фумігаційної камери, з'явилась можливість здійснювати дослідження в межах короткого терміну. При цьому, час їх проведення в лабораторних умовах скорочується у 5–16 разів, в залежності від фізико-хімічних властивостей газоподібних пестицидів, за рахунок штучного створення таких фізичних параметрів, як температура, вологість і рух газоповітряного середовища у фумігаційному просторі.

Особистий внесок здобувача. Автором проведено інформаційний пошук з аналізом літературних джерел; визначено мету та завдання досліджень; сформульовано основні положення дисертаційної роботи; здійснено дослідження, апробацію і виробничу перевірку результатів; здійснено узагальнення та інтерпретацію одержаних результатів; підготовлено до друку публікації у фахових виданнях.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції «Состояние и перспективы защиты растений» (Минск – Прилуки, 17–19 мая 2016 года), I (IV) міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми сучасної ентомології» (Ужгород, 15–17 вересня 2016 року), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ентомологічні читання пам'яті видатних вчених-ентомологів В. П. Васильєва і М. П. Дядечка» (Київ, 19–21 грудня 2017 року), Міжнародній науково-практичній конференції «Фундаментальні і прикладні проблеми сучасної екології та захисту рослин» (Харків, 11–12 жовтня 2018 року).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць, з яких 9 статей у наукових фахових виданнях (в т. ч. 2 – у виданнях інших держав), доповіді на 4 Міжнародних науково-практичних конференціях і 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 209 сторінках комп'ютерного набору, з яких основний текст викладено на 141. Складається із вступу, 6 розділів, висновків, рекомендацій, списку використаних джерел і додатків. Містить 65 таблиць та 31 рисунок. Список використаних джерел налічує 278 одиниць, у тому числі 136 – латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

У розділі проаналізовано стан та результати досліджень вітчизняних (Петров А. Д., 1931, Предтеченська Л. С., 1974, Кононков П. Ф., 1979, Мордкович Я. Б. і Вашакмадзе Г. Г., 1983, Биковський А. В., 2008) і зарубіжних вчених (Монро Х. А., 1960, Кальдерон М. і Кармі, 1973, Вільямс П., 1985) в напрямі вивчення ефекту синергії бромистого метилу і двоокису вуглецю проти шкідників рослинної продукції. Вивчено можливість застосування бромистого метилу в карантинних обробках і обробках рослинних вантажів перед транспортуванням (п. 6 ст. 2Н Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар).

Зроблено акцент на фізико-хімічні властивості метил броміду і двоокису вуглецю та їх функції в меброкарбонових сумішах проти шкідливих комах способом фумігації. Розглянуто біологічні особливості вказаних вище комах. Звернуто увагу на особливості роботи системи дихання комах в нормальних умовах їх розвитку при збільшенні вмісту вуглекислоти в атмосфері навколо них до 5 %. На основі проведеного аналізу наукової інформації обґрунтовано актуальність і необхідність проведення досліджень.

МІСЦЕ, ОБ'ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Місце проведення. Дослідження здійснені на базі Дослідної станції карантину винограду і плодових культур Інституту захисту рослин НААН України протягом 2016-2018 років.

Об'єкти. Карантинні шкідники – західний квітковий трипс, картопляна міль, південноамериканська томатна міль, середземноморська плодова муха, тютюнова білокрилка та компоненти фумігантних сумішей – бромистий метил і двоокис вуглецю

Матеріали та обладнання. Досліди проводились у фумігаційній камері, оснащеної програмним управлінням температурою, вологістю, вентиляцією і освітленням фумігаційного простору. Крім фумігаційної камери, також використовувались: холодильник, металевий балон з метил бромідом, два вуглекислотних балона внутрішніми об'ємами 10 і 0,4 л (ГОСТ 949-73), теплообмінник, газопроводи і випускний клапан високого тиску, трубки поліетиленові для відбору газоповітряних зразків (проб), манометр МП-50 16,0 МПа CO₂, термометр ТБП 100/100/Р (0-120°C), вологомір НТС-1, оцинковане відро на 10 л, електричний пристрій для нагрівання води, ваги електронні лабораторні з дискретністю 0,1 г. Для обробок застосовували метил бромистий технічний (д. р. 99,5%) та діоксид вуглецю (д. р. 99,9%) у пароподібному та надкритичному станах способом фумігації. Вимірювання концентрацій бромистого метилу у газоповітряному середовищі всередині камери проводили газоаналізатором ШИ-11, а по за межами камери, тобто у робочій зоні, газоаналізатором GasAlertMicro 5 PID M5 FID. Оскільки бромистий метил є фумігантом нервово-паралітичної дії, то дослідження проводились із застосуванням засобів індивідуального захисту.

Методики досліджень. Дослідження здійснювалися за температур двоокису вуглецю 0 °C, 25 °C і 50 °C, уведеного у фумігаційний простір (внутрішній об'єм камери). Як еталон використовувався метил бромистий технічний (д. р. 99,5%). Контролем служила рослинна продукція та біотести до здійснення фумігації. Дослідження здійснювалися за п'ятьма температурними режимами (надалі ТР) по кожному шкіднику, а саме: західному квітковому трипсу: 4–6, 7–9, 10–15, 16–20 і 21–26 °C; картопляній молі: 4–9, 10–15, 16–20, 21–26 і 27–32 °C; південноамериканській томатній молі: 4–9, 10–15, 16–20, 21–26 і 27–32 °C; середземноморській плодовій мусі: 7–9, 10–12, 13–15, 16–18 і 19–21 °C; тютюновій білокрилці: 4–9, 10–15, 16–20, 21–26 і 27–32 °C. Норми витрати бромистого метилу та час експозиції щодо кожного шкідника за еталоном були взяті з фумігаційних режимів, добре вивчених і неодноразово випробуваних у виробничих умовах і наведених у методичних посібниках з фумігації.

Норми витрати двоокису вуглецю були пов'язані з науковим твердженням, що при збільшенні вмісту вуглекислоти в атмосфері при звичайних умовах розвитку комахи до 5 %, фаза вдихання комахи займає 80–90 % часу від всього вентиляційного циклу. Відтак, норми витрати двоокису вуглецю змінювалися з 4 до 8 % за об'ємом фумігаційного простору, в зворотній залежності від температури.

Отже, для західного квіткового трипсу 5 % CO₂ додавалися при температурах від 16 до 20 °С. При зміні температурного режиму на 5 °С в бік збільшення, кількість парів двоокису вуглецю зменшувалася на 1 %, в бік зменшення – додавалася на 1 %. Тобто, при 21–26 °С кількість CO₂ складала 4 %, при 10–15 °С – 6 %, при 7–9 °С – 7 %, а при 4–6 °С – 8 %. При цих нормах витрати двоокису вуглецю, *Frankliniella occidentalis* Perg. вдихає максимальну кількість газоповітряного середовища навколо неї. Для середземноморської плодової мухи (*Ceratitis capitata* Wied.) 5 % CO₂ додавалися при температурах від 16 до 18 °С, тобто при ТР 13–15 °С норма витрати двоокису вуглецю вже складала 6 %, 10–12 °С – 7 % і 7–9 °С – 8 %. Для інших карантинних шкідників, тобто картопляної (*Phthorimaea operculella* Zell.) і південноамериканської томатної (*Tuta absoluta* Meyr.) молей та тютюнової білокрилки (*Bemisia tabaci* Gen.) показник у 5 % CO₂ застосовувався при ТР 21–26 °С. Відповідно, при 27–32 °С він складав 4 %, 16–20 °С – 6 %, 10–15 °С – 7 % і 4–9 °С – 8 %.

Під час досліджень, норми витрати метил броміду в меброкарбонних сумішах зменшували на 40, 50, 60, 70, 75 і 80 % від дозування еталону для знаходження мінімальних ефективних дозувань. Мінімальні норми витрати в сумішах встановлювалися за вимогами карантинного знезараження, тобто за досягненням 100 % рівня технічної ефективності (надалі ТЕ). Суміші з технічною ефективністю нижче за 100 % вибраковувалися за непотрібністю.

Кожна меброкарбонна суміш складалася із назви, об'єднуючої обидва компоненти суміші, а саме «Мebroкарбон» («мебр» від метил броміду, «о» від оксиду і «карбон» від назви вуглецю), аббревіатури літерів слів латинської назви шкідника та індексу з трьох цифр – номеру температурного режиму, номеру суміші та номеру варіанту. Наприклад, фумігантна суміш, яка використовувалася проти *Frankliniella occidentalis* Perg. за ТР 4–6 °С, з нормами витрат CH₃Br 38 г/м³ і CO₂ 160 г/м³ і температури двоокису вуглецю 0 °С, під час введення у фумігаційну камеру, мала назву «Мebroкарбон FOP 1.1.1».

Для біотестів застосовували шкідників, аналогічних з обраними карантинними в межах роду, а саме: тютюнового трипса (*Thrips tabaci* Lind.), картопляну міль (*Phthorimaea operculella* Zell.), вишневу муху (*Rhagoletis cerasi* Lin.) і капустяну білокрилку (*Aleyrodes proletella* Lin.). Тим самим, технічну ефективність меброкарбонних сумішей та інші параметри режимів фумігації проти об'єктів дослідження встановлювали за обраними біологічними індикаторами.

Облік загибелі шкідників у тестах здійснювався через 24 години після закінчення дегазації, а для достеменного визначення ефективності фумігації – через 14 діб.

Встановлення технічної ефективності сумішей проводилось, починаючи зі 40 % метил броміду в них і поступово знижуючи до 80% від дозування еталону. Дослідження здійснювалися за такими параметрами: фумігант, температурний режим, норми витрати метил броміду та двоокису вуглецю, середні концентрації бромистого метилу, час експозиції, летальна норма годинограмів за бромметаном і технічна ефективність.

Для визначення мінімальних летальних норм годинограмів по кожному шкіднику, встановлювали, за допомогою газоаналізатора ШИ-11, середні концентрації (надалі СК) метил броміду в сумішах протягом часу експозиції (надалі ЧЕ). Летальні норми годинограмів шкідників за сумішами, які забезпечили 100 % технічну ефективність, розраховували за формулою Габера, а саме $T = c \times t$, де T – ступінь токсичності бромистого метилу у фумігантній суміші, c – середня концентрація токсичного компоненту суміші, а t – час експозиції. У практичній фумігації під летальними нормами годинограмів мають на увазі ДСКЧ, тобто добуток середньої концентрації на час експозиції. Годинограма – це величина, яка характеризує кількість фуміганта, що необхідна для 100% загибелі даного виду шкідника за певної температури впродовж 24 годин після закінчення експозиції.

Фітотоксичність меброкарбонових сумішей, а також їх технічну і економічну ефективність встановлювали відповідно загальноприйнятих методик (Трибель С. О. та інші, 2001 р.).

Статистичну обробку одержаних результатів здійснювали за методикою Б. О. Доспехова (1985) з використанням комп'ютерної програми Microsoft Office Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

ТЕХНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕБРОКАРБОНОВИХ СУМІШЕЙ ПРОТИ КАРАНТИННИХ ШКІДНИКІВ

Одним із завдань досліджень було виявити меброкарбонові суміші проти досліджуваних шкідників з технічною ефективністю 100%. З них обрано суміші з мінімальними нормами витрати бромистого метилу за п'ятьма температурними режимами по кожному шкіднику. За виміряними концентраціями метил броміду впродовж експозиційного часу, розраховано його середню концентрацію по кожній суміші за всіма ТР.

Результати досліджень проти західного квіткового трипсу наведені в таблиці 1. З дев'яноста досліджених меброкарбонових сумішей найефективнішими виявилися лише п'ятнадцять.

Таблиця 1

Мінімальні норми витрати метил броміду в меброкарбонових сумішах, ефективних проти *Frankliniella occidentalis* Perg. в листовому салаті і квіткових зрізах (2017 рік)

Назва фуміганта	ТР, °C	Норми витрати, г/м ³		СК CH ₃ Br, г/м ³	ЧЕ, годин	ТЕ, %
		CH ₃ Br	CO ₂			
1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	4–6	64	0	38,0	4,0	100,00
Мebroкарбон FOP 1.1.1	4–6	38	160	23,0	4,0	100,00
Мebroкарбон FOP 1.2.2	4–6	32	160	19,0	4,0	100,00
Мebroкарбон FOP 1.5.3	4–6	16	160	10,0	4,0	100,00

1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	7–9	56	0	33,0	4,0	100,00
Меброкарбон FOP 2.1.1	7–9	34	140	21,0	4,0	100,00
Меброкарбон FOP 2.2.2	7–9	28	140	17,0	4,0	100,00
Меброкарбон FOP 2.5.3	7–9	14	140	9,0	4,0	100,00
Бромистий метил	10–15	48	0	30,0	3,0	100,00
Меброкарбон FOP 3.1.1	10–15	29	120	17,0	3,0	100,00
Меброкарбон FOP 3.2.2	10–15	24	120	15,0	3,0	100,00
Меброкарбон FOP 3.5.3	10–15	12	120	8,0	3,0	100,00
Бромистий метил	16–20	40	0	25,0	2,5	100,00
Меброкарбон FOP 4.1.1	16–20	24	100	16,0	2,5	100,00
Меброкарбон FOP 4.2.2	16–20	20	100	14,0	2,5	100,00
Меброкарбон FOP 4.5.3	16–20	10	100	7,0	2,5	100,00
Бромистий метил	21–26	32	0	25,0	2,0	100,00
Меброкарбон FOP 5.2.1	21–26	16	80	12,5	2,0	100,00
Меброкарбон FOP 5.2.2	21–26	16	80	12,5	2,0	100,00
Меброкарбон FOP 5.5.3	21–26	8	80	6,0	2,0	100,00

Вони засвідчують про зниження норм витрати бромистого метилу в них, в порівнянні з еталоном, в 1,6 рази для перших чотирьох ТР і в 2 рази для п'ятого ТР за температури уведеного CO₂ 0 °С, в 2 рази для п'яти ТР – за 25 °С і в 4 рази для п'яти ТР – за 50 °С.

Середні концентрації CH₃Br в сумішах також знизились під час експозиції, відносно середніх концентрацій еталону в межах 1,6–4 разів, відповідно до температурних режимів фумігаційного простору. Отже, настільки зменшились і летальні норми годинаграмів для західного квіткового трипсу.

Фітотоксичного прояву сумішей на свіжий листовий салат і зрізи квітів, під час проведення дослідів, не спостерігалось.

За результатами обробки свіжих бульб картоплі меброкарбоновими сумішами способом фумігації проти картопляної молі, з дев'яноста досліджених було обрано п'ятнадцять з найменшими ефективними нормами витрати бромистого метилу. Відповідно даних таблиці 2, норми витрати бромистого метилу в меброкарбонових сумішах проти картопляної молі, можна знизити в 1,6 рази для перших трьох ТР і в 2 рази для четвертого та п'ятого ТР за температури уведеного CO₂ 0 °С, в 2 рази для п'яти ТР – за 25 °С і в 4 рази для п'яти ТР – за 50 °С.

Таблиця 2

**Мінімальні норми витрати
метил броміду в меброкарбонових сумішах, ефективних
проти *Phthorimaea operculella* Zell. в свіжих бульбах картоплі (2017–2018 роки)**

Назва фуміганта	ТР, °С	Норми витрати, г/м ³		СК CH ₃ Br, г/м ³	ЧЕ, годин	ТЕ, %
		CH ₃ Br	CO ₂			
1	2	3	4	5	6	7

1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	4–9	56	0	30,0	5,0	100,00
Меброкарбон POZ 1.1.1	4–9	34	160	20,0	5,0	100,00
Меброкарбон POZ 1.2.2	4–9	28	160	16,0	5,0	100,00
Меброкарбон POZ 1.5.3	4–9	14	160	11,0	5,0	100,00
Бромистий метил	10–15	52	0	29,0	4,5	100,00
Меброкарбон POZ 2.1.1	10–15	31	140	18,0	4,5	100,00
Меброкарбон POZ 2.2.2	10–15	26	140	15,0	4,5	100,00
Меброкарбон POZ 2.5.3	10–15	13	140	10,0	4,5	100,00
Бромистий метил	16–20	48	0	27,5	4,0	100,00
Меброкарбон POZ 3.1.1	16–20	29	120	19,0	4,0	100,00
Меброкарбон POZ 3.2.2	16–20	24	120	14,0	4,0	100,00
Меброкарбон POZ 3.5.3	16–20	12	120	8,0	4,0	100,00
Бромистий метил	21–26	44	0	25,0	4,0	100,00
Меброкарбон POZ 4.2.1	21–26	22	100	14,0	4,0	100,00
Меброкарбон POZ 4.2.2	21–26	22	100	14,0	4,0	100,00
Меброкарбон POZ 4.5.3	21–26	11	100	8,0	4,0	100,00
Бромистий метил	27–32	40	0	25,0	3,5	100,00
Меброкарбон POZ 5.2.1	27–32	20	80	13,0	3,5	100,00
Меброкарбон POZ 5.2.2	27–32	20	80	13,0	3,5	100,00
Меброкарбон POZ 5.5.3	27–32	10	80	7,0	3,5	100,00

Зниження середніх концентрацій метил броміду в сумішах за час експозиції відбулось, відносно СК еталону проти картопляної молі, майже в 1,4–3,6 рази, відповідно до температурних режимів. Настільки ж зменшилась летальна норма годинограмів для цього шкідника.

Фітотоксичність меброкарбонових сумішей на свіжих бульбах картоплі не виявлена.

Результати фумігації свіжих томатів, баклажанів і солодких перців проти південноамериканської томатної молі, також призвели до визначення п'ятнадцяти ефективних меброкарбонових сумішей з найменшими нормами витрати метил броміду (табл. 3).

Таблиця 3

**Мінімальні норми витрати
метил броміду в меброкарбонових сумішах, ефективних проти
Tuta absoluta Meyr. в свіжих помідорах, баклажанах і солодких перцях (2016 рік)**

Назва фуміганта	ТР, °С	Норми витрати, г/м ³		СК CH ₃ Br, г/м ³	ЧЕ, годин	ТЕ, %
		CH ₃ Br	CO ₂			
1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	4–9	56	0	30,0	5,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 1.1.1	4–9	34	160	19,0	5,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 1.2.2	4–9	28	160	18,0	5,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 1.5.3	4–9	14	160	11,0	5,0	100,00

1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	10–15	48	0	29,0	4,5	100,00
Меброкарбон ТАМ 2.1.1	10–15	29	140	18,0	4,5	100,00
Меброкарбон ТАМ 2.2.2	10–15	24	140	16,0	4,5	100,00
Меброкарбон ТАМ 2.5.3	10–15	12	140	9,0	4,5	100,00
Бромистий метил	16–20	40	0	28,0	4,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 3.1.1	16–20	24	120	17,0	4,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 3.2.2	16–20	20	120	15,0	4,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 3.5.3	16–20	10	120	7,0	4,0	100,00
Бромистий метил	21–26	32	0	25,0	4,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 4.2.1	21–26	16	100	12,0	4,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 4.2.2	21–26	16	100	12,0	4,0	100,00
Меброкарбон ТАМ 4.5.3	21–26	8	100	6,5	4,0	100,00
Бромистий метил	27–32	24	0	18,0	3,5	100,00
Меброкарбон ТАМ 5.2.1	27–32	12	80	9,0	3,5	100,00
Меброкарбон ТАМ 5.2.2	27–32	12	80	9,0	3,5	100,00
Меброкарбон ТАМ 5.5.3	27–32	6	80	4,5	3,5	100,00

Відповідно даних таблиці 3, спостерігається зниження норм витрати метил броміду в сумішах в 1,6 рази для перших трьох ТР і в 2 рази для четвертого та п'ятого ТР за температури уведеного CO₂ 0 °С, в 2 рази для п'яти ТР – за 25 °С і в 4 рази для п'яти ТР – за 50 °С.

Середні концентрації бромистого метилу в меброкарбонових сумішах, знизилась, в порівнянні з СК еталону проти південноамериканської томатної молі, в 1,6–4 рази. В стільки разів зменшилась і летальна норма годинограмів в сумішах для *Tuta absoluta* Меуг.

Під час досліджень не виявлено токсичного прояву меброкарбонових сумішей на свіжі томати, баклажани і солодкі перці.

Нижні пороги норм витрати метил броміду встановлено в п'ятнадцяти меброкарбонових сумішах проти середземноморської плодової мухи в плодах цитрусових.

Дані, що наведені в таблиці 4, вказують що зменшення норм витрати бромистого метилу в сумішах можливе, відносно еталону, на 40 % для перших трьох ТР і на 50 % для четвертого та п'ятого ТР за температури уведеного CO₂ 0 °С, на 50 % для п'яти ТР – за 25 °С і на 75 % для п'яти ТР – за 50 °С.

Таблиця 4

**Мінімальні норми витрати
метил броміду в меброкарбонових сумішах, ефективних проти
Ceratitis capitata Wied. в апельсинах і мандаринах (2016–2017 роки)**

Назва фуміганта	ТР, °С	Норми витрати, г/м ³		СК CH ₃ Br, г/м ³	ЧЕ, годин	ТЕ, %
		CH ₃ Br	CO ₂			
1	2	3	4	5	6	7

1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	7–9	70	0	40	5,5	100,00
Меброкарбон CCW 1.1.1	7–9	42	160	25	5,5	100,00
Меброкарбон CCW 1.2.2	7–9	35	160	22	5,5	100,00
Меброкарбон CCW 1.5.3	7–9	17	160	13	5,5	100,00
Бромистий метил	10–12	60	0	38	4,0	100,00
Меброкарбон CCW 2.1.1	10–12	36	140	23	4,0	100,00
Меброкарбон CCW 2.2.2	10–12	30	140	21	4,0	100,00
Меброкарбон CCW 2.5.3	10–12	15	140	12	4,0	100,00
Бромистий метил	13–15	50	0	30	4,0	100,00
Меброкарбон CCW 3.1.1	13–15	30	120	19	4,0	100,00
Меброкарбон CCW 3.2.2	13–15	25	120	17	4,0	100,00
Меброкарбон CCW 3.5.3	13–15	12	120	9	4,0	100,00
Бромистий метил	16–18	50	0	30	3,0	100,00
Меброкарбон CCW 4.2.1	16–18	25	100	16	3,0	100,00
Меброкарбон CCW 4.2.2	16–18	25	100	16	3,0	100,00
Меброкарбон CCW 4.5.3	16–18	12	100	9	3,0	100,00
Бромистий метил	19–21	45	0	28	3,5	100,00
Меброкарбон CCW 5.2.1	19–21	22	80	14	3,5	100,00
Меброкарбон CCW 5.2.2	19–21	22	80	14	3,5	100,00
Меброкарбон CCW 5.5.3	19–21	11	80	8	3,5	100,00

Зниження середніх концентрацій метил броміду в досліджених сумішах відбулося, відносно СК еталону, в 1,5–3,5 рази. Отже, настільки знизилась і летальна норма годинограмів для *Ceratitis capitata* Wied.

Фітотоксичних пошкоджень плодів апельсинів і мандаринів в процесі досліджень, з боку меброкарбонових сумішей, не спостерігалось.

За результатами досліджень визначено п'ятнадцять меброкарбонових сумішей з мінімальними нормами витрати бромметану при обробки овочевої та квітково-декоративної продукції способом фумігації проти тютюнової білокрилки (табл. 5).

Таблиця 5

**Мінімальні норми витрати
метил броміду в меброкарбонових сумішах, ефективних проти
Bemisia tabaci Gen. в овочевій і квітково-декоративній продукції (2018 рік)**

Назва фуміганта	ТР, °С	Норми витрати, г/м ³		СК CH ₃ Br, г/м ³	ЧЕ, годин	ТЕ, %
		CH ₃ Br	CO ₂			
1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	4–9	64	0	36	5,5	100,00
Меброкарбон BTG 1.1.1	4–9	38	160	22	5,5	100,00
Меброкарбон BTG 1.2.2	4–9	32	160	20	5,5	100,00
Меброкарбон BTG 1.5.3	4–9	16	160	12	5,5	100,00

1	2	3	4	5	6	7
Бромистий метил	10–15	56	0	32	5,0	100,00
Меброкарбон BTG 2.1.1	10–15	34	140	19	5,0	100,00
Меброкарбон BTG 2.2.2	10–15	28	140	16	5,0	100,00
Меброкарбон BTG 2.5.3	10–15	14	140	10	5,0	100,00
Бромистий метил	16–20	48	0	28	4,5	100,00
Меброкарбон BTG 3.1.1	16–20	29	120	17	4,5	100,00
Меброкарбон BTG 3.2.2	16–20	24	120	15	4,5	100,00
Меброкарбон BTG 3.5.3	16–20	12	120	9	4,5	100,00
Бромистий метил	21–26	40	0	24	4,0	100,00
Меброкарбон BTG 4.2.1	21–26	20	100	13	4,0	100,00
Меброкарбон BTG 4.2.2	21–26	20	100	13	4,0	100,00
Меброкарбон BTG 4.5.3	21–26	10	100	8	4,0	100,00
Бромистий метил	27–32	32	0	20	3,5	100,00
Меброкарбон BTG 5.2.1	27–32	16	80	11	3,5	100,00
Меброкарбон BTG 5.2.2	27–32	16	80	11	3,5	100,00
Меброкарбон BTG 5.5.3	27–32	8	80	6	3,5	100,00

Дані, які наведені в таблиці 5, вказують на те, що при введенні CO_2 у фумігаційний простір за температури 0°C , норми витрати CH_3Br знизились відносно еталону на 40 % для перших трьох ТР і на 50 % для четвертого та п'ятого ТР. За температури уведеного CO_2 25°C – на 50 % для п'яти ТР і за 50°C – на 75 % для п'яти ТР.

Крім того, спостерігається зменшення середніх концентрацій CH_3Br в сумішах відносно еталону в 1,6–3,3 рази, відповідно до ТР, що веде до зниження летальної норми годинogramів для бавовникової білокрилки у стільки ж разів.

Токсичних проявів меброкарбонів сумішей на свіжій овочевій і квітково-декоративній продукції не виявлено.

Аналіз результатів дослідів щодо потенціалу зниження норм витрати бромистого метилу в меброкарбонів сумішах, надає змістовне обґрунтування їх токсикологічних дій на досліджених карантинних шкідників і свіжу плодоовочеву та квітково-декоративну продукцію, в залежності від стану діоксиду вуглецю в момент введення в фумігаційний простір. Отже, пароподібний стан CO_2 (температура 0°C і тиск 34,9 бар та 25°C і тиск 64,3 бар) знижує витрати метил броміду в сумішах в 1,6 і 2, а надкритичний стан (50°C і тиск не нижче за 76 бар) – в 4 рази за дозувань при використанні виключно бромистого метилу.

Спостереження за проявом фітотоксичності меброкарбонів сумішей під час досліджень, встановили відсутність їх негативного впливу на досліджену продукцію.

ФУМІГАЦІЙНІ РЕЖИМИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕБРОКАРБОНОВИХ СУМІШЕЙ В КАРАНТИННИХ ОБРОБКАХ

Фумігаційний режим формується з температури і відносної вологості середовища, в якому розміщена продукція для знезараження, норми витрати

фуміганту, його середньої концентрації у фумігаційному просторі протягом експозиції та отриманих летальних норм годинограмів. В нашому випадку фумігантом є меброкарбонові суміші, які складаються з токсичного (метил бромід) і технологічного (двоокис вуглецю) компонентів. Під час визначення мінімальних норм бромистого метилу в меброкарбонівих сумішах, були проведені вимірювання концентрацій бромистого метилу для встановлення середніх концентрацій за кожним дослідженим шкідником. Летальна норма годинограмів визначалась, виходячи з часу експозиції та середньої концентрації CH_3Br , розрахованої за параметрами технічної ефективності у 100 %.

Режими фумігації були розроблені для всіх досліджених шкідників, але, як приклад наведені в таблиці 6 для тютюнової білокрилки.

Таблиця 6

**Режими фумігації розсади овочевої і квітково-декоративної продукції
меброкарбонівими сумішами проти тютюнової білокрилки (2018 рік)**

Назва фумігантної суміші	Індекси сумішей	ТР ФП, °C	ВВ ФП, %	Норми витрати, г/м ³		СК CH_3Br , г/м ³	ЧЕ, годин	ЛН, гхг/м ³
				CH_3Br	CO_2			
Мebroкарбон BTG	1.1.1	4–9	≥ 85	38	160	22	5,5	121,0
	1.2.2	4–9	≥ 85	32	160	20	5,5	110,0
	1.5.3	4–9	≥ 85	16	160	12	5,5	66,0
	2.1.1	10–15	≥ 80	34	140	19	5,0	95,0
	2.2.2	10–15	≥ 80	28	140	16	5,0	80,0
	2.5.3	10–15	≥ 80	14	140	10	5,0	50,0
	3.1.1	16–20	≥ 75	29	120	17	4,5	76,5
	3.2.2	16–20	≥ 75	24	120	15	4,5	67,5
	3.5.3	16–20	≥ 75	12	120	9	4,5	40,5
	4.1.1	21–26	≥ 70	20	100	13	4,0	52,0
	4.2.2	21–26	≥ 70	20	100	13	4,0	52,0
	4.5.3	21–26	≥ 70	10	100	8	4,0	32,0
	5.2.1	27–32	≥ 65	16	80	11	3,5	38,5
	5.2.2	27–32	≥ 65	16	80	11	3,5	38,5
	5.5.3	27–32	≥ 65	8	80	6	3,5	21,0

Примітка: ТР – температурний режим, ФП – фумігаційний простір, ВВ – відносна вологість, СК – середня концентрація, ЧЕ – час експозиції, ЛН – летальна норма годинограмів.

**ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ
МЕБРОКАРБОНОВИХ СУМІШЕЙ ПРОТИ КАРАНТИННИХ ШКІДНИКІВ**

Технологічні регламенти застосування меброкарбонівих сумішей – це сукупність вимог, що передбачаються для їх безпечного використання способом фумігації. При їх створенні були враховані вимоги безпеки Агентства з охорони

навколишнього середовища США щодо фумігації рослинної продукції бромистим метилом. Регламенти застосування меброкарбонових сумішей створені для всіх досліджених карантинних шкідників та наведені в таблиці 7. Обробка рослинної продукції меброкарбовими сумішами способом фумігації вважається безпечною для довкілля, якщо граничнодопустима концентрація (ГДК) парів бромистого метилу в робочій зоні не перевищує 1 мг/м³, а в захисній – не вище 0,2 мг/м³. Радіус захисної (буферної) зони не повинен бути менше за 3 м.

Обробки мають здійснюватись в герметичному фумігаційному просторі. Обов'язкове використання протигазів і спецодягу (спецвзуття, комбінезон, рукавички), які передбачені діючими вимогами стандартів безпеки праці. Під час експозиції та дегазації, в робочій та в буферній зонах повинні проводитись вимірювання газоаналізаторними пристроями на предмет відповідності повітря ГДК бромистого метилу.

Таблиця 7

**Регламенти застосування меброкарбонових сумішей
проти регульованих шкідників способом фумігації (2018 рік)**

Назва суміші	Стани компонентів перед введенням у ФП				Продукція	Забезпечення під час експозиції та дегазації			Час до споживання після початку дегазації, годин
	CH ₃ Br, 99,5 %		CO ₂ , 99,9 %			ГДК CH ₃ Br в ПРЗ, мг/м ³	ГДК CH ₃ Br в АП, мг/м ³	БЗ за CH ₃ Br, м	
	Т, °C	Р, бар	Т, °C	Р, бар					
Мebroкарбон FOP	50	4,9	0	34,9	Свіжі овочі, фрукти та ін.	1,0	0,2	3	24
	50	4,9	25	64,3		1,0	0,2	3	24
	50	4,9	50	76,0		1,0	0,2	3	24
Мebroкарбон POZ	50	4,9	0	34,9	Картопля, баклажани, томати та ін.	1,0	0,2	3	24
	50	4,9	25	64,3		1,0	0,2	3	24
	50	4,9	50	76,0		1,0	0,2	3	24
Мebroкарбон ТАМ	50	4,9	0	34,9	Картопля, баклажани, томати та ін.	1,0	0,2	3	24
	50	4,9	25	64,3		1,0	0,2	3	24
	50	4,9	50	76,0		1,0	0,2	3	24
Мebroкарбон CCW	50	4,9	0	34,9	Цитрусові, гранат, персик та ін.	1,0	0,2	3	24
	50	4,9	25	64,3		1,0	0,2	3	24
	50	4,9	50	76,0		1,0	0,2	3	24
Мebroкарбон BTG	50	4,9	0	34,9	Квіткові зрізи, розсада та ін.	1,0	0,2	3	24
	50	4,9	25	64,3		1,0	0,2	3	24
	50	4,9	50	76,0		1,0	0,2	3	24

Примітка: ФП – фумігаційний простір, Т – температура, Р – тиск, ГДК – граничнодопустима концентрація, ПРЗ – повітря робочої зони, АП – атмосферне повітря; БЗ – буферна зона

Дегазація вважається повною, коли вміст метил броміду в повітрі продукції не перевищує ГДК в повітрі робочої зони. Споживання продукції дозволяється після її провітрювання впродовж 24 годин.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕБРОКАРБОНОВИХ СУМІШЕЙ

Доцільно розглядати економічну ефективність фумігації зараженої продукції меброкарбонowymi сумішами в країні-імпортері, в порівнянні з умовними витратами на її повернення експортеру.

Оцінкою економічної ефективності фумігації свіжих томатів бромистим метилом і меброкарбонowymi сумішами проти південноамериканської томатної молі доведено, що економія коштів становить 92–94 % від витрат на їх повернення експортеру. Умовно чистий прибуток від фумігації становить 1,39–1,41 грн. на 1 кг обробленої продукції при собівартості обробки 0,09–0,12 грн./кг. При цьому, спостерігається 100 %-ва збереженість продукції при рентабельності у 1263,6–1566,7 %.

Таблиця 8

Оцінка економічної ефективності фумігації свіжих томатів бромистим метилом і меброкарбонowymi сумішами проти південноамериканської томатної молі, відносно витрат на їх повернення експортеру (2018 рік)

Показники	Одиниця виміру	Повернення свіжих томатів в авторефрижераторі Kogel SV 24 Carier Maxima (внутрішній об'єм вантажівки 87 м ³)	Суміш 1 (CH ₃ Br 34 г/м ³ + CO ₂ 160 г/м ³)	Суміш 2 (CH ₃ Br 28 г/м ³ + CO ₂ 160 г/м ³)	Суміш 3 (CH ₃ Br 14 г/м ³ + CO ₂ 160 г/м ³)	Метил бромід 56 г/м ³
Кількість імпоротної продукції, що підлягає поверненню експортеру	кг	27231	0	0	0	0
Умовні витрати на 1 кг повернутої продукції	грн.	1,5	0	0	0	0
Умовні витрати на повернення всієї продукції	грн.	40846,5	0	0	0	0
Витрати на фумігацію	грн.	0	2912,37	2748,37	2367,75	3335,65
Кількість збереженої продукції	кг	0	27231	27231	27231	27231
Економія коштів за умови фумігації продукції	грн./кг	0	37927,13	38098,13	38478,75	37510,85
Собівартість карантинної обробки	грн./кг	0	0,11	0,10	0,09	0,12
Умовно чистий прибуток від фумігації	грн./кг	0	1,39	1,40	1,41	1,38
Рівень рентабельності	%	0	1263,60	1400,00	1566,70	1150,00

Даними, що наведені в таблиці 8, доводиться, що економічно вигідніше знезаразити рослинну продукцію в Україні, аніж нести витрати щодо її повернення експортеру.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну проблему щодо захисту імпоротної та вітчизняної свіжої плодово-овочевої та квітково-декоративної продукції способом фумігації, у зв'язку з чим з'явилась можливість зупинити проникнення карантинних шкідників з інших країн та інтродукцію і поширення їх з карантинних зон антропоїчним шляхом.

1. Вивчено дію меброкарбонових сумішей проти західного квіткового трипса, картопляної та південноамериканської томатної молей, середземноморської плодової мухи та тютюнової білокрилки, яка ґрунтується на алгоритмі синергії бромистого метилу і двоокису вуглецю.

2. Спроектовано, створено і запатентовано фумігаційну лабораторну камеру з програмуванням фізичних умов (встановленням температури, вологості, активного перемішування фуміганта з повітряним середовищем фумігаційного простору).

3. Обґрунтовано залежність токсичної дії меброкарбонових сумішей від стану двоокису вуглецю під час його введення у фумігаційний простір – чутливість досліджених шкідників до сумішей з надкритичним CO_2 була вище в 2 рази за сумішей з насиченими парами вуглекислоти.

4. Надано оцінку технічної ефективності меброкарбонових сумішей проти досліджених карантинних шкідників, а саме: для західного квіткового трипсу в межах 85,48-100,00 %, картопляної молі – 84,83-100,00 %, південноамериканської томатної молі – 85,32-100,00 %, середземноморської плодової мухи – 87,45-100,00% і тютюнової білокрилки – 85,32-100,00 %. Виявлено, що незважаючи на зменшення норм витрат метил броміду в меброкарбонових сумішах до 4 разів в порівнянні з його класичним використанням, технічна ефективність може зберігатися на рівні 100%.

5. Встановлено нижні токсикологічні норми застосування метил броміду в сумішах з двоокисом вуглецю, введенного у фумігаційний простір у надкритичному стані ($T\ 50\ ^\circ\text{C}$ і тиск не нижче за 76 бар), які на 75 % менше за норм витрат при використанні виключно бромистого метилу.

6. Визначено для кожного дослідженого шкідника середні концентрації бромметилу в меброкарбонових сумішах, враховуючи варіанти застосування CO_2 , температурні режими, відносну вологість, норми витрати CH_3Br і CO_2 і експозицію при технічній ефективності 100 %.

7. Розраховано для меброкарбонових сумішей летальні норми, що забезпечують 100% загибель шкідників. Виявлено, що летальні норми годинogramів досліджених шкідників зменшуються, в залежності від стану двоокису вуглецю під час введення у фумігаційний простір, а саме: в 1,5–2 рази – для пароподібного та в 4 рази – для надкритичного.

8. Удосконалено нижні пороги застосування в меброкарбонових сумішах метил броміду з пароподібною вуглекислою за температур 0°C і тиску 34,9 бар та 25°C і тиску 64,3 бар в момент введення у фумігаційний простір, які на 40 і 50 % відповідно менше за норм витрати бромистого метилу в чистій формі.

9. Відмічено відсутність візуальної фітотоксичної дії меброкарбонових сумішей з нормами витрати бромистого метилу меншими в 1,5–4 рази за дозуванням його в чистій формі на свіжих овочах і фруктах, зрізах квітів, розсаді овочевих, квітково-декоративних і горщикових культур.

10. Оцінено економічну ефективність застосування меброкарбонових сумішей способом фумігації, в порівнянні з фінансовими витратами, пов'язаними з поверненням імпортової продукції країні-експортеру у випадку виявлення карантинного шкідника. Рівень рентабельності становив 1263,6–1566,7 %.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для запобігання проникнення карантинних шкідників на територію України, запропонувати Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України, здійснити державну реєстрацію бромистого метилу для його використання в меброкарбонових сумішах під час здійснення фумігації рослинної продукції перед її транспортуванням.

2. За умови державної реєстрації бромистого метилу, рекомендувати Державній службі України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів, контроль за застосуванням меброкарбонових сумішей способом фумігації проти регульованих видів комах та використанням бромистого метилу виключно для карантинних обробок.

3. Рекомендувати Дослідній станції карантину винограду і плодових культур та іншим науковим установам Інституту захисту рослин НААН, використовувати створену фумігаційну камеру для випробування газоподібних пестицидів і визначення режимів фумігації проти небезпечних шкідливих організмів.

4. Дослідній станції карантину винограду і плодових культур ІЗР НААН рекомендувати брати участь у проведенні навчань для операторів ринку фумігації, а також фахівців фумігаційної справи, щодо безпечного та ефективного застосування меброкарбонових сумішей

5. За уникнення порушень вимог Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар, рекомендувати суб'єктам господарської діяльності використання меброкарбонових сумішей виключно для карантинних обробок і обробок рослинної продукції перед транспортуванням.

6. Фумігаційним компаніям пропонується використовувати для карантинних обробок проти вказаних шкідників режими фумігації меброкарбоновими сумішами з нормами витрати метил броміду від 6 до 17 г/м^3 (в зворотній залежності від температури всередині продукції), за одночасного його введення у фумігаційний простір з двоокисом вуглецю за $T 50^{\circ}\text{C}$ в кількості 4–8 %, при діапазоні температур $4\text{--}32^{\circ}\text{C}$, відносної вологості 65–90%, експозиції часу 2–5,5 годин.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Ключковський Ю. Е., Черней Л. Б., Ящук В. У., **Нямцу Є. Ф.** Сучасне призначення бромистого метилу. Карантин і захист рослин. 2015. № 3. С. 1–3 *(Здобувачем зібрано і опрацьовано інформативний матеріал, написано та підготовлено статтю до друку)*.
2. Ключковський Ю. Е., Черней Л. Б., Ящук В. У., **Нямцу Є. Ф.** Сучасні проблеми знезараження підкарантинної продукції в Україні. Вісник аграрної науки. 2016. № 2. С. 11–14 *(Здобувачем опрацьовані літературні джерела, написано і підготовлено статтю до друку)*.
3. Ключковський Ю. Е., **Нямцу Є. Ф.** Йодистий метил – перспективи використання проти карантинних організмів на свіжих овочах і фруктах. Карантин і захист рослин. 2016. № 5. С. 15–17 *(Здобувачем зібрано і проаналізовано інформативний матеріал, написано та підготовлено статтю до друку)*.
4. Ключковський Ю. Е., **Нямцу Є. Ф.** Можливості управління резистентністю шкідників продовольчих запасів до фосфіну. Карантин і захист рослин. 2016. № 8–9. С. 1–4 *(Здобувачем зібрано і проаналізовано інформативний матеріал, написано та підготовлено статтю до друку)*.
5. Ключковський Ю. Е., **Нямцу Є. Ф.** Застосування меброкарбонових сумішей проти південноамериканської томатної молі. Карантин і захист рослин. 2018. № 11–12. С. 8–11 *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, проведено дослідження, отримано та узагальнено одержані експериментальні дані, написано і підготовлено статтю до друку)*.
6. Ключковський Ю. Е., **Нямцу Є. Ф.** Карантинні обробки свіжих овочів та зрізів квітів проти західного квіткового трипса. Карантин і захист рослин. 2019. № 1–2. С. 14–17 *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, проведено дослідження, отримано та узагальнено одержані експериментальні результати, написано і підготовлено статтю до друку)*.
7. **Нямцу Є. Ф.** Двоокис вуглецю – активний носій фумігантів. Захист і карантин рослин. 2018. № 64. С. 113–119.

Статті у науковому виданні іншої держави

8. **Нямцу Е. Ф.** Вредители запасов в Одесской области. Защита и карантин растений, выпуск № 6, М., 2013. С. 42.
9. Ключковский Ю. Э., **Нямцу Е. Ф.** Основные методологические аспекты процесса фумигации. Сборник научных трудов «Защита растений». Выпуск 42. Минск, 2018. С. 352–362 *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, написано і підготовлено статтю до друку)*.

Матеріали та тези наукових доповідей

10. **Нямцу Е. Ф.** Перспективы использования йодистого метила в роли фумиганта против карантинных организмов. Состояние и перспективы защиты растений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 45-летию со дня организации РУП «Институт защиты растений» (Минск – Прилуки, 17–19 мая 2016 г.). Науч. - практ. Центр по земледелию; Ин-т защиты растений. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2016. С. 396–398.

11. **Нямцу Е. Ф.** Управление резистентностью вредителей продовольственных запасов к фосфину. I (IV) Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми сучасної ентомології», Ужгород, 15–17 вересня 2016 р. Тези доповідей. Київське відділення Українського ентомологічного товариства та Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України. К.: Українська ентомофауністика. 2016, 7(3). С. 70–71.

12. **Нямцу Е. Ф.** Карантинная обработка плодоовощной продукции в Украине: проблема фумигации и пути её решения. Ентомологічні читання пам'яті видатних вчених-ентомологів В. П. Васильєва і М. П. Дядечка. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої 105-річчю від дня народження видатних вчених-ентомологів академіка НАН України Вадима Петровича Васильєва і професора Миколи Платоновича Дядечка (Київ, 19–21 грудня 2017 року). Інститут захисту рослин НААН. Суми: Довкілля, 2017. С. 60–62.

13. Ключковский Ю. Э., **Нямцу Е. Ф.** Сдерживание инвазии карантинных вредителей методом фумигации. Фундаментальні і прикладні проблеми сучасної екології та захисту рослин: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. факультету захисту рослин Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва, 11–12 жовтня 2018р. Харків: ХНАУ, 2018. С. 65–68 (*Здобувачем опрацьовано літературні джерела, проведено дослідження, отримано та узагальнено одержані експериментальні дані, підготовлено доповідь*).

Патент на корисну модель

14. Фумігаційна камера для створення регламентів щодо застосування пестицидів у газоподібному стані проти шкідливих організмів у сільськогосподарській продукції: пат. № 123977 Україна: МПК (2018. 01) А01М 17/00. № u201710816; заявл. 06.11.17; опубл. 12.03.2018. Бюл. № 5 с. (*Здобувачем спроектована корисна модель та підготовлено її опис до патенту*).

АНОТАЦІЯ

Нямцу Є. Ф. Токсикологічне обґрунтування використання меброкарбонових сумішей проти карантинних шкідників способом фумігації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 16.00.10 – «Ентомологія». – Інститут захисту рослин НААН України, Київ, 2020.

У дисертаційній роботі визначені пороги мінімальних витрат бромистого метилу в сумішах з двоокисом вуглецю в пароподібному і надкритичному станах (в кількості 4–8 % в зворотній залежності від температури) на умовах збереження 100 %-ї технічної ефективності. Вони були застосовані в розробках режимів фумігації та технологічних регламентів щодо захисту рослинної продукції від таких регульованих шкідників, як західний квітковий трипс (*Frankliniella occidentalis* Perg.), картопляна (*Phthorimaea operculella* Zell.) і південноамериканська томатна (*Tuta absoluta* Meyr.) молі, середземноморська плодова муха (*Ceratitis capitata* Wied.) і тютюнова білокрилка (*Bemisia tabaci* Gen.).

Уточнено норми витрати бромистого метилу в меброкарбонових сумішах проти вказаних шкідників, які менше на 40 і 50 % (в 1,6 і 2 рази) відносно норми його витрати за еталоном, за умови введення вуглекислоти у фумігаційний простір за температур 0 °C і тиску 34,9 бар та 25 °C і тиску 64,3 бар відповідно.

Досягнуто зниження норм витрати метил броміду в меброкарбонових сумішах на 75 %, тобто у 4 рази від норми витрати за еталоном, за умови введення у фумігаційний простір діоксиду вуглецю в надкритичному стані за температури 50 °C і тиску не нижче за 76 бар.

Ключові слова: бромистий метил, двоокис вуглецю, меброкарбонові суміші, інвазія комах, регульовані шкідники, карантинні обробки, фумігація.

АННОТАЦІЯ

Нямцу Е. Ф. Токсикологическое обоснование использования меброкарбоновых смесей против карантинных вредителей способом фумигации. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 16.00.10 – «Энтомология». – Институт защиты растений НААН Украины, Киев, 2020.

В диссертационной работе определены минимальные нормы расхода бромистого метила в меброкарбоновых смесях для защиты растительной продукции от регулируемых вредных организмов: западного цветочного трипса (*Frankliniella occidentalis* Perg.), картофельной (*Phthorimaea operculella* Zell.) и южно-американской томатной (*Tuta absoluta* Meyr.) молей, средиземноморской плодовой мухи (*Ceratitis capitata* Wied.) и табачной белокрылки (*Bemisia tabaci* Gen.).

Уточнены нормы расхода бромистого метила в меброкарбоновых смесях против указанных вредителей, уменьшение которого возможно, относительно нормы расхода эталона, на 40 %, при температуре углекислоты в точке ввода в фумигационное пространство 0 °C и давлении 34,9 бар и на 50 % – при температуре 25 °C и давлении 64,3 бар.

Достигнуто снижение норм расхода метил бромид в меброкарбоновых смесях на 75%, то есть в 4 раза относительно нормы расхода по эталону, при вводе диоксида углерода в фумигационное пространство в сверхкритическом состоянии при температуре 50 °C и давлении не ниже 76 бар.

Ключевые слова: бромистый метил, двуокись углерода, меброкарбоновые смеси, регулируемые вредители, карантинные обработки, фумигация.

ANNOTATION

Nyamtsu E. F. Toxicological rationale for the use of mebrocarbon mixtures against quarantine pests using fumigation method. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for Candidate of Agricultural Sciences degree by specialty 16.00.10 – «Entomology». – NAAS Institute of Plant Protection of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the study of establishing lower thresholds for methyl bromide consumption in mebrocarbon mixtures during the treatment of fruits and vegetables and flower and decorative products by fumigation against western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* Perg.), potato moths (*Phthorimaea operculella* Zell.), south american tomato moths (*Tuta absoluta* Meyr.), mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* Wied.) and tobacco whitefly (*Bemisia tabaci* Gen.) which have the status of quarantine pests in Ukraine.

The studies were carried out in a fumigation chamber with a volume of 1000 l (1 cubic meter) with programming the physical conditions of the fumigation space (by setting the required temperature, humidity and active mixing of the fumigant with the air).

Methyl bromide (at 50 °C and 4,9 bar pressure) was introduced into the fumigation space simultaneously with carbon dioxide in vaporous (0 °C and 34,9 bar and 25 °C and 64.3 bar) and supercritical (50 °C and 76 bar) states. The introduction of the components of the mixture was carried out during the ventilation of the fumigation space of the camera. The consumption rates of methyl bromide were 60, 50, 40, 30, 25 and 20 % of the classic dosages of using one methyl bromide without carbon dioxide. CO₂ was added at a rate of 4–8 volume percent (inversely dependent on the temperature of the fumigation space). Exposures and temperature modes (TM) for each quarantine pest were taken from the methodological manuals for the treatment of the indicated production with methyl bromide. Biological tests were the pests themselves or their analogs.

The results of the research allow us to draw important conclusions, namely:

1) reduction of the toxic component (methyl bromide) in the mebrocarbon mixtures against the investigated quarantine pests, at the vapor state of carbon dioxide at temperatures of 0 °C and pressure of 34,9 bar and 25 °C and pressure of 64,3 bar at the time of introduction into the fumigation space, possible by 40–50 % (1,6–2 times) from the norm of its consumption by the standard, respectively;

2) minimization of effective doses of bromomethane in mebrocarbon mixtures by 75 %, ie 4 times of the standard flow rate, is possible when carbon dioxide in a supercritical state is introduced into the fumigation space of at a temperature of 50 °C and a pressure not lower than 76 bar.

Based on the obtained results, the modes of fumigation of mebrocarbon mixtures with the minimum rates of consumption of methyl bromide with carbon dioxide in supercritical state (50 °C and pressure not lower than 76 bars) during the introduction into the fumigation space were developed, namely:

1) against western flower thrips, according to TM: 4–6 °C – 16 g/m³ CH₃Br and 160 g/m³ CO₂ for 4 hours exposure; 7–9 °C – 14 g/m³ CH₃Br i 140 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 10–15 °C – 12 g/m³ CH₃Br and 120 g/m³ CO₂ during exposure of 3 hours; 16–20 °C – 10 g/m³ CH₃Br and 100 g/m³ CO₂ during exposure of 2,5 hours; 21–26 °C – 8 g/m³ CH₃Br and 80 g/m³ CO₂ during exposure of 2 hours;

2) against potato moth, according to TM: 4–9 °C – 14 g/m³ CH₃Br and 160 g/m³ CO₂ during exposure of 5 hours; 10–15 °C – 13 g/m³ CH₃Br and 140 g/m³ CO₂ during exposure of 4,5 hours; 16–20 °C – 12 g/m³ CH₃Br and 120 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 21–26 °C – 11 g/m³ CH₃Br and 100 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 27–32 °C – 10 g/m³ CH₃Br and 80 g/m³ CO₂ during exposure of 3,5 hours;

3) against the south american tomato moth, according to TM: 4–9 °C – 14 g/m³ CH₃Br and 160 g/m³ CO₂ during exposure of 5 hours; 10–15 °C – 12 g/m³ CH₃Br and 140 g/m³ CO₂ during exposure of 4,5 hours; 16–20 °C – 10 g/m³ CH₃Br and 120 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 21–26 °C – 8 g/m³ CH₃Br and 100 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 27–32 °C – 6 g/m³ CH₃Br and 80 g/m³ CO₂ during exposure of 3,5 hours;

4) against the mediterranean fruit fly, according to TM: 7–9 °C – 17 g/m³ CH₃Br and 160 g/m³ CO₂ during exposure of 5,5 hours; 10–12 °C – 15 g/m³ CH₃Br and 140 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 13–15 °C – 12 g/m³ CH₃Br and 120 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 16–18 °C – 12 g/m³ CH₃Br and 100 g/m³ CO₂ during exposure of 3 hours; 19–21 °C – 11 g/m³ CH₃Br and 80 g/m³ CO₂ during exposure of 3 hours;

5) against tobacco whitefly, according to TM: 4–9 °C – 16 g/m³ CH₃Br and 160 g/m³ CO₂ during exposure of 5,5 hours; 10–15 °C – 14 g/m³ CH₃Br and 140 g/m³ CO₂ during exposure of 5 hours; 16–20 °C – 12 g/m³ CH₃Br and 120 g/m³ CO₂ during exposure of 4,5 hours; 21–26 °C – 10 g/m³ CH₃Br and 100 g/m³ CO₂ during exposure of 4 hours; 27–32 °C – 8 g/m³ CH₃Br and 80 g/m³ CO₂ during exposure of 3,5 hours.

So, the results of our studies confirm the promise of the effective use of mixtures of methyl bromide with carbon dioxide in vaporous and critical states against these quarantine pests.

Subject to that the state registration of methyl bromide in Ukraine for its use in QPS being made, the use of mebrocarbon mixtures during quarantine treatments and treatments before transportation of plant products, the invasion of alien harmful insects into the territory of Ukraine may be stopped anthropically.

The use of mebrocarbon mixtures in quarantine treatments of plant products will reduce the use of methyl bromide as a phytosanitary measure, which should positively affect the ozone layer of the atmosphere. In addition, their use should be a significant lever in limiting the spread of western flower thrips, Potato moth, South American tomato moth, Mediterranean Fruits, tobacco white fly in imported and domestic vegetable goods by way of fumigation.

The use of mebrocarbon mixtures is essential to eliminate the phytotoxic effects of methyl bromide on certain types of plant products during quarantine treatments.

The use of mebrocarbon mixtures in quarantine treatments of plant products will reduce the use of methyl bromide as a phytosanitary measure, which should positively affect the ozone layer of the atmosphere.

Key words: methyl bromide, carbon dioxide, mebrocarbon mixtures, insect infestation, regulated pests, quarantine treatments, fumigation.