

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/285592282>

# Шарга Б.М., Вайда П.В., Мага І.М. Біофумігація та соляризація ґрунту: Методичні рекомендації студентам біологічного факультету з курсу „Ґрунтознавство”/ Ужгород, т-во «Знанн....

Book · March 2008

CITATIONS

0

READS

397

3 authors, including:



**Boris M. Sharga**

Uzhhorod National University

68 PUBLICATIONS 107 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Ivan M. Maga**

Uzhhorod National University

9 PUBLICATIONS 34 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Bacteriorhodopsin production [View project](#)



Bacillus as antagonists and biocontrol agents of plant pathogenic bacteria and fungi [View project](#)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра генетики, фізіології рослин і мікробіології

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ  
ГОЛОВНА ДЕРЖАВНА ІНСПЕКЦІЯ ЗАХИСТУ РОСЛИН  
Ужгородська прикордонна державна контрольно-токсикологічна лабораторія

# **БІОФУМІГАЦІЯ ТА СОЛЯРИЗАЦІЯ ҐРУНТУ**

(Методичні рекомендації студентам біологічного факультету із курсу  
„Ґрунтознавство”)

**Шарга Б.М., Вайда П.В., Мага І.М.**

**Ужгород -2008**

УДК 632.934.2  
ББК П03 Ш-25

**Рецензент і відповідальний за випуск:**

**Белчгазі В.Й.**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри генетики, фізіології рослин і мікробіології Ужгородського національного університету.

**Автори:**

**Шарга Борис Михайлович** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри генетики, фізіології рослин і мікробіології Ужгородського національного університету.

**Вайда Петро Васильович** - кандидат біологічних наук, доцент кафедри генетики, фізіології рослин і мікробіології Ужгородського національного університету.

**Мага Іван Михайлович** – кандидат хімічних наук, викладач кафедри аналітичної хімії Ужгородського національного університету, завідувач Ужгородською прикордонною державною контрольно-токсикологічною лабораторією

Біофумігація та соляризація ґрунту: Методичні рекомендації студентам біологічного факультету із курсу „Ґрунтознавство”/Б.М.Шарга, П.В.Вайда, І.М.Мага.- Ужгород, т-во «Знання», 2008.- 62 с.

Описано біофумігацію і соляризацію – методи звільнення ґрунту від шкідливих організмів. Ці способи обробки землі дозволяють мінімізувати застосування синтетичних фумігантів або взагалі відмовитися від цих агрохімікатів. Методичні рекомендації відповідають програмі курсу «Ґрунтознавство» і відображають сучасний стан проблеми.

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри генетики, фізіології рослин і мікробіології Ужгородського національного університету, протокол № від 2008 р., Вченою радою біологічного факультету Ужгородського національного університету, протокол № від 2008 р. рішенням Правління Закарпатської обласної організації товариства „Знання” України № від 2008 р.

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ІТЦ - ізотіоціанат

МІТЦ - метил ізотіоціанат

ХП – хлорпикрин ( $\text{CCl}_3\text{NO}_2$ )

2-ФЕ ІТЦ – 2-фенілетил ізотіоціанат

МБ – метил бромід, бромистий метил ( $\text{CH}_3\text{Br}$ )

1,3 Д – 1,3 - дихлоропропен ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_2$ , Telon II)

НРЛС – рідинна хроматографія високого тиску

ЙМ – метил йодид (ІМ,  $\text{CH}_3\text{I}$ , йодометан),

ПБ – пропаргіл бромід ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{Br}$ ).

МNa – метам Na

ГЛТ – глюкозинолат

kDa – кілодальтон

IC<sub>50</sub> – концентрація, що інгібує 50% живих об'єктів

LC - летальні концентрації

## ЗМІСТ

Вступ: Актуальність пошуку альтернатив синтетичним фумигантам .....	4
Біофумігація - використання природних біологічно активних сполук.....	7
Ефект біофумігації проти бур'янів.....	12
Контроль збудників хвороб рослин.....	15
Контроль паразитичних нематод і шкідливих комах.....	20
Використання у біофумігації інших органічних добавок.....	31
Вплив біофумігації на врожайність.....	32
Проблема повторних посадок багаторічних рослин.....	34
Інші корисні впливи рослин-біофумігантів на ґрунт.....	36
Вплив умов середовища на біофумігацію.....	38
Ефекти соляризації та її поєднання з біофумігацією.....	40
Висновки та рекомендації.....	44
Література.....	46

## **Вступ: Актуальність пошуку альтернатив синтетичним фумигантам**

Рослинництво України і Закарпаття зазнає значних змін на задоволення потреб внутрішнього ринку і експорту. Тому необхідний надійний контроль шкідників, бур'янів і хвороб рослин, джерелом яких є ґрунт. Хтось вирощує коренеплоди, бульби і бореться із впливом шкідливих організмів на кількість і якість врожаю, а інші - мають багаторічні культури, які із часом можуть знизити врожайність через поширення патогенів і шкідників у зоні коріння.

Через мало вивчену екологію шкідливих організмів ґрунту, та їх значну шкодочинність культурам навіть за низької чисельності, проводять профілактичну фумігацію. У інтенсивних системах вирощування використовують фумиганти широкого спектру дії. Так, раніше широко застосовували МБ. Він знищує в землі шкідливі організми, стимулює розвиток культур через вивільнення розчинних поживних речовин із ґрунту (Chen et al. 1991). Але, у 1992 р. виявили, що МБ руйнує озоновий шар стратосфери. Тому 1997 р. підписано Монреальський протокол – міждержавний договір про відмову від використання МБу. На даний час цю угоду ратифікували понад 180 держав. За Монреальським протоколом, США відмовилися від застосування МБу у 2005 р. Країни, що розвиваються, не використовуватимуть МБ для фумігації з 2015 р. З країн Євросоюзу Іспанія та Італія - найбільші у ЄС виробники овочів і квітів- ще не відмовилися від МБу як фумиганту.

У Європі застосування фумигантів знизилося більш, як на 50% із часу заборони МБу. Їх використання дозволено 1 раз на 5 років. Замість МБу застосовують MNa, Telon II, ХП, ЙМ, ПР або їх суміші - InLine (61% 1,3-Д + 33% ХП), Midas (50% ІМ + 50% СР) (Stromberger et al. 2005).

Telon II забезпечує контроль багатьох фітопатогенних організмів і стимуляцію росту однорічних культур, але менше пригнічує бур'яни у розсадниках, і не усуває проблеми повторних посадок багаторічників.

Генератори метил-ІТЦ, як MNa, мають широку біоцидну активність у ґрунті, але їх важче застосувати ефективно. У багатьох випадках альтернативні засоби краще використовувати у комбінаціях як суміші (наприклад, 1,3-Д + ХП) або послідовно (тобто, ХП, а далі – MNa). Їх можна також замінити іншими більш специфічними пестицидами, наприклад, метил йодидом, пропагіл бромідом, які наближаються за активністю у ґрунті до метил броміду, і культуральним контролем (Duniway 2002). Очікується їхнє широке впровадження у практику.

Агротелон (суміш 1,3-Д + ХП) із успіхом застосовують у Марокко, ЄС, на вирощуванні помідорів і полуниць шляхом механічного введення у ґрунт або крапельного зрошування його емульсії (Педро, Каррера 2004).

Для захисту виноградної лози від мікроскопічних нематод, що пошкоджують коріння, утворюючи на ньому вузелки, замість МБу можна з успіхом використати ХП, йодометан у поєднанні із ХП, а також 1,3-Д у поєднанні із ХП (Телон С35) при вкриванні грядок целофановою плівкою на 16 днів (Шнайдер 2003). Так вирощують стандартні саджанці винограду.

Недоліком є й те, що MNa та інші альтернативні негалогенізовані засоби захисту рослин піддаються, за малої перерви в їх застосуванні, прискореній біодеградації мікроорганізмами ґрунту, які адаптуються до споживання і руйнування внесених хімікатів (Robertson et al. 1998, Matthiessen, Warton 1999, Warton, Matthiessen 2000, Davison E., McKay 1999, 2000).

Зараз не існує іншого синтетичного фумиганту широкого спектру дії для ґрунту, крім MNa. Тому його ціна висока. MNa діє на шкідливі організми через утворення токсину - метил-ІТЦ при контакті із вологим ґрунтом.

Вчені розробляють альтернативні підходи контролю шкідливих організмів. Це дасть нові можливості вибору засобів у боротьбі із шкідниками і хворобами в ґрунті.

Окремі виробництва, наприклад, вирощування полуниць, можуть перейти до продукції у закритих системах, наприклад, у плівкових тунелях, і використовувати штучні субстрати, які гарантують звільнення культур від хвороб (Porter et al. 1999).

Так, у Македонії вже відмовилися від використання МБу для одержання розсади тютюну. Замість фумігації, тут перейшли на використання системи плаваючих піддонів і тунелів для вирощування розсади тютюну без ґрунту. Так молоді рослини краще ростуть, менше хворіють, полегшується їх посадка, вони захищені від морозів плівкою (Си Ахмед 2003).

Високовартісні інтенсивні способи вирощування цибулинних квітів, полуниць, перцю, томатів, які є досить залежними від фумігації, повинні переходити на хімічні альтернативи МБу, а у віддаленій перспективі - на інтегрований захист культур: прогнозування розвитку хвороб та шкідників, використання біофумигантів, стійких сортів, застосування пестицидів.

Біофумігація і соляризація під прозорою плівкою ефективно вбивають у ґрунті або пригнічують розвиток шкідливих організмів (бур'янів, фітопатогенних мікробів, паразитичних нематод, камах-ішкідників тощо) природними біоцидними сполуками та прогрівом землі сонцем, а також опосередковано знижують кількість вірусних захворювань, знищуючи їхні вектори.

Ці методи можуть інтегруватися у органічне фермерство і є необхідними, бо ціни на хімічні препарати зростають і збільшується інтенсифікація рослинництва. Крім того, виробники можуть зазнавати втрат через прискорену біодеградацію синтетичних пестицидів (Matthiessen 1999, Pattison 2000, Matthiessen, Kirkegaard 2006). Біофумігація і соляризація зменшують забруднення довкілля агрохімікатами, що є особливо бажаним для Закарпаття як рекреаційної і туристичної зони.

Готуючи даний матеріал до публікації, ми мали на меті дати короткий огляд досліджень біофумігації і соляризації ґрунту та приклади використання цих технологій.

Сподіваємося, що дані методичні рекомендації будуть корисними для тих, хто вивчає органічне фермерство, агрономію, фізіологію рослин та їх захист, а також для спеціалістів у сільському господарстві.

## Біофумігація - використання природних біологічно активних сполук

Біофумігація – агрономічна технологія, яка використовує захисні системи окремих видів *Brassicaceae* (капуста, гірчиця та ін. ), *Capparidaceae* (клеома) і *Moringaceae* (хрін). При руйнуванні тканин цих рослин, введених у ріллю, утворюються різноманітні речовини, що пригнічують чи убивають шкідливі організми ґрунту. Найширше досліджують і використовують у біофумігації рослини *Brassicaceae*, які утворюють сполуки, подібні до тих, що утворюються із фумиганту MNa.

Kirkegaard et al. (1993 a, b), Angus et al. (1994), визначають біофумігацію як пригнічення шкідників, патогенів, бур'янів у ґрунті шляхом використання рослин *Brassica* у ротації чи як зелені добрива.

У вказаних вище родин однією із найбільш важливих ензиматичних систем захисту є ГЛТ–мірозіназна система (Palmieri 2000).

ГЛТи – глікозиди гірчиної олії - містять групу сульфату та тіоглюкози. Із часу відкриття у 1831 сіналбіну білої гірчиці (*Sinapis alba*) виявили понад 120 інших ГЛТів (Fahey et. al. 2001). Біосинтез ГЛТів описано у ряді робіт (Dawson et. al. 1993, Bennett et. al. 1993, Reed et. al. 1993, Magrath et. al. 1994, Mithen et. al. 1995, Halkier, Du 1997, Fahey et. al. 2001 та ін.). Залежно від того, з яких амінокислот ГЛТи утворюються: - аліфатичні (найчастіше метіонін), фенілаланін або тирозин, триптофан - їх ділять на аліфатичні, ароматичні або індолілі (гетероциклічні), відповідно (Halkier, Du 1997). ГЛТи синтезуються в цитоплазмі і накопичуються у вакуолях різних клітин (Grob, Matile 1979). При руйнуванні клітини, вони ферментативно гідролізуються мірозіназою в аглюкон D-глюкозу, трансформуються в ІТЦи, нітрили і тіоціанати – сполуки, які активно пригнічують бактерії, гриби, нематоди, комахи, насіння, що проростає. Найбільші біоцидні властивості мають ІТЦи (леткі сполуки), насамперед метил-ІТЦ і пропеніл-ІТЦ (Sarwar et al. 1998, Lazzeri, Manici 2000). Найбільш поширеними і домінуючими продуктами гідролізу ГЛТів є ІТЦи, які мають ефект проти шкідливих для рослин організмів у ґрунті. ІТЦи є основними біоцидами, які вивільняються із решток рослин і можуть перебувати у ґрунті від кількох днів до кількох тижнів (Halkier, Gershenzon 2006).

Мірозіназа - це група чи сімейство ензимів (Halkier, Gershenzon 2006). Мірозінази, які каталізують гідроліз молекул ГЛТу, в основному, зберігаються у мірозінових зернах мірозінових клітин, але також були виявлені у протеїнових тільцях/вакуолях і, як ензими цитозолу - у мембрано-зв'язаній формі (Luthy, Matile 1984). Коли цілісність тканин пошкоджується, компартменталізація цих сполук порушується. В результаті мірозіназа починає гідроліз ГЛТу до кількох біологічно активних гірчичних олій. Продукти деградації активні проти мікробів, нематод та інших рослин. У вологому ґрунті мірозіназа каталізує гідроліз ГЛТів із утворенням таких токсичних для шкідливих організмів продуктів, як ІТЦи, нітрили, епітіонітрили та тіоціанати.

Вміст ГЛТів варіює, в окремих овочів *Brassica* може досягати до 1% сухої ваги і до 10% у насінні (Kirkegaard, Sarwar 1998). Ці рослини висівають як ротаційні культури чи зелене добриво для пригнічення хвороб і шкідників



рослин у ґрунті. Однак, Porter et al. (1999) пише, що при традиційному використанні як сидеральних культур *Brassica* у ґрунт поступає близько 7 т їх сухої ваги/га, що є еквівалентом кількості ІТЦів – 156 нмоль/г ґрунту – це набагато менше, ніж кількість ІТЦів, яка виділяється при застосуванні МNa (2060 нмоль ІТЦів/г ґрунту), що еквівалентно застосуванню 320 кг метил ІТЦів/га із введенням на глибину 20 см. Тому простого введення біомаси хрестоцвітих може бути недостатньо.

Навіть у межах одного виду *Brassica* є значні варіації у вмісті ГЛТів, від чого залежить біофумігаційний потенціал рослин (Warton et al. 2001).

Petersen et. al. (2002) дослідили вміст і композицію ГЛТів у *Arabidopsis thaliana* у процесі розвитку від насіння до стадії проростків. Більшість рослин має не більше 6 основних ГЛТів та ще кілька цих сполук - у слідових кількостях. Однак, в *A. thaliana* виявили 34 ГЛТи. У листі проростків аліфатичних ГЛТів більше, ніж індольних. Коріння спершу має більше індольних ГЛТів, ніж аліфатичних, а далі їх кількість у ньому вирівнюється. Особливо багато у корінні 1-метоксиіндол-3-ілметіл-ГЛТів у порівнянні із іншими індольними ГЛТами. Насіння мало найбільшу кількість ГЛТів, що можливо, є необхідним для його захисту від шкідників та патогенних мікробів при проростанні (Choesin, Voerner 1991, Siemens et. al. 2002).

Мірозинази – тіоглюкозидази – каталізують гідроліз дуже стабільних молекул водорозчинних ГЛТів із утворенням одного із таких продуктів, як нітрил, ІТЦ, тіоціанат, епітіонітрил, оксазолідін-2-тіон чи їм подібних, глюкози і сульфату. Очевидно, мірозиназа є в усіх рослинах *Cruciferae*, які продукують ГЛТи (Kjaer 1976).

Крім мірозинази роду *Brassica*, досліджували мірозиназу у насінні, проростках і різних органах зрілих рослин *Sinapis alba* та *Raphanus sativus*. Розподіл мірозинази має відмінності у цих видів, але спільним є наявність ензиму в мірозинових клітинах та інших неспеціалізованих клітинах (Phelan et al. 1984).

З допомогою аналітичного гель-електрофорезу виділили кілька ізоензимів мірозинази (MacGibbon, Allison 1970, Hendersen, McEwen 1972, Buchwaldt et. al. 1986). Виявили 2 різні мірозинази у проростках *Brassica napus* (James, Rossiter 1991), які деградують різні ГЛТи із різною швидкістю, наприклад, аліфатичні швидше, ніж індольні. Мірозинази можуть мати широке коло субстратів (Bjorkman, Janson 1972).

Для трьох видів *Lepidium sativum*, *S. alba*, *B. napus* описані фізико-хімічні властивості (James, Rossiter 1991), а на основі кристалічної структури (Burmeister et. al. 1997) - молекулярна просторова структура мірозиназ (Rask et. al. 2000). Є успіхи у дослідженні генів мірозиназ та їх експресії у *Brassicaceae* (Lenman et. al. 1993, Rask et. al. 2000).

Є три підродини генів мірозинази *B. napus*, *S. alba*, *A. thaliana*. Трьом підролинам генів мірозинази *B. napus* відповідають три ензими 75 kDa, 65 kDa, і 70 kDa. Протеїнова частина (59 kDa) подібна у всіх трьох, а варіації є за рахунок глікозилювання. Бічні ланцюги карбогідратів складаються, в основному, із фукози, маннози N-ацетилглюкозаміну (Lenman et. al. 1993, Falk

et. al. 1995). Є три групи білків, які асоціюють із мірозиною і змінюють її структуру і специфічність. Є також білки-епіспецифікатори, які модифікують продукти деградації ГЛТів (Lambrix et. al. 2001).

Мірозиназа вивільняється із рослинних решток у ґрунті, каталізує утворення летких сполук, що діють як біофумиганти проти шкідливих для культурних рослин організмів - мікробів, комах, нематод, бур'янів. При цьому покращується ґрунт, може індукуватися стійкість у наступних культур до фітопатогенних мікробів. Біофумиганти здатні вирішувати проблеми, пов'язані із ними, на рівні із пестицидами.

При взаємодії очищених ГЛТів від різних видів і сортів *Brassicaceae* та мірозиноми із насіння *S. alba* у процесі гідролізу одержали різноманітні біоактивні ІТЦи, нітрили, тіони. Гідроліз здійснювали у спеціальному реакторі із імобілізацією ензиму мірозиноми на нейлоні (Leoni 2000).

J. Gardiner (University of Idaho, Moscow, Idaho) виявив, ГЛТи також виділяються корінням і швидко гідролізуються мірозиною у ґрунті (можливо бактеріальною) із виділенням ІТЦів (Gardiner 1999).

Пізніше Kirkegaard і Sarwar (1998) точніше сформулювали визначення біофумігації як пригнічення шкідливих організмів біоцидними сполуками, які утворюються в результаті гідролізу ГЛТів, що вивільняються із залишків *Brassicaceae* у ґрунті. Дослідивши 76 сортів різних видів *Brassicaceae*, вони встановили, що максимальна продукція ГЛТів спостерігається на час цвітіння. Про це пишуть і J. Fieldsend і G.F.J. Milford (1994).

Зростає ринок насіння рослин для біофумігації. Через відмову від МБу і пошук його альтернатив у 1990-х роках почали відбір видів і сортів хрестоцвітих, придатних для біофумігації та розробили селекційні програми для підвищення вмісту глікозинолатів (Halbrendt 1995, Lazzeri, Manici 2000). З початку 1990-х років проводиться міжродова гібридизація, зокрема між *Diplotaxis siifolia*, культурних і диких рослин *Brassicaceae* (Batra et al. 1990).

Група Kirkegaard J.A. досліджує фактори впливу на продукцію ГЛТ хрестоцвітих. Кращі рослини-біофумиганти вони випробували проти шкідливих організмів на зернових, картоплі та інших культурах (Kirkegaard et al. 1997). Широкий діапазон ГЛТних профілів і вибіркова токсичність ІТЦів, що утворюються, до шкідників рослин дають можливість селекції *Brassica* із кращим біофумігаційним потенціалом проти організму-мішені.

Спеціально для біофумігації селекціонерами створено ряд сортів гірчиці *Brassica juncea* (Ryan 1999, Lazzeri 2000, Lazzeri, Manici 2000, Daugovich 2003). Так, Jack Brown, селекціонер із Університету Ідаго (США) створив сорти *Brassica* для біофумігації – гірчиці- Humus rapeseed та IdaGold із підвищеним вмістом ГЛТів (Daugovich 2003).

Кормовий ріпак містить більше 30  $\mu\text{моль/г}$  ГЛТів. Індійська гірчиця містить їх у корінні 1-20  $\mu\text{моль/г}$ , причому сорти, які мають низький їх рівень у насінні, продукують їх достатньо для біофумігації у корінні, а канола – 4-28  $\mu\text{моль/г}$  (Kirkegaard et al. 1999).

У селекції культур *Brassicaceae* важливо зберегти високий рівень ГЛТів у листі, щоб мати певну стійкість до споживання комахами-генералістами (Bennett and Wallsgrove 1994, Li et al. 2000). Високі дози ГЛТів у насінні канולי є небажаними, бо муку із нього згодуюють худобі. Але 2-ФЕ – це ГЛТ специфічний для кореня. Збільшуючи шляхом селекції його кількість у корені, його вміст у насінні підвищити неможливо (Potter 2007). Є потенціал введення тіофункціоналізованих ГЛТів у види шляхом селекції.

Petersen P.H. (2007) пропонує сорти *Brassicaceae* для боротьби із нематодами: кормовий редис Boss та Commodore проти *Meloidogyne incognita* та *Meloidogyne chitwoodi*, відповідно. Сорт Boss - як попередник томату, огірків, кавунів, перцю, моркви, тютюну, а Commodore – картоплі. А кормовий редис Colonel та сорти білої гірчиці Concerta, Accent - як попередники цукрового буряка для пригнічення нематод *Heterodera schachtii*.

Сорти канола (*Brassica napus* L., *Brassicaceae*) містять ірусикової кислоти менше 2% від усієї кількості жирних кислот і менше 30  $\mu\text{моль/г}$  ГЛТ у обезжиреній муці (Arnoldo et al. 1992). Термін „ріпак” використовують для означення олійних сортів *B. napus* із високим (>40%) вмістом ірусикової кислоти в олії. Ці характеристики насінної олії роблять її придатною для використання у техніці, але токсичною у їжі чи кормах. Створено сорти *B. napus* із низьким вмістом цих сполук. Вони придатні для кухні та приготування кормів і їх називають канола. Перші сорти мали низьку концентрацію цих сполук у всій рослині, а нові мають нижчу концентрацію лише у насінні (Bennett, Wallsgrove 1994). Як правило, сорти ріпаку містять багато ГЛТів (80-120  $\mu\text{моль/г}$ ) у звільненій від олії муці, хоча нові сорти ріпаку мають майже таку ж муку, як і канола (Arnoldo et al. 1992).

Контроль шкідливих організмів ґрунту біофумігацією різними рослинами, які містять ГЛТі, описали в оглядах Brown, Morra (1997) і Rose et al. (1997).

Крім зелених добрив, матеріалами для біофумігації можуть бути гній тварин, курячий послід Tjamos (1999), (Álvares et al. (2007), стічні води та відпрацьований грибний компост (Hunter et al. (1997) агро-індустріальні відходи, тощо. Нове використання знайшли сухі тканини рослин *Brassicaceae*, і/або обезжирені харчові гранули.

В Італії, Великій Британії, Франції, Данії, США, Лівані, Австралії, Німеччині, Нідерландах, Бельгії, Швейцарії, Південній Африці проведено чимало досліджень ефективності цієї системи, яка є більш м'якою і сумісною із довкіллям, ніж штучні фумиганти. В Україні біофумігації не надають достатньої уваги. Є окремі дослідження у Білорусі з випробування хрестоцвітих для вирішення проблеми повторної посадки яблунь (Поплавський 2006).

Водорозчинні продукти деградації ГЛТ досліджені найбільше на їх вплив на ріст рослин та гербіцидний потенціал, пов'язаний із SCN. Формуляція гербіциду амітролу-Т – це суміш аміно-1,2,4-тріазолу і  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Солі тіоціанатів такі, як KSCN та  $\text{NH}_4\text{SCN}$  можна використати як селективні гербіциди та дефоліанти, у залежності від концентрацій. Оксаліс та спурдж у газонах трави гинуть при концентрації SCN між 1,7-14 г/л (0,17-1,4%), і близько

11,2 кг/га використовують для дефоліації бавовнику. SCN- це тимчасовий стерилант. Інший цікавий ефект SCN на рослини - це збільшення врожаю на 6%–15%, якщо насінну картоплю опудрити 0,02% SCN та почервоніння яблук після обприскувань SCN (Beekhuis 1975).

Tsror et al. (2004) запатентували спосіб вирощування рослин із попередньою біофумігацією із вкривання ґрунту. Тут культуру - зелене добриво подрібнюють і вводять у ґрунт, а далі землю вкривають шаром полімеру, який створюють розприскуванням на поверхню ґрунту. Для кращої декомпозиції рослинних решток, ґрунт до вкривання полімером поливають. Полімер зберігають на поверхні ґрунту 3-5 тижнів, далі садять або висівають рослини – томати, моркву чи картоплю. Як біофуміганти пропонують рослини *Brassicaceae*, кукурудзу, жито, сорго, люцерну, горох, ячмінь, пшеницю тощо. Застосування полімеру передбачає використання хоча б одного наповнювача, яким може бути барвник, чорний вуглець, вугілля. Як полімери у методі використовують гомополімери, співполімери або блок-співполімери (епокси-смоли, поліакрилати, полігідроксиалканоати, поліікспрени, полівінілацетати, полівінілпіролідон, SBR, стірен-акрил співполімери і стірен-бутадієн співполімери). Також застосовують щонайменше, одне мінеральне добриво і MNa або дазамет. Спосіб придатний для органічного рослинництва.

Новим є використання бактерій і грибів, які виділяють леткі біоциди. Так, Fiddaman, Rossal (1993,1994) виявили інгібуючу дію летких сполук *Bacillus subtilis* на фітопатогенні гриби – *Alternaria brassicicola*, *Rhizoctonia solani* (штами, ізольовані із олійного ріпаку та бавовнику), *Botrytis cinerea*, *Pythium ultimum*, *Fusarium solani*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Leptosphaeria maculans*, а Sharga (1999, 2002) – на широке коло бактерій, дріжджів і міцеліальних грибів. Gabler Mlikota F. із співробітниками (2006) досліджували контроль сірої гнилі *B. cinerea* на безкісточковому винограді Thompson на зберіганні леткими сполуками зернової формуляції гриба *Muscodor albus*, які мають широкий спектр летальної дії на мікроби. Коли біофумігація починалася у межах 24 год з часу інокуляції *B. cinerea* вищі дози *M. albus* ( $\geq 50$  г зерен із *M. albus* на кг винограду при 20°C або 100 г/кг при 5°C) зупиняли інфекцію і контроль зберігався після видалення *M. albus*. Біофумігація була кращою при 20, ніж при 5°C. Серед інокульованих кластерів ягід всередині коробів, інкубованих 7 днів при 15°C, поява сірої гнилі знижувалася із 20,2% серед необробленого винограду до 1%, коли давали  $\geq 5$  г формуляції на кг винограду. Серед кластерів ягід у вентильованих поліетиленових пакетах інкубованих 7 днів при 15°C, поява сірої гнилі склала 40,5% для необроблених біофумігантом фруктів і 11,1 або 6,7%, коли давали формуляції 5 або 20 г/кг, відповідно. У таких же пакунках серед ягід винограду, інкубованих 28 днів при 0,5°C, поява сірої гнилі була 42,8% серед необроблених фруктів і 4,8 або 4,0%, коли давали препарату 5 або 10 г/кг винограду, відповідно. Нижчі дози ( $\leq 20$  г/кг) пригнічували патоген у присутності *M. albus*, але після його видалення *B. cinerea* відновлював ріст із поширенням симптомів сірої гнилі. Отже, додавання *M. albus* всередину упаковок із виноградом значно пригнічує гниль і може бути корисним підходом для запобігання гнилі столового винограду на зберіганні.

Фірма „Agraquest of Davis”, Каліфорнія, США реалізує продукт „Arabesque” на основі гриба *M. albus* як біофумігант проти нематод.

Ці приклади поширюють поняття біофумігації на використання мікробів і їхніх токсичних сполук для контролю шкідливих організмів.

### Ефект біофумігації проти бур'янів

Використанню біофумігації методом інкорпорації у ґрунт або спільного вирощування із культурами-фумігантами для боротьби із бур'янами присвячено роботи Aronte et al. (1992), Pandey (1994 a, b), Edwards et al. (1994), Cloutier et al. (1994), Hintzsche, Pallutt (1995), Mathew, Alexander (1995) та інші.

Так, Kim Kilung і Park Kwangho (1997) пишуть, що алелопатичні взаємодії рослин можна використати проти бур'янів у вирощуванні багатьох культур, зокрема такої важливої культури, як кукурудза. Посіви дикої *Brassica nigra* пригнічують однорічні трави (Bell, Muller 1973).

Choesin та Voerner (1991) вивчали виділення аліл-ІТЦу після гідролізу аліл-ГЛТу із коріння *V. napus*. Вони дослідили, скільки його виділяється, час його напів-життя у ґрунті, та концентрації, які необхідні для впливу на ріст сусідніх рослин. Мутант *V. napus* із низьким рівнем продукції ГЛТів було використано для порівняння. Спостерігали варіювання концентрації аліл-ІТЦу довкола коріння. Очевидно, що це можливо тому, бо невеликі кількості алілІТЦів продукуються конститутивно, а більші – за певних умов. Більша частина аліл-ІТЦу, доданого у ґрунт, швидко вивітрюється. Люцерна (*Medicago sativa*), нечутлива до аліл-ІТЦу у концентрації від 20 до 195 г/кг. Не було різниці у кількості біомаси та врожайності рослин *M. sativa* при рості у присутності дикої *V. napus* чи мутанту *V. napus*. Тобто, необхідний синтез достатньої кількості ГЛТів для алелопатичної взаємодії. Можливо, що люцерна відносно стійка до ІТЦів.

Дослідники у Швеції показали, що мука із насіння *S. alba* пригнічує проростання бур'янів (Ascard, Jonasson 1991). Brown, Morra (2005) виявили пригнічення проростання *L. sativa* леткими сполуками, що виділяються із обезжиреної муки насіння *V. napus*. Ними є нітрили та ІТЦи – продукти гідролізу ГЛТів з домінуванням ІТЦів при додаванні ГЛТів у ґрунт. Вчені дослідили, що утворення речовин швидко припиняється. Отже, є лише певний проміжок часу для пригнічення насіння. І час є критичним фактором у застосуванні ГЛТів як гербіцидів.

Al-Katib et al. (1997), досліджуючи ефект пригнічення бур'янів з допомогою хрестоцвітих при вирощуванні зеленого гороху, виявили, що додавання біомаси *Brassica hirta* у дозі 20 г на 400 г ґрунту знижує проростання *Capsella bursa-pastoris*, *Kochnia scoparia* та *Sestaria viridis* на 97, 54 та 49 %, відповідно. Golra Krishnan et al. (1998) також показали можливість використання хрестоцвітих як зелених добрив для контролю бур'янів при вирощуванні іншої бобової культури-сої.

Boydston і Hang (1995) показали потенціал *B. napus* для контролю бур'янів при вирощуванні картоплі. При внесенні біомаси цих зелених добрив у дозі 20 г на 400 г ґрунту густина бур'янів зменшується на 73-85%. Eberlein et al. (1998) дослідив, що різні сорти *B. napus* при біофумігації мають різну ступінь пригнічення бур'янів.

Vialy et al. (1990) показали, що чорна (*B. nigra*) і коричнева (*B. juncea*) гірчиці алелопатично пригнічують інших рослин. Можливо, що різноманітні ІТЦи, які утворюються при розкладанні біомаси гірчиць, затримують проростання і ріст пшениці.

Sams et al. (2007) досліджували вплив муки із насіння на бур'яни, хвороби ґрунтового походження і врожай полуниць. В експерименті було 13 різних обробок у 5 повторностях: 1) необроблений ґрунт, 2) застосування 336 кг/га от 3) 673 кг/га фуміганту „Basamid”, 4) 560 кг/га, 5) 1121 кг/га, 6) 2242 кг/га, або 7) 4484 кг/га муки східної гірчиці (*B. juncea* L.), 8) 560 кг/га, 9) 1121 кг/га, або 10) 2242 кг/га мука із насіння *Thlaspi arvense* L., або 11) 560 кг/га, 12) 1121 кг/га, або 13) 2242 кг/га сухого зерна - відходів виробництва алкоголю. Всі добавки прикопували 18 вересня і негайно заливали водою із шаром на поверхні ґрунту 1,3 см. Кожна ділянка була 4,3 м довжиною і 1,5 м шириною. Підняті грядки, вкриті плівкою, було сформовано 10 жовтня. Через 2 дні на них висаджували по два ряди полуниць.

Бур'яни, що з'являлися до формування грядок, на площі 0,3×0,3 м фотографували на кожній ділянці 2 жовтня. На фотографіях визначали кількість бур'янів і класифікували їх за морфологією. Ділянки, оброблені 1121 кг/га муки з насіння *Thlaspi arvense* L. або відходами зерна із виробництва алкоголю, мали менше бур'янів, ніж у контролі. Обробка мукою не знижує у вказаних дозах кількість трав'янистих бур'янів, а лише широколистих.

Shuler et al. (2005) досліджували вплив зелених добрив – гірчиці для контролю бур'янів протягом двох сезонів вирощування квасолі 'Highstyle' на глинистих і піщанистих ґрунтах. Показали ефективність коричневої гірчиці *B. juncea* (L.) Czern. 'Southern Giant Curled' та суміші (під назвою 'Caliente 119 Blend') коричневої гірчиці *B. juncea* і білої гірчиці *S. alba* L. у контролі бур'янів. Пригнічення проростання бур'янів, характерних для ділянок із квасолею, було і у теплиці. Встановили зв'язок між вмістом ГЛТів у гірчиці і пригніченням бур'янів.

Одним із найбільш перспективних шляхів використання продуктів гідролізу ГЛТів є система мульчування ґрунту зеленими добривами на основі культур *Brassicaceae*, що синтезують ГЛТи. Petersen et al. (2001), оцінили використання кількох видів *Brassica* як зелених добрив. Вводили у ґрунт *Brassica rapa*, зимову редьку, далі зразки ґрунту забирали через 7, 15 і 28 днів для хімічного аналізу і тестів на проростання насіння. ІТЦи конвертували у відповідні аміни лужним гідролізом, щоб зменшити їх втрати під час екстракції. Їх визначали методом HPLC-DAD після дериватизації дабсилхлоридом. Твердофазну екстракцію використали для екстракції амінів із реакційного середовища до проведення HPLC. Ідентифікували 5 ІТЦів, що підтвердили методом HPLC-MS. Це були алал-, n-бутил-, 3-бутеніл, бензил- та 2-ФЕ ІТЦ.

ІТЦи були нестабільними у зразках ґрунту. Їх максимум (200 г/кг спостерігали через 7 днів. Коли ІТЦи добавляли у ґрунт, то 2-ФЕ ІТЦ зникав на 16 годину, а n-бутил ІТЦ – менше, як за 1 год. За вищої температури і вологого ґрунту ІТЦи зникали швидше, що підтверджує їх поведінку, описану Brown та Morra (1997). Не було ефекту на появу проростків, якщо порізану редьку залишали на поверхні ґрунту, але при інкорпорації тканин рослини у ґрунт, спостерігали пригнічення проростання рослин *Amaranthus hybridus*, *Matricaria inodora*, *Sonchus asper*. Найбільше пригнічувались рослини із малим насінням.

Ефект кожного ІТЦу на *A. hybridus* мав однакову відповідь на однакові дози, що вказує на однаковий механізм дії ІТЦів у цьому експерименті. Але була різниця у дії одного і того ж ІТЦу як газу і як рідини. Низькі концентрації ІТЦів затримували проростання, але не вбивали насіння. Це є важливим, бо, як пишуть автори, цей процес може індукувати вторинний спокій насіння, що сприяє переживанню несприятливого періоду (Petersen et al. 2001).

Сорт *V. napus* var. *napus* Dwarf Essex продукує значні кількості ГЛТів, тому Sipes B.S. і DeFrank J. (1999) обрали цю рослину для показу ефекту біофумігації для зменшення тиску нематод і бур'янів при вирощуванні ананасів. Як сидеральну культуру використали також *Crotalaria juncea*, яку висівали рядами або у розсип. Натиск бур'янів було значно зменшено на ділянках біофумігації із Dwarf Essex або *Crotalaria juncea*. Ефект на нематодипаразити був менш очевидним у польових умовах, хоч у теплиці біомаса Dwarf Essex зменшувала їх кількість, порівняно із контролем. Зростання сухої ваги бур'янів зменшувалося на 67% на ділянках із висівом *C. juncea* у розсип і на 24% - при висіві рядами.

Генетичні ресурси рослин із біофумігаційними властивостями є як серед культивуваних, так і диких *Brassicaceae*.

Для оцінки алелопатичного потенціалу ІТЦ *Rorippa indica* Yamane et al. (1992) використали метод неперервного збору виділень кореня, розроблений раніше Tang і Young (1982) для збору ексудатів кореня *R. indica*. *R. indica* – звичайний для Японії багаторічний бур'ян родини *Brassicaceae*. Нейтральна фракція ексудату пригнічувала проростання насіння. Цю фракцію далі розділили з допомогою хроматографії на 6 ІТЦів - інгібіторів росту: гірсутін, арабін, амелін і 3-метилсульфонілалкіл. Всі вони пригнічували видовження кореня та гіпокотиллю *Lactuca sativa*, салату, а 5 пригнічували появу кореня. Найбільш активний, 9-метилсульфінілоніл ІТЦ (арабін), пригнічував видовження гіпокотиллю *in vitro* більше, як на 30% при концентрації 0,1 мМ (Yamane et al. 1992).

Алелопатичний потенціал інших рослин також може бути використано для боротьби із бур'янами. Це підтверджують роботи ряду авторів. Так, Dusk et al. (1995) продемонстрували, що вирощування *Trifolium incarnatum* на зелене добриво може зменшити використання гербіцидів у польових умовах. Jacobs et al. (1994) показали нематодцидний, антифунгальний, протівірусний та протибактеріальний ефекти тіофену *Tagetes patula* і *T. erecta*. Abdel-Samie і El-Bially (1996) показали, що розвиток водорості *Azolla* у посівах рису в Єгипті має супресивний ефект на розвиток бур'янів. Mathew та Alexander (1995) у

Індії дослідили позитивний вплив інтеркропінгу із культурами на зелені добрива на забур'янення і врожайність напівсухопутного рису. Álvarez et al. (1996) утилізували бобові, зокрема *Cannavalia ensiformis*, для контролю бур'янів та бактерій *Xantomonas* на Кубі. Li Shanlin et al. (1997) досліджуючи гербіцидні ефекти екстрактів рослин пшениці на *Imperata cylindrica* виявили наявність у екстрактах різноманітних інгібуючих сполук, у тому числі, етилового спирту. Dhanapal et al. (1998) утилізував екстракт та олію рицини *Ricinus communis* для контролю бур'янів *Orobancha* після появи їх проростків.

Vaughn S.F. et al. (2005) оцінювали біофумігаційний потенціал обезжиреної муки із насіння 15 видів рослин, які містять ГЛТ за ефектом пригнічення проростання *Triticum aestivum* L. та *Senna obtusifolia* L. До піщанистого ґрунту додавали муку у кількості 0,1, 0,5 та 1,0 % (w/w). Продукти гідролізу муки були більш токсичними для пшениці, для якої 9 видів муки у кількості 1% у ґрунті повністю пригнічували проростання. Та лише мука із насіння гірчиці (*B. juncea* L.) пригнічувала її проростання за концентрації 0,1%.

Основним продуктом гідролізу муки з насіння були: аліл-ІТЦ - із муки гірчиці, еруцин (4-метилтіобутил ІТЦ) - із муки аругули *Eruca vesicaria* (L.) subsp. *sativa* (Mill.), чеаролін (3-метилсульфонілпропіл ізотіоціанат) - із *Erysimum xallionii* (L.), *Erysimum cheiri* (L.), 3-бутеніл-ІТЦ та лескверелін (6-метилтіогексил ізотіоціанат)- із *Lobularia maritima* (L.), та сульфорафен (4-метилсульфоніл-3-бутеніл ізотіоціанат) із *Matthiola longipetala* (Vent.).

### Контроль збудників хвороб рослин

Як і у боротьбі із бур'янами, для контролю хвороб рослин найбільше використовують рослини-біофуміганти із родини *Brassicaceae*. Коріння більшості видів *Brassica* містить найбільше 2-ФЕ ГЛТу, який є сильно токсичним для грибів - патогенів злаків *in vitro* (Sarwar et al., 1998).

У ротаційних олійних культурах *Brassica*, зокрема, у канолі (*B. napus*) або індійській гірчиці (*B. juncea*), намагаються одержати зріле насіння. Маса стебел, яка є, в основному, зрілою містить малу кількість ГЛТів (Kirkegaard et al., 1996). За цих умов, коріння буде основним джерелом ГЛТів, як у культурі, так і за інкорпорації у ґрунт після збору врожаю насіння на олію. Тому такі рослини *Brassica* є чудовими для сівозміни при вирощуванні зернових (Angus et al., 1991). Кормові культури *Brassica* можуть забезпечувати у системах вирощування зернових біофумігацію після вирощування трав або у ротації із озимими пшеницями. Вони дають кращі перспективи при їх застосуванні як фуміганти і зелене добриво у системах, які включають випасання худоби.

Помічено, що після канолі та індійської гірчиці як зелених добрив, пшениці ростуть краще і менше ушкоджуються грибом *Gaeumannomyces graminis*. Встановлено, що біоактивні сполуки, які пригнічують цього збудника - це різноманітні ІТЦи. При біофумігації утворюється варіація із 20 чи більше варіантів ІТЦів. Окремі із них були у більш як 50 разів токсичнішими, ніж метил ІТЦ, який утворюється із комерційного пестициду метам Na (Kirkegaard, Matthiessen 1994). Kirkegaard et al. (1993 a, b), Angus et al. (1994), Kirkegaard et



al. (1994) показали, що леткі сполуки – ІТЦ, які утворюються при розкладанні хрестоцвітих, пригнічують *G. graminis*. У лабораторії і полі показано, що ротаційні культури *Brassica* знижують рівень інокулюму цього патогенного для зернових гриба. Зростання рівня 2-ФЕ ГЛТу у корінні *Brassica* дає більше пригнічення *G. graminis*.

Методом інкорпорації у ґрунт *B. napus* та *B. juncea* добивалися значного пригнічення грибних захворювань злаків (Angus et al. 1991, Kirkegaard et al. 1996, Sarwar, Kirkegaard 1998, Sarwar et al. 1998). Введенням залишків рослин *B. napus* і *B. juncea* добивалися контролю патогенних для злаків грибів (Angus et al. 1991). Sarwar et al. (1998) досліджували ефект біофумігації з допомогою *Brassicaceae* проти п'яти патогенів зернових: *G. graminis* var. *tritici*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium graminearum*, *Bipolaris sorokiniana* та *Pythium irregulare*. Найбільш чутливим до біофумігації грибом (тобто до ІТЦів), виявився *G. graminis*, менш чутливими *Rhizoctonia* і *Fusarium* і найменш чутливими - *Bipolaris* і *Pythium*. Подібну чутливість спостерігали і Lazzeri та Manici (2000).

Симптоми інфекції *G. graminis* легко виявляти на корінні (Sarwar et al., 1998). Цікаво, що сухі рештки *Brassica*, що залишаються у полі після збору вирощених рослин, мають низький вміст ГЛТів, (менше 1  $\mu$ моль/г) і приорювання аж до 4 т/га цих залишків не мало ефекту на суворість інфекції *G. graminis* у наступній культурі пшениці.

Kirkegaard et al. (1998) дослідили біофумігаційний потенціал рослин *Brassica* у системі продукції зернових на основі профілів ГЛТів у корінні і за рівнем пригнічення *G. graminis* корінням *Brassica* у ґрунті. Результати показали, що коріння канולי містить, в основному, ароматичні ГЛТи, а із 2-ФЕ ГЛТу під час гідролізу утворюється 2-ФЕ-ІТЦ, що є дуже токсичним для *G. graminis*. Рівень 2-ФЕ ГЛТу серед австралійських сортів цієї культури відрізнявся у 6 разів. У експериментах у контейнерах і полі залишки коріння *Brassica* пригнічували гриба більше, ніж залишки коріння льону. Пригнічення зростало за більшого вмісту ГЛТів у підземній частині рослини. Тому є можливість відбору рослин із вищим біофумігаційним потенціалом проти фітопатогенних мікробів у ґрунті пшеничного поясу Австралії. Високий рівень ГЛТів у озимих кормових хрестоцвітих вказує на перспективність цих рослин як біофумігантів при вирощуванні озимої пшениці.

Результати розкрили потенціал *Brassica* у пригніченні патогенних грибів. Але рівень пригнічення хвороби, збудником якої є *G. graminis*, у наступній культурі – пшениці - залежить від рівня виживання інокулюму гриба у ґрунті. За правильної сівозміни, цей інокулюм зменшується до низького рівня. Гриб виживає на злакових бур'янах або за сухих умов.

Озимі кормові *Brassica* акумулюють високі концентрації ГЛТів, зниження їх рівня через цвітіння відсутнє (Potter et al. 1998). Посилене пригнічення *G. graminis* цими культурами може зменшити потребу видалення господарів гриба - злакових бур'янів із площ, зайнятих кормовими травами, на ранній стадії, а *Brassica* забезпечать високу якість корму влітку. Леткі сполуки із тканин *B. napus* і коріння *B. juncea* пригнічують *G. graminis* (Angus et al. 1994).

Sams et al. (2007) використали у біофумігації залишки *Brassica* для контролю *B. cinerea*. Chan, Close (1987) виявили пригнічення *Aphanomyces* після введення у ґрунт хрестоцвітих.

Рівень пригнічення грибів корелює із рівнем ІТЦів у корінні *Brassica*. Біофумігаційний потенціал коріння *Brassica* у ґрунті залежить від рівня ГЛТів у тканині. Основним ГЛТом тут є 2-ФЕ, прекурсор 2 ФЕ ІТЦ, який, як було показано, є найбільш токсичним для грибів-патогенів у ґрунті (Drobnica et al., 1967).

Брокколи, хоч вона містить мало ГЛТів, також використовують у дослідженнях з біофумігації (Ramirez-Villapudua, Munnecke 1988, Xiao et al. 1998). Внесення у ґрунт перед посадкою салату залишків брокколи знижує випадання салату від фітопатогенного гриба *Sclerotinia minor*.

Спостерігали також значне зниження шкодочинності *Verticillium* у посадках картоплі, коли її вирощували після озимих *Brassica* (Bryant 2007).

Дисульфід вуглецю, диметил-дисульфід, диметил-сульфід і метантиол домінують за інкубації при 20°C ґрунту з добавкою 0.6% за вагою сухої маси *B. juncea*. Ці сполуки активні проти широкого кола організмів і вносять вклад у токсичність тканин *Brassicaceae* (Bending, Lincoln 1999).

Ефективність біофумігації із використанням як зелених добрив білої індійської гірчиці та гірчиці Петерсена сорту Maxi (SCIRO Plant Industry) показана у польових дослідженнях, які провів у Австралії др. D.Nehl (NSW Agriculture, Narrabri). Ним було досягнуто зниження суворості чорної гнилі кореня бавовнику на 56%, порівняно із контролем. Збудник хвороби – гриб *Thielaviopsis basicola* – викликає також чорну гниль моркви на зберіганні та пошкоджує салат у полі (Kirkegaard 1999).

Manici L. (2000) у дослідженнях активності продуктів гідролізу ГЛТів проти фітопатогенних грибів – *P. irregulare* і *R. solani* - показали, що їхні тіофункціоналізовані і алкеніл-форми є більш токсичними. Гриби *Phytophthora* spp., *Pythium* spp. *Rhizoctonia* sp., *Sclerotium rolfsii* були більш чутливими до таких речовин, ніж *Fusarium* spp., *V. dahliae*, *Trichoderma* spp. Ефективність пригнічення *Pythium* у ґрунті, удобреному *B. juncea*, була близькою до ефективності пригнічення *Sclerotium rolfsii*. При цьому зростали мікробна активність ґрунту, загальне число бактерій у ньому.

Алелопатичну дію проти видів *Pythium* у ґрунті мали також ГЛТи двох рослин родини *Brassicaceae* та однієї *Capparidaceae* при їх застосуванні як зелене добриво в експериментах Lazzeri і Manici (2001).

Lazzeri L. (2007) повідомляє про відбір рослин (*Rapistrum rugosum* ISCI18), *B. juncea* ISCI20, ISCI99 і ISCI61, *Eruca sativa* сорту Nemat) із високим вмістом ГЛТів, які продемонстрували добрий біофумігаційний контроль грибів (*Pythium* spp. і *Sclerotinia minor*) або нематоцидну активність до *Heterodera schachtii* - цистої нематоди цукрового буряка і до *Meloidogyne incognita* – нематоди, яка утворює вузлики на корінні. Дослідник пише, що висушені гранули із маси окремих рослин зберігають значну кількість ГЛТів та мірозіназ і можуть бути використані замість або у додаток до зелених добрив. За поливу у ґрунті гранули можуть утворити достатню кількість біоцидних сполук.

*Pseudomonas solanacearum* – збудник бактеріального вілту рослин – поширюється через ґрунт і викликає захворювання рослин понад 35 родин. Особливо шкодить для тютюну, томатів, картоплі, бананів і арахісу. Akiew S. і Trevorrow P. (Queensland Department of Primary Industries, Mareeba) досліджували ефект органічних добавок у ґрунт на прояв цієї хвороби (Kirkegaard 1995). Рослини *Brassica* і тютюну подрібнювали і змішували із ґрунтом, який містив *Ps. solanacearum* (107 бактерій/г). Виживання бактерії знижувалося за добавок у ґрунт гірчиці або каноли. Види *B. juncea*, *B. nigra*, *B. rapa* знижували кількість бактерії до такого рівня, що її було неможливо виявити, а *B. napus* зменшувала популяцію до 40% тієї, що була у контролі. Рослини томатів гинули від вілту у теплиці протягом 2 тижнів. За добавок гірчиці чи каноли виживання рослин було 100 і 53%, а у полі – 59 і 28%, відповідно. Akiew et al. (1996) показали можливість контролю бактеріального вілту шляхом інкорпорації у ґрунт гірчиці як зеленого добрива. Ці вчені показали зниження вілту на помідорах, якщо їх вирощували на ґрунті, у якому попередньо проводили біофумігацію біомасою гірчиці та залишків тютюну.

У Австралії біофумігацію використовують для очищення заражених площ, використовуючи гірчиці як зелені добрива проти бактеріального вілту, а також для контролю нематод на бананах та папаї (Kirkegaard et al. 2006).

Davis et al. 1996 показали ефективність зелених добрив проти вілту картоплі (збудник-гриб *Verticillium*).

Біофуміганти *B. juncea*, *B. napus* пригнічували *in vitro* ріст, споруляцію та інфективну здатність *Phytophthora cinnamomi* Rands – збудника, що викликає повсюдно загибель культивованих квітів *Proteaceae* (родів *Protea*, *Leucadendron*, *Leucospermum*, *Serruria*), а також знижували їх захворюваність у теплиці. *B. juncea* сильніше пригнічувала цей патоген, ніж *B. napus*. Біофумігація з використанням у полі *B. juncea* була більш ефективною, ніж соляризація ґрунту, але менш ефективною, ніж MNa (Dunne 2004).

Показано ефективність біофумігації проти *Str. scabies* на картоплі у Південній Африці (Gouws 2007).

Ефект біофумігації на фітопатогенні мікроби показано і при використанні біомаси рослин, що не належать до *Brassicaceae*. Так, Elena et al. (1999) вносили у ґрунт залишки *Lolium perenne* і *Triticum vulgare* для контролю *Fusarium proliferatum* та *F. oxysporum* f. sp. *asparagi* у Греції і звернули увагу на вплив феномену анаеробіозу на виживання гриба. Candole, Rothrock (1997) виявили пригнічення фітопатогенного гриба *Thielaviopsis basicola* після внесення у ґрунт біомаси бобів *Vicia villosa*. Зниження суворості чорної гнилі кореня австралійського бавовнику на близько 60%. Otara і Ndalut (1999) показали ефективність *in vitro* екстрактів *Conyza floribunda* (*Asteraceae*) для контролю *F. oxysporum*. Paravizas і Davey (1960) спостерігали пригнічення *Rhizoctonia solani* на бобах у результаті розкладу у ґрунті зелених частин рослин, зокрема, таких, як кукурудза, овес. Oliveira et al. (1996) показали зменшення під впливом біофумігації з використанням біомаси *Proteaceae* виникнення хвороб, що їх викликають у *Cannavalia ensiformis* гриби *Macrophomina phaseolina*, *Colletotrichum gloeosporioides* і *Sclerotium rolfsii*. Рослини сорго (*Sorghum bicolor*

та *S. sudanense*) при їх використанні у біофумігації вивільняють токсичні для шкідливих організмів ІТЦи, ціанідсполуки (Brown у Morra 1997).

Одержали сухий рослинний матеріал у вигляді гранул у лабораторних умовах (Lazzeri et al. 2002). Втрати ГЛТів у процесі сушки вдалося знизити до рівня < 40%. Зменшити ще втрати можна використанням більш вдосконаленого промислового обладнання. Тканини рослин *Cleome hassleriana*, висушені таким чином у лабораторії, при додаванні води пригнічували *in vitro* *Pythium* ssp. і *R. solani*, як і додавання очищених ГЛТів і мірозинази (Lazzeri et al. 2004).

Daugovish, Downer (2006) досліджували ефект біофумігації (мульчування п'ятьма культурами і поливу) на склероції *Sclerotinia minor* – збудника випадання салату, на насіння 5 бур'янів і врожай салату. Сидеральними культурами в експерименті були жовта гірчиця *Ida Gold*, східна гірчиця *Pacific Gold*, насіння ріпаку *BQ mulch™*, кінські боби, тритикале. Склероції залишалися життєздатними 14 днів при їх введенні вглиб ґрунту на 15 см після біофумігації кожною із культур. Поява хвороби у салаті знизилася на 68 - 91% у 2002 р. після біофумігації жовтою гірчицею, але не у 2006 р. Суворість хвороби зменшувалася на 25%, коли подвоювали кількість біомаси, незалежно від виду культури, яку вносили в ґрунт. Головки салату були на 15-75% більші після добавок жовтої гірчиці, ніж за внесення кінських бобів. Це може бути пов'язано із присутністю бензил - ГЛТу у надземній частині та 4-метилтіобутил- і 4-гідроксибензил- ГЛТів у корінні сорту гірчиці *IdaGold* і їх відсутністю у інших культур.

ІТЦи вбивають різні організми. Змішування ІТЦів із білком яйця „варить” його. Але різні організми мають різну стійкість до них. Важливим тут є товщина оболонки спор, стадія розвитку шкідливого організму. Дія ІТЦів обмежується, в основному, зоною довкола кореня, чи іншої частини рослини, з якої вони вивільняються. Патогени кореня мають тенденцію скопичуватись довкола введеного у ґрунт рослинного матеріалу. Тому у цих ділянках основна маса вбитих мікробів фітопатогенні. Корисні організми, такі як мікоризні гриби, ризобії, як правило, не приваблюються до решток рослин *Brassica* і гинуть менше. Однак, потрібна обережність, коли вирощують культури, залежні від мікориз та бульбочкових бактерій, наприклад, після каноли у рік сприятливий для накопичення у ній ГЛТів (Potter 2007).

Виникнення форм патогенних мікробів із стійкістю до ІТЦів є малоімовірним, бо ІТЦи викликають хімічний опік клітин. Стійкість до хімікатів розвивається, коли вони діють на дуже специфічні мішені у фізіологічних шляхах. Ці шляхи мікроб може змінити, щоб уникнути токсичного ефекту. А ІТЦ просто спалюють клітини. Важко розвинути стійкість до кислоти (Potter 2007).

Покращити ефект майбутньої біофумігації людина може за рахунок кращого живлення рослин-фумигантів, особливо, задовольняючи потреби рослин у сірці. Утворення ГЛТів не є необхідним для росту і розвитку рослин, тому вони будуть утворюватися, коли всі інші потреби рослини задовольняються (Potter 2007). Але зв'язок кількісного та якісного вмісту ГЛТів

із життєвим циклом рослин досліджений мало (Bellostas et al. 2004) і потребує дальшого вивчення.

Brown J., Morra M.J. (2005) керують роботами із дослідження біофумігаційних властивостей муки із насіння рослин в Університеті Ідаго, Москва, Ідаго, США. Вони виявили, що мука із насіння із вмістом ГЛТів більше 200  $\mu\text{моль/г}$  тканини найкраще контролює різні шкідливі для рослин організми. Ціллю є вивільнення понад 100  $\text{нмоль}$  ІТЦів на 1 г ґрунту, щоб наблизитись до кількості ІТЦів, що утворюється із синтетичних пестицидів. Це було за умови, що ефективність виділення ІТЦів із тканин складає не менше 20%.

Ефективність виділення можна посилити шляхом спеціальної фізичної обробки муки та додаванням ад'ювантів. Загальну кількість ІТЦів та ефективність виділення необхідно визначити для муки, яку планують застосовувати, щоб переконатися, що буде виділятися кількість ІТЦів більша, ніж 100  $\text{нмоль/г}$  ґрунту. Муку необхідно випробувати на токсичність для шкідливого організму, проти якого борються, та для культури, яку вирощуватимуть.

Фітопатогені гриби з допомогою муки із насіння, можливо, найважче контролювати, бо додатковий вуглець і азот, що вноситься у муці може сприяти їхньому розвитку. Комахи, нематоди та бур'яни контролювати таким чином легше і слід очікувати комерціалізацію нових продуктів для захисту рослин з прийнятною ефективністю на основі муки.

Різні ІТЦи мають різну токсичність для шкідливих організмів, різну сорпцію та реакцію із колоїдами ґрунту. Випробування повинні проводитися як на середовищах без ґрунту, так і у ґрунті, в польових умовах. Прогнозування пестицидної активності ІТЦів повинно бути виконано так, як для синтетичних фунгіцидів через визначення часу напівжиття, констант Henry, коефіцієнтів розділення органічного вуглецю. Ці показники варіюють у різних ІТЦів і пестицидна активність і активність пестициду може бути оптимізована підбором ІТЦів із найбільшою ефективністю.

### **Контроль паразитичних нематод і шкідливих комах**

Серед перших робіт, що пишуть про активність ІТЦів проти комах, дротяників, сімфілід та нематод є публікація Beekhuis (1975)., Особливо ароматичні ІТЦи демонструють інсектицидну активність (Åhman 1986).

Kirkegaard J. і Sarwar M. (1998) виявили, що коріння різних видів *Brassica* містить, в основному, ароматичний 2-ФЕ-ГЛТ. Із цієї сполуки виділяється у ґрунті 2ФЕ -ІТЦ, який є дуже токсичним для фітопатогенних грибів у лабораторних тестах, як і кілька інших ІТЦів, що їх містять різні *Brassica* (Potter et al., 1998). Пізніше виявили, що 2-ФЕ-ІТЦ токсичний і для комах-шкідників. Встановили також, що 2-ФЕ ІТЦ, який утворюється у результаті гідролізу 2-ФЕ ГЛТу коріння канולי пригнічує нематоду *Pratylenchus* (Potter et al., 1998).

*B. napus* знижує чисельність популяції личинок чорного виноградного довгоносика (*Coleoptera, Curculionidae*) (Borek et al. 1997) і *Limonius californicus* (*Coleoptera, Elateridae*) (Elberson et al. 1996).

Matthiessen, Kirkegaard (1993) показали можливість контролю довгоносика *Graphognathus* spp. із допомогою біофумігації. Ефективність пригнічення залежала від кількості ІТЦ, які утворювалися під час розкладу рослинних решток у ґрунті. Elberson et al. (1996), Borek et al. (1997) та Noble, Sams (1999, 2000) виявили можливість контролю личинок різних видів комах-шкідників методом біофумігації через інкорпорацію у ґрунт від 4 до 8% біомаси *B. juncea*. Такі концентрації рослинного матеріалу у ґрунті є найбільш ефективними.

Коріння кормового ріпаку є більш токсичним для комах-шкідників, бо містить 2-ФЕ ГЛТ, а стебла і листя менш токсичні, бо містять довголанцюгові аліфатичні ГЛТи. А у гірчиці токсичнішою є надземна частина, яка містить коротколанцюговий профеніл-ГЛТ, який за токсичністю майже такий, як і 2-ФЕ ГЛТ (Kirkegaard, Sarwar 1998).

Інші продукти гідролізу ГЛТів мають інсектицидні властивості також. Органічні тіоціанати використали у інсектицидах для контролю довгоносиків у зерні та для швидкого нокауту комах, які літають, таких, як мухи. Ці сполуки мають незначний вплив на ссавців (Beekhuis 1975).

Культури комах-спеціалістів приваблюються ГЛТами рослин, використовуючи їх, як вказівку для живлення. Вони також здатні вилучати ГЛТ у гемолімфу, що можливо, забезпечує їм захист від хижаків, які живляться ними (Müller et al. 2001).

Bartlet et al. (1994) показали вплив ГЛТів і цукрів на живлення капустяного жука *Psylliodes chrysocephala*. Li et al. (2000) досліджували поведінку живлення, пошкодження та ріст личинок двох комах на 14 гомозиготних лініях *B. juncea*, які мають різні рівні активності мірозинази та вмісту ГЛТів. *Plutella xylostella*, яка спеціалізується на цих рослинах (спеціаліст) зменшувала живлення і пошкодження рослин, коли активність мірозинази була високою, але живлення генераліста *Spodoptera eridania* не залежало від мірозиназної активності. Але живлення *S. eridania* зменшувалося за високого вмісту у рослинах ГЛТ. Мірозиназна активність, таким чином, має значення у захисті рослини від спеціаліста. Мірозиназна активність була менш важливою у захисті проти комахи-генераліста, бо вона є чутливим до звичайних рівнів ГЛТ у рослині (Li et al. 2000).

Ulmer et al. (2001) також вивчали ефект ГЛТів на харчування комах. Порівнювали 5 видів *Brassicaceae*. Порівнювали лінії із високим і низьким вмістом ГЛТів для тих видів, у яких вони були. Виявили вибіркоче живлення *Mamestra configurata* на стадії личинки. Лінії *B. napus* із високими рівнями сінігрину використовувались личинками менше. У лініях *Sinapsus alba* були відмінності за рівнями сіналбіну. Ці два ГЛТи були найважливішими репелентами, бо примушували комах відмовлятися від поїдання тканин рослин. Однак, у *Brassica carinata* високий рівень сінігрину, але не сіналбіну і це не зменшує живлення, порівняно із контролем (Li et al. 2000).

Серед нематод, за даними Halbrend, Jing (1994), високу чутливість до ІТЦів має *Xiphinema americanum*. У протибактеріальному захисті еліситори *Erwnia carotovora* включають продукцію специфічних ГЛТів опосередковано. Шлях передачі сигналу - через жасмонікову кислоту. Шляхи етилену та саліцилової кислоти мають малий ефект. Гідроліз мірозіназою ГЛТу вивільняє 3-індолілметил ІТЦ, який пригнічує ріст *E. carotovora*. Але грають роль і синергічні ефекти, бо розведені екстракти пригнічують бактеріальний ріст навіть доді, коли рівень ІТЦу менший за їхні значення  $IC_{50}$  (Brader et al. 2001). Це можна використати для захисту овочів від м'яких гнилей, що їх викликає *E. carotovora*.

Rodríguez, Vargas-Ayala (1999) використали *Mucuna deeringiana* для контролю нематод *Meloidogyne*, *Pratylenchus* і *Radopholus* у Пуерто Ріко.

Bello et al. (1997) показали можливість використання біофумігації для контролю нематод у порівняльному дослідженні із бромурометилем при вирощуванні фруктів пімента. Bello et al. (1999a) виявили ефективність біофумігації для контролю нематод в Уругваї та Гватемалі. Зокрема Bello et al. (1999) показали ефективність біофумігації проти нематод *Meloidogyne incognita* та *Rotylenchulus reniformis* у Гватемалі. За результатами досліджень, біофумігація та соляризація можуть бути ефективними для боротьби із нематодами сільгоспкультур (Bello et al. 2000 a, 2000 b).

Lazzeri L. (1993, 2000) запропонував використати *Eruca sativa* сорту Nemat як культуру для боротьби із нематою *Heterodera schachtii*, що пошкоджує цукровий буряк. Сорт продукує тіо- та алкеніл- ГЛТи, активні проти фітопатогенних грибів у ґрунті. Автор також пропонує як біоцидне зелене добриво культуру *B. juncea* сел. ISCI 20, яка продукує значну зелену масу - понад 100 т/га із вмістом аліл-ГЛТ – сінігрину – близько 20  $\mu$ моль/г сухої маси. При застосуванні цього сорту для системи вирощування полуниць, врожайність ягід на ділянці із внесенням як зеленого добрива *B. juncea* сел. ISCI 20 суттєво не відрізнялася від врожайності із застосуванням забороненого фумиганту МБу і була вищою, ніж на ділянках із використанням як зеленого добрива ячменю або у контролі без таких обробок.

Д-р John Kirkegaard (Австралія) керує дослідженнями біофумігаційних властивостей хрестоцвітих як ротаційних культур, культур-компаньонів або як зелених добрив з метою контролю двох важливих патогенів овочів у тропіках (Австралія та Філіппіни) – бактеріального вілту (*Ralstonia solanacearum*) та нематод *Meloidogyne* spp. (Проект SMCN/2000/114: Evaluating biofumigation for soil-borne disease management in tropical vegetable production). Вчені дослідили рослини різних сортів і видів *Brassica*, визначили біологічно активні сполуки, вміст цих біоцидів у різних частинах рослин, оптимальні умови для їх виділення у ґрунті та залежність біофумігаційного ефекту від концентрації цих сполук у ґрунті. Кращі у цьому відношенні рослини було випробувано у польових умовах на придатність для інтегрованого контролю шкідливих організмів, який включає стратегії використання стійкості/толерантності до хвороб, ротацію рослинами, що не є господарями шкідливих організмів та соляризацію для знищення бур'янів і патогенів у ґрунті.

Біофумігація з використанням індійської гірчиці (*B. juncea*) як зеленого добрива ефективно пригнічує збудника вілту у ґрунті і значно зменшує суворість захворювання у наступній культурі – тютюні, картоплі. Врожай картоплі при цьому зростає від 0,3 до 22 т/га. Досягнення цього ефекту без попереднього цільового відбору сорту гірчиці, свідчить, що біофумігаційний ефект можна посилити вибором сортів чи культур із кращими біофумігаційними властивостями (Kirkegaard et al. 2006).

Тут встановлено, що пригнічення обох організмів можна досягти, використовуючи *Brassica* як зелені добрива, і це здійснюється за рахунок двох різних механізмів.

Перший механізм – це короткотермінове пригнічення протягом 2-3 днів за рахунок утворення ІТЦів. Для збільшення виходу ІТЦів та часу їхнього перебування у ґрунті застосували підходи: 1) використали тканини рослин, які виділяють високі концентрації ІТЦів (наприклад, гірчицю), 2) внесення 5 кг/м<sup>2</sup> (5% за вагою) свіжих тканин у ґрунт, 3) адекватна мацерація тканин до клітинного рівня для виділення ІТЦів, 4) достатня кількість води для гідролізу ГЛТів 5) надійне і повне рівномірне перемішування тканин із ґрунтом, 6) полив або вкривання ґрунту для збереження летких ІТЦів у ґрунті, 7) застосування методу на легких ґрунтах із низьким вмістом органіки для зменшення інактивації ІТЦів. Метод адаптований для механізації і був дуже ефективним на ґрунтах легкої структури на півночі Квінсленд. Польові експерименти у Мерібе 2003-го та 2005-го рр. показали, що гірчиця як зелене добриво знижувала захворюваність на вілт із 80 до 15%, із 10-кратним зростанням урожаю (від 2,5 до 20 т/га). На важких глинистих ґрунтах із більшою кількістю органіки було менше доказів пригнічення з допомогою ІТЦів і було важче виконати зазначені вище підходи (1- 7).

Інший механізм - пригнічення нематод та збудника вілту триває протягом 3 – 4 тижнів, він пов'язаний із дією на ці шкідливі організми введених у ґрунт органічних добавок. Цей механізм спостерігали на ґрунтах із високим вмістом глини і органіки і він не потребує суворого виконання пунктів 1-7. Зниження прояву бактеріального вілту картоплі спостерігали на Філіппінах із 49 до 17%, а зростання врожаю із 9,1 до 18 т/га у восьми експериментах на фермах. Незалежно від типу зеленого добрива спостерігали пригнічення кількості нематод (на 50 - 80%).

Культури-біофуміганти не повинні бути господарями шкідливих організмів. Хрестоцвіті є помірними господарями нематод *Meloidogyne* spp., які забезпечують можливість зростання їх популяцій. Редис (*R. sativus*) відносно стійкий до нематод. Він дешевий, має велике насіння, добре проростає і швидко росте. Його листя може бути використане для біофумігації. Види хрестоцвітих, як правило, не є господарями збудника бактеріального вілту (Kirkegaard et al. 2006).

Коренева нематода *Pratylenchus neglectus* розмножується на рослинах із низьким рівнем 2-РЕ. У поганий для продукції 2-РЕ рік (сезон) чисельність нематод зростає до рівня, близького до того, який є після вирощування сприйнятливої культури – пшениці. Але, зростання числа нематоди *P. thornei*



не спостерігається. Навіть у межах сорту канола має обмежену і варіабельну стійкість до нематою *Pratylenchus neglectus*. Тому завжди є рослини більш сприйнятливі до нематод, особливо, у несприятливий для синтезу ГЛТів рік. Тому вчені визначають їх рівень у рослинах і вилучають із селекції ті, що мають низький рівень ГЛТів. Поскільки рівень сильно варіює у сучасних сортах, то нові сорти із підвищеним вмістом ГЛТів створюють методами традиційної селекції (Potter 2007).

Для кількох нематод визначили токсичність окремих ІТЦів (Lazzeri et al. 1993, Buskov et al. 2002, Zasada, Ferris 2003). Зокрема, Zasada і Ferris (2003) визначили LC різних очищених ІТЦів для *Tylenchulus semipenetrans* і *M. javanica*. Відсутність пригнічення нематод або невідповідність між результатами досліджень різних авторів можна пояснити відмінністю у концентраціях ГЛТів у введених у ґрунт біомасі рослин (Johnson et al. 1992, Mojtahedi et al. 1991). Введення у ґрунт 1,3 – 2,7% за вагою свіжих тканин *B. napus* не впливає на щільність популяцій окремих нематод-паразитів рослин (Johnson et al. 1992). Але, при введенні сухих тканин окремих видів *Brassica* spp. 2% за вагою у ґрунт, спостерігали сильний нематодцидний ефект (Potter et al. 1998). Залежно від сорту, 7,8% від ваги у ґрунті свіжих тканин *B. napus* зменшували або не зменшували чисельність популяцій *Meloidogyne chitwoodi*, порівняно із варіантом, коли у ґрунт вводили тканини пшениці (Mojtahedi et al. 1991).

У Гватемалі Bello et al. (1999) показали ефективність біофумігації для контролю *M. incognita* та *Rotylenchulus reniformis*.

За даними досліджень Університету Каліфорнії, приорювання *Brassica* зменшує кількість бур'янів, нематод та *Fusarium* у наступних культурах. Внесення залишків *Brassica* у ґрунт значно пригнічує бур'яни, фітопатогенні мікроорганізми, знижує кількість нематод. Після внесення у ґрунт біомаса *Brassica* виділяє ГЛТи, які далі руйнуються з утворенням ІТЦів із фумигантними властивостями, які діють подібно до фумиганту „Vарам” (Bryant 2007).

Види нематод-монофагів, які утворюють цисти, можна успішно контролювати ротацією культур і використанням стійких сортів. Нематодиполіфаги, такі як *Meloidogyne* і *Pratylenchus* spp. потребують комплексних засобів контролю, бо стійких культур та сортів у них мало. Цистові нематодолігофаги буряка (*Heterodera* spp.) мають проміжне положення. Із метою створення культури стійкої до нематод, Zoon et al. (2007) дослідили можливості поєднання стійкості і ефекту біофумігації із іншими позитивними ефектами культур хрестоцвітих на зелені добрива. Було відібрано 20 диких і культивованих рослин *Brassicaceae* як можливий батьківський матеріал для їх випробування на стійкість до нематод *Meloidogyne hapla*, *M. chitwoodi*, *Pratylenchus penetrans* і *Heterodera schachtii*. Деякі із випробуваних рослин були повністю стійкими до окремих видів нематод, інші виявили варіацію у рівні стійкості до них, в залежності від рівня продукції і виду ГЛТу, активного проти нематод. Окремі рослини показали біофумігаційний ефект, прояв якого залежав від умов вегетаційного періоду.

Noble, Sams (2000) в експериментах показали, що високі концентрації мацерованих рослин *B. juncea* у ґрунті викликають загибель личинок *Cyloccephala* sp. . Додавання рослинного матеріалу у кількості 4 і 8% від ваги ґрунту складає летальні дози LC<sub>50</sub> і LC<sub>90</sub>, відповідно. Аналогічний ефект на шкідників мали дози 4,2 та 8,6 мкг/л алліл-ІТЦів.

Успішний контроль нематод, які паразитують на рослинах, потребує введення у ґрунт відповідних кількостей біомаси, що містить ГЛТи. Zasada, Ferris (2004) відібрали рослинний матеріал, який містить ГЛТи- прекурсори найбільш токсичних для нематод ІТЦів. Вносили його у ґрунт у відповідності із летальними для нематод концентраціями очищених ІТЦів, які вчені визначили раніше (Zasada, Ferris 2004) . Це давало надійну основу для підбору доз біомаси *B. juncea* для пригнічення *M. javanica* і *Tylenchulus semipenetrans* та *B. hirta* для пригнічення *M. javanica*. Достатня кількість *B. hirta* для утворення 0,03 – 0,12 ммоль/мл глюкотропеоліну пригнічувала виживання нематоди, на відміну від таких же кількостей брокколи (*B. oleraceae* var. *botrytis*). Рівень біомаси *B. hirta*, з якого вилучали 0,37 ммоль/мл глюкотропеоліну забезпечував 100% смертність *M. javanica*. Біомаса *B. juncea*, яка потенційно давала 2,82 ммоль/мл сінігрину знижувала виживання *M. javanica* на 65% більше, ніж така ж кількість брокколи.

Дози біомаси *B. juncea* для досягнення летального ефекту проти *T. semipenetrans* були меншими, ніж дози застосування ГЛТу для цього варіанту обробки. Застосування біомаси у кількості 2,9% від ваги ґрунту незалежно від концентрації ГЛТу у ній зменшує виживання *M. javanica*. Автори виявили значне (відтворюване в інших дослідках) пригнічення нематод у ґрунті тканинами культур із відомим вмістом ГЛТів.

Тому до застосування біофумігації, слід визначити вміст цих сполук у біомасі і розрахувати необхідну її кількість на одиницю площі. Можливо, доведеться додавати масу рослин із інших ділянок, щоб досягти ефекту на даній.

Nyczepir, Rodriguez-Kabana (2004) показали ефективність біофумігації з допомогою зернового сорго проти нематоди *Mesocriconema xenoplax*, яка асоційована із комплексом хвороби короткого життя персика. Сорго, як зелене добриво до посадки дерев із використанням плівки чи без неї, пригнічувало популяцію нематоди протягом 12 місяців, а попередня обробка ґрунту МБом - протягом 24 місяців.

Ці ж автори досліджували також ефект зернового сорго проти нематоди *Criconemoides xenoplax*, яка також асоційована із комплексом хвороби короткого життя персика (Nyczepir, Rodriguez-Kabana (2007). Сорго приорювали разом із добавкою сечовини до посадки персика без вкривання ґрунту плівкою або із таким вкриванням. Порівняно із контролем без фумігації, значне пригнічення кількості нематоди в ґрунті тривало протягом 19 місяців на ділянці із біофумігацією під плівкою і протягом 8 місяців – за біофумігації без плівки. Обробка ґрунту МБом забезпечувала пригнічення нематоди протягом 24 місяців.

Залишки огірків, перцю, томатів при біофумігації ефективні для контролю нематоди *M. incognita* (пошкоджує томати і перець), вдосконалюють фізичні і біологічні властивості ґрунту. Рекомендують 100 т/га, якщо є серйозні проблеми, із поступовим зменшенням до 45 т на 4-й рік. Високі дози можна зменшити додаванням зелених добрив. Фітотоксичних ефектів не спостерігали (Garcia Álvares et al. 2007).

Нематода *Rotylenchus reniformis* пошкоджує бавовник на більшості площ вирощування на південному сході США, може знизити врожайність бавовнику аж на 75%. Два сорти гірчиці - Pacific Gold (*Brassica juncea* L.) та Ida Gold (*S. alba* L.) і озиме жито *Secale cereale*, сорт Maton використали як покривні культури. Порівнювали стан бавовнику *Gossypium hirsutum*, швидкість його росту на ділянках без покривних культур (контроль) та із покривними культурами. Всі сидеральні культури значно знижували кількість нематоди, але найсильніше - гірчиця Ida Gold, хоч вона більше пошкоджувалася першим морозом, ніж інші рослини у експерименті (Sebert, Ward 2005).

Walker (1997, 1998) повідомляє, що введені у ґрунт залишки 9 сортів *Brassica* і бур'яну *B. tournefortii*, пригнічують популяції *Tylenchulus semipenetrans* у ґрунті в лабораторії. Сорт Humus rare мав найвищу активність (81% зменшення числа другої стадії самок при дозі 40 г/кг ґрунту) але і сорти ріпаку Rangі, Arran і Hobson та гібрид Simax були також ефективними при 80 г/кг. *T. semipenetrans* не виявляли у ґрунті із помолотими ліофільно висушеними залишками індійської гірчиці в дозі 10 г/кг і вищих. Добавки у ґрунт стебел і коріння бур'яну *B. tournefortii* самого або із залишками індійської гірчиці, збільшують популяцію *T. semipenetrans*, що є свідченням ризику збільшення кількості *T. semipenetrans* через низькоякісну біомасу зелених добрив або неактивних сортів *Brassica*. Добавка у ґрунт бур'яну *B. tournefortii* або малих доз індійської гірчиці знижує відношення самців (дорослих і личинок) до личинок самок. Вважають, що органіка у ґрунті має значний вплив на формування статі *T. semipenetrans*. Внесення у ґрунт залишків рослин *Brassica* сорту Ebony, Індійської гірчиці, ріпаку Rangі зменшують популяцію *T. semipenetrans* у ґрунті аж на 76%, порівняно із необробленим ґрунтом, а також на корінні апельсинів у ґрунті в контейнерах. Чисельність *Paratrichodorus lobatus* досягала високих рівнів у ґрунті контейнерів у контролі, але цю нематоду не виявляли у контейнерах, які містили ґрунт із добавками. Але популяція *Pythium* spp. була значно вищою у ґрунті із добавками. Добавки не впливали на ріст апельсинів, а користь від зменшення кількості нематод може нейтралізуватися зростанням інфекції *Pythium*.

У польових експериментах у 3 садах цитрусових, очищених для повторної посадки і у одному саду між трьома рядами дерев вирощували сорти *Brassica in situ* як зелені добрива. Хоча популяції *T. semipenetrans* у ґрунті знижувалися до 79-91% внесенням зелених добрив, сорти *Brassica*, в тому числі, Ebony, індійська та жовті гірчиці та ріпак Humus і Rangі, не були більш ефективними, ніж самосійні бур'яни. На одній ділянці включення у ґрунт низькоякісної за ростом гірчиці Ebony (але не бур'янів) збільшувало популяції *T. semipenetrans* у ґрунті, популяції *Paratrichodorus* sp. зменшувалися після

введення у ґрунт гірчиці, та зростали при введенні бур'янів. Ріст і введення у ґрунт *Brassica* і бур'янів збільшує популяції *Pythium* spp., але популяції *Fusarium* зменшувались при введенні залишків бур'янів і залишків індійської гірчиці.

Ріст новопосаджених апельсинів не відрізнявся на ділянках із добавками у ґрунт *Brassica* або бур'янів. Використання на новозасаджених площах кадусафосу  $1,5 \text{ г/м}^2$  весною або 2-3 застосувань кожні 2 місяці весною і літом, забезпечує контроль нематод *T. semipenetrans*, *Paratrichodorus* та *Xiphinema* sp. на період більше 1 року на окремих ділянках. Більшість із цих ділянок одержували кадусафос ( $3,0 \text{ г/м}^2$ ), а далі - мульчування опилками. Це давало приблизно такий же контроль нематод. Але сам мульч не забезпечував захисту від нематод, а в окремих місцях навіть збільшував їхню кількість. Багаторазове застосування кадусафосу в усій зоні кореня більш ефективний захід проти нематод, ніж традиційне разове застосування алдікарбу. Ріст стовбура рослин збільшувався на 88% після застосування кадусафосу, порівняно із необробленими деревами.

На багатьох ділянках на молодих деревах паразитували *T. semipenetrans*, *Paratrichodorus* і *Xiphinema*, тому пропонується контролювати кількість не лише одного виду *T. semipenetrans*. *Paratrichodorus* також пошкоджує молоді дерева, і вперше виявили паразитизм на апельсинових деревах *X. diffusum*. Застосування органічного мульчування (опилки *Pinus radiata* та *Eucalyptus camaldulensis* і компостованих зелених відходів) приводили ефективно до середнього значення екстремальні температури і вологість ґрунту, але не стимулювали ріст рослин. Кількість нітрогену була зниженою у верхньому шарі ґрунту під опилками, зокрема від *P. radiata* і спостерігалось слабе закислення ґрунту. Однак, зміни у концентрації поживних речовин у листі рослин, під якими проводили мульчування, не виявили.

За розрахунками Mørga і Kirkegaard (2002), у ґрунті лише 10% ГЛТів тканин *B. hirta* and *B. juncea* перетворюється в ІТЦи. Ензиматичний гідроліз синалбіну дає *p*-гідроксibenзил-ІТЦ, який спричиняє лише 8% смертність *Heterodera schachtii* (Lazzeri et al. 1993) і 13% смертність личинок *Globodera rostochiensis* (Buskov et al. 2000). У цих експериментах така ж концентрація глюкотропеоліну викликала 100% смертність нематод.

Із зменшенням молекулярної маси, зростає леткість ІТЦ, тому ІТЦи із малою молекулярною масою за вищих температур будуть вилітати через ґрунт у атмосферу швидко і лише короткий час діятимуть на шкідливі організми у ґрунті, що може бути недостатнім для їх пригнічення цими сполуками.

Ploeg, Stapleton (2001) показали, що добавка у ґрунт 2% за вагою брокколи з інкубацією при  $25^\circ\text{C}$  протягом 72 h, не впливала на здатність *M. javanica* до паразитизму. Це говорить про те, що навіть коли використовується рослина із високим умістом ГЛТів, необхідно додавати достатню кількість її маси у ґрунт для рівномірного розподілу та вивільнення достатньої кількості біологічно активних речовин.

У дослідженнях мука із *B. juncea* була ефективною проти *T. semipenetrans*. Нематоду не виявлено у ґрунті з добавкою муки 1% за вагою

(Walker 1997). Zasada і Ferris (2004) показали, що мука *B. juncea* у кількості 0,9% за вагою на 98% зменшує виживання *T. semipenetrans*. Сінігрін є основним ГЛТом *B. juncea* і, очевидно, пригнічення нематод було за рахунок алліл-ІТЦ. Алліл-ІТЦ токсичний проти ряду нематод-паразитів (Buskov et al. 2000, Lazzeri et al. 1993, Zasada, Ferris 2003).

Zasada, Ferris (2004) пишуть, що у їхньому експерименті брокколи із вмістом ГЛТ 2,44 ммоль/г не мала такого сильного ефекту на нематоду *T. semipenetrans*, незалежно від кількості внесеної біомаси, як добавки *B. hirta* чи *B. juncea*. Виходячи із концентрації глюконастуртіїну у брокколі та нематодо-специфічної токсичності продукту деградації ГЛТу - 2-ФЕ ІТЦу (Zasada, Ferris 2003), необхідно 54% за вагою брокколи у ґрунті, щоб знизити виживання *T. semipenetrans* до 10%. Виходячи із концентрації глюкорафаніну у брокколі, попередника 4-метилсульфоніл(бутилу) рівень добавки можна знизити до 14%. Буде потрібно більше біомаси для створення токсичних концентрацій 2-ФЕ- і 4- метилсульфоніл(бутилу) для зниження виживання *M. javanica* на 90%. Кількість залишків мокрої брокколи, що залишається у полі після збирання - близько 8,5% за вагою (Shetty et al. 2000) або 0,9% за вагою сухого матеріалу (відношення 10:1, сира/суха вага).

Ясно, що кількість брокколи для забезпечення концентрацій ГЛТ у необхідних кількостях на практиці не буде раціональною. Тому нові сорти брокколи із вищими концентраціями сінігрину, глюконастуртіїну і глюкорафаніну знизять кількість рослинної біомаси, потрібної для утворення токсичних концентрацій ІТЦ. Пригнічення нематоди, що його спостерігали після додавання у ґрунт брокколи, було сильнішим при вищих температурах. Так, при введенні 2% за вагою свіжої брокколи, та інкубації 10 днів при 25°C, спостерігали зменшення утворення галів нематодою *M. javanica*, порівняно із ґрунтом без добавок. Ґрунт повинен прогріватися до 40°C протягом 10 днів для усунення утворення галів на корінні, порівняно із ґрунтом із добавками брокколи (Ploeg and Stapleton 2001). При близьких дозах брокколи, пригнічення *T. semipenetrans* було у 3 рази вищим, аніж *M. javanica*. Це є у відповідності із меншими летальними дозами 2 феніл-етилу та 4-метилсульфіні (бутилу) для *T. semipenetrans* (Zasada, Ferris 2003). Виявили відмінності у чутливості нематод до різних органічних добавок у ґрунт (Halbrendt, Jing 1994, Ploeg, Stapleton 2001, Zasada, Ferris 2003).

Було оцінено пригнічення нематоди специфічними ГЛТами та вплив добавок біомаси рослин на пригнічення нематоди. *B. hirta* містить 5 ммоль/г глюкотропеоліну і високі дози добавок необхідні для досягнення ним летальних концентрацій. Менше потрібно муки *B. juncea* для досягнення необхідних рівнів сінігрину, бо його концентрація у муці висока (197 ммоль/г). Пригнічення *M. javanica* посилюється із зростанням біомаси брокколи і трави до введення її у кількості 0,3% за вагою у ґрунт (Blok et al. 2000). На ділянках із добавками біомаси і вкриванням поверхні землі плівкою розвиваються анаеробні умови, що веде до зменшення значень редокс-потенціалу. Патогени знешкоджувалися добавками брокколи і трави однаково ефективно у таких умовах, що вказує,

ймовірніше, на утворення і біологічну дію неспецифічних продуктів ферментації, а не на дію культуро-специфічних токсинів (Blok et al. 2000).

Zasada, Ferris (2004) не спостерігали пригнічення шкідливих організмів при рівні добавок 0,3% за вагою у ґрунті, але анаеробні умови, можливо, мають місце при вищих дозах добавок і вуглекислий газ, етилен, водень, метан, органічні кислоти, спирти і альдегіди можуть накопичуватися при цьому (Ponnamperuma 1972).

Внесення добавок хрестоцвітих у ґрунт для контролю нематод, які паразитують на рослинах, ініціює складні біологічні та хімічні процеси. У зв'язку з цим, питання, які потребують подальшого дослідження включають: 1) швидкість конверсії ІТЦів у ґрунті, 2) чутливість видів-мішеней до специфічних ІТЦів, 3) технологія застосування та створення сортів, які містять високі рівні ГЛТів. Дослідження показують, що добавки маси культур *Brassicaceae* у ґрунт можуть забезпечити достатній і відтворюваний контроль нематод-паразитів рослин, якщо дози базуються на профілях ГЛТів у тканинах, які вводять у ґрунт. Визначення летальних концентрацій ІТЦів для окремих нематод дає можливість вибору виду *Brassicaceae*, який містить ГЛТі-попередники ІТЦів, які є найбільш токсичними для нематод певного виду.

Matthiessen, Shackleton (2005) досліджували вплив зовнішнього середовища на біологічну активність очищених ІТЦів та ІТЦів тканин. Чотири очищені ІТЦи (метил-, 2-пропеніл-, бензил- та 2-ФЕ ІТЦ), тканини *Brassicaceae*, що гідролізуються і багаті на 2-пропеніл- або 2-ФЕ-ІТЦ, пестицид MNa, з якого утворюється метил-ІТЦ, випробовували проти комах ґрунту в тестах на випаровування *in vitro* та у трьох контрастних за властивостями ґрунтах при температурах 5-20°C. Це робили для вивчення факторів, які контролюють виділення ІТЦів і їх перебування у ґрунті з метою визначення переваг використання культур *Brassicaceae* для біофумігації. Метил-ІТЦ, структурно найбільш простий і леткий, був найбільш активним за всіх умов дослідження. Він був менш ефективним у присутності ґрунту і при нижчій температурі, ніж аліфатичний 2-пропеніл-ІТЦ, який має довгий ланцюг. Активність менш летких ароматичних ІТЦів зменшувалася сильніше у ґрунті, із зменшенням до багатьох тисяч разів у присутності ґрунту з високим вмістом органіки при низькій температурі. Дослід із пестицидом MNa дав аналогічні результати. В результаті цієї роботи, вчені зробили висновок, що культури *Brassicaceae*, які багаті на аліфатичні ІТЦи найбільш імовірно, будуть демонструвати сильніший біофумігаційний ефект, ніж ті, які містять, в основному, ароматичні ІТЦи.

Найчастіше *Brassica* як біофуміганти використовують у вигляді зеленого добрива. Їх вирощують у ротації із культурою, стійкою до нематод і приорюють у різний час, у залежності від культури *Brassica* та цілі біофумігації. Ротацію та зелені добрива було використано для боротьби із нематодами *Pratylenchus penetrans* та *Meloidogyne chitwoodi*.

Олійну гірчицю і білий редис випробували як зелені добрива при засіві ранньою весною або у кінці літа і вирощували щонайменше 8 тижнів до їх приорювання у ґрунт. Для рівномірного розподілу біомаси і максимального

ефекту вторинних продуктів, що утворюються під час гідролізу ГЛТів, культуру спочатку сікли або виривали перед введенням у землю.

Мацерація необхідна для максимального виходу ІТЦів. ГЛТи кореня можуть бути більш активними через утворення фенетил-ІТЦ, але більша кількість коріння може бути потрібною для досягнення необхідного рівня речовин, що активні проти нематод, після інкорпорації.

Раніше Ellenby (1945) показано ефект культур хрестоцвітих та гірчичної олії на кореневу нематоду картоплі *Heterodera rostochiensis* Wollenweber.

Пропонується вирощувати *Brassica* між рядами картоплі для контролю перших стадій нематоди. У Португалії введення екстрактів рослин, що містять ГЛТи, одночасно із підгрибанням картоплі пригнічувало популяції нематод картоплі. В дослідженні ІТЦи – похідні 2-пропеніл ГЛТу активні проти *Globodera rostochiensis* (Woll.) (Pinto et al. 1997).

Випробувано *in vitro* виділення коренів картоплі та *Brassica* на їх активність проти цист *G. rostochiensis*. Ексудати чорної гірчиці найсильніше пригнічували вилуплення із цист (вихід молоді склав 8,6%). Подібні ефекти спостерігали коли проводили експерименти із аліл-ІТЦом гірчичної олії. Ексудати чорної гірчиці, білої гірчиці та кресу (*Lepidium sativum*) пригнічували вихід *G. rostochiensis* із цист. Показано, що знижене вилуплення із яєць *G. rostochiensis* мало місце у дифузаті гірчичної олії після після контакту цист із дифузатом кореня картоплі.

Тести у чашках Петрі, проведені із личинками 2-ї стадії *G. rostochiensis* виявили, що додавання мірозинази до 2- пропеніл ГЛТу вивільняє 2-пропеніл ІТЦ, що веде до загибелі нематод після 24 години експозиції. Загибель нематод 100% на 2-й стадії *G. rostochiensis* спостерігали при концентрації 1,0 мг/мл, що відповідає 6 мМ, для фенетил-ІТЦ, бензил-ІТЦ і проп-2-еніл-ГЛТ через 16, 16, і 40 годин, відповідно (Kirkegaard 1995).

У лабораторії випробували виділення коренів картоплі та *Brassica* на їх активність проти цист *Globodera rostochiensis* (Buskov et al. 2005). Ексудати чорної гірчиці найсильніше пригнічували вилуплення із цист (вилуплення молоді склало 8,6%). Подібні ефекти спостерігали коли проводили експерименти із аліл-ІТЦом гірчичної олії. Ексудати чорної гірчиці, білої гірчиці та кресу (*Lepidium sativum*) пригнічували вихід *G. rostochiensis* із цист. Показано, що знижене вилуплення із яєць *G. rostochiensis* мало місце у дифузаті гірчичної олії після контакту цист із дифузатом кореня картоплі.

Тести у чашках Петрі, проведені із личинками 2-ї стадії *G. rostochiensis* виявили, що додавання мірозинази до 2- пропеніл ГЛТу вивільняє 2-пропеніл ІТЦ, що веде до загибелі нематод після 24 години експозиції. Повну (100%) загибель нематод на 2-й стадії *G. rostochiensis* спостерігали при концентрації 1,0 мг/мл, що відповідає 6 мМ, для фенетил-ІТЦу, бензил-ІТЦу і проп-2-еніл-ІТЦу через 16, 16, і 40 годин, відповідно.

Відстань між рядами, режим зволоження, кількість поживних речовин є важливими для культури, яку планують використати для боротьби із нематодами. Умови у ґрунті під час гідролізу ГЛТу можуть впливати на вивільнення ІТЦу. Доля аллелосполук після вивільнення, чутливість видів

нематод до специфічних ІТЦів, методи застосування і визначення смертельних доз для нематод потребують вдосконалення подальшого і дослідження.

*Globodera pallida* має одне покоління за сезон. Дуже короткий період у її життєвому циклі, коли вона є чутливою у ґрунті до фумігантів. Виділення коріння гірчиці зменшує вихід нематод із яєць і цист (Forrest 1989).

Слід відмітити, що культури-біофуміганти на даний час лише знижують кількість нематод до прийняттого виробником рівня, а не знищують їхні популяції повністю. Але при правильному застосуванні культури-біофуміганти придатні для контролю нематод в органічному сільському господарстві (Hockland 2003).

### Використання у біофумігації інших органічних добавок

Азотовмісні компоненти органічних добавок, введені у ґрунт у чистій формі, дають пригнічення, подібне до ефекту зелених добрив. Є дані, що підтверджують мобілізацію специфічних антагоністичних бактерій у ґрунті.

Ферментація органічних матеріалів викликає зміни складу повітря ґрунту, зокрема, відбувається зниження вмісту кисню і підвищення кількості CO<sub>2</sub>, створюються умови анаеробіозу, результатом чого є 90-100% зниження кількості патогенного мікроорганізму (Blok et al. 1998).

Hunter et al. (1997) показали ефективність внесення у ґрунт лісорозсадника стічних вод із використанням грибним компостом у комбінації з обробкою землі препаратом Basamid для контролю кореневого патогену – гриба *Cylindrocladium scoparium*.

Arias et al. (1999) виявили, що компост, після вирощування на ньому шампіньонів, при його внесенні у ґрунт теплиць для вирощування овочів у кількості 5 кг/м<sup>2</sup> ще здатний ефективно пригнічувати *Meloidogyne incognita*.

Garcia Álvarez et al. (2007) приводять рентабельність вирощування різних культур із використанням для біофумігації компостів і гноїв у Іспанії (табл. 1)

Таблиця 1.

Рентабельність культур у Іспанії із використанням біофумігації (складено за даними Garcia Álvarez et al. (2007)).

Культура	Біофуміганти	Рентабельність, %
Томати	Компост після вирощування	+61
Огірки	грибів, гній овець	+45
Морква	<i>Brassica</i>	+22
	Компост після вирощування грибів	-12
	Гній овець	-22
Перець	Гній овець	-5
Банани	Залишки рослин із саду	+40
Томати	Гній кіз	-26
Кавуни	Гній овець	+7
Огірки	Гній великої рогатої худоби	+11



*Pythium aphanidermatum* створює значні проблеми для культур у теплицях в Омані (Deadman et al. 2006). Тут фунгіциди часто застосовують нерационально. Для біофумігації органічні відходи вводять у верхні шари ґрунту і вкривають плівкою на 4 тижні. При їх розкладі утворюється газоподібний амоній, який фумігує ґрунт. Випробовували і соляризацію у поєднанні із біофумігацією влітку та у період між культурами, які краще ростуть за прохолодної погоди. Залишки капусти вносили у ґрунт по 5 кг/м ряду. Соляризацію проводили, вкриваючи ґрунт на 4 тижні. Обидва способи обробки редукують рівень інокулюму *P. aphanidermatum* у ґрунті, порівняно із контролем. Влітку обидві процедури значно знижують суворість хвороби, а у прохолодний час біофумігація більш ефективна. Обидві обробки редукують первинну та вторинну експансію фітопатогенного гриба.

У дослідженні Gamliel et al. (1999) під впливом внесення органіки у ґрунт із подальшим його прогрівом сонцем під плівкою (соляризацією) значно знижувалися кількості (аж на 95%) *F. oxysporum* f. sp. *basilici*, *Sclerotinium rolfsii* та *Pythium ultimum*. Пригніченню фітопатогенних грибів сприяло також використання ротачії культур.

Кількість нематод-сапрофагів зростає вдвоє у ґрунті після біофумігації. Lazarovits et al. (1997) встановили, що введення у ґрунт органічних залишків зменшує виживання гриба *V. dahliae*, бактерії *Str. scabies*, нематод і личинок шкідників, у залежності від доз та типу ґрунту.

Michel, New (1996) дослідили, що внесення органіки та сечовини у кількості (200 кг N/га) та СаО (5000 кг/га) знижує виживання *Ralstonia solanacearum* у залежності від типу ґрунту. Michel et al. (1997) показали ефект інтеркропінгу та добавок у ґрунт біомаси рослин, сечовини (200 кг/га) та оксиду кальцію (500 кг/га) на прояв хвороби - вілту томатів (збудник *R. solanacearum*) та виживання *Ps. solanacearum*.

### **Вплив біофумігації на врожайність**

Harvey, Sams (2001) використали біофумігацію для вирощування томатів. В експерименті використали такі рослини для обробки ґрунту: індійська гірчиця (PI 458934), засіяна із комерційною густостою (1X), індійська гірчиця, засіяна із подвійною комерційною густостою (2X), Fall Raab, засіяна із комерційною густостою і жито, засіяне із комерційною густостою, (контроль).

Засівали у вересні 1999, а вирощену біомасу приорювали у травні 2000. Сорт томату 'Celebrity' висаджували через 3 тижні після інкорпорації. Вивчали врожай у 10 рослин для кожного варіанту. Плоди оцінювали за розміром, вагою і числом. Статистичний аналіз виконували для товарних помідорів (діаметром >6,43 cm). Найбільший врожай томатів спостерігали на ділянках із біофумігантом Fall Raab. Ці ділянки давали на 40% більше товарних плодів, ніж ділянки із приораним житом (контроль) і на 19% більше товарних плодів, ніж ділянки із введеними у ґрунт рослинами індійської гірчиці. Ділянки із індійською гірчицею як біофумігантом давали на 18% більше товарних плодів, ніж ділянки із введеним у ґрунт житом (контроль).

Вважаємо, що хоч ці результати є попередніми, бо зібрані за один сезон, але вони заслуговують на увагу наших виробників томатів.

Rosendale M., Parish R.L. (2005) в експерименті випробували зелену проростаючу брокколу, гірчицю Florida Broadleaf і пасовищну пшеницю як сидеральні культури, у порівнянні із стандартною фумігацією МБом.

Їх засівали безрядним способом (жовтень 2002) у дозах: гірчицю - 20, брокколу - 22, пшеницю - 51 фунтів/акр. Грядки неглибоко орали, засівали, а далі загортали насіння. Ділянки, оброблені МБом, вкривали пластиком 9 вересня, 2002. Культуру гірчиці вводили у ґрунт 19 лютого 2003, брокколу, гірчицю і пшеницю – 28 березня 2003. Також 18 березня, сидеральні культури глибоко приорювали, формували з допомогою дисків гряди, неглибоко орали і вирівнювали. Пластиком вкривали ділянки 28 березня.

На оброблених таким чином ділянках висаджували баклажан сорту Epic, стручковий перець сорту Camelot та помідори сорту Florida 47, жовті помідори сорту Precious II, огірки сорту Lightning та солодку кукурудзу Kandy Korn - 15 квітня, 2003 р. Всі ділянки мали краплинне зрошення за потребою.

Баклажан, помідор і перець на ділянках, оброблених МБ, давали найвищі врожаї. Вирощування на пшеничній ділянці давало найменші врожаї. Збір помідорів на ділянках МБ і гірчиці був вищим, ніж на ділянці брокколи як зеленого добрива. Стручковий перець плодоносив краще на ділянках МБ, гірчиці та брокколи, ніж пшениці. Відмінності у культурах були за рахунок засіву вручну. Це не дало можливості одержання значимих даних для ряду культур (Rosendale, Parish 2005), табл.2.

Табл.2

Товарний врожай баклажану, помідору і стручкового перцю за різних варіантів обробки ґрунту (за Rosendale, Parish (2005))

Культура	Обробка	Валовий товарний врожай, фунт/акр
Баклажан	Гірчиця	15,400
	Броккола	16,100
	пшениця	8,900
	МБ	17,400
Помідор	Гірчиця	1,430ab
	Броккола	1,210b
	пшениця	450c
	МБ	1,770a
Перець стручковий	Гірчиця	9,700a
	Броккола	9,500a
	пшениця	4,200b
	МБ	13,000a

Збільшення врожайності, очевидно, відбувається за рахунок зменшення кількості шкідливих організмів та внесення у ґрунт із біомасою рослин додаткових поживних речовин.

### Проблема повторних посадок багаторічних рослин

Після 2-3 років вирощування помідорів на одних і тих же ділянках, зокрема, на крапельному зрошенні, спостерігають зменшення врожаїв. Використання *Brassica* для інкорпорації у ґрунт, очевидно, може покращити родючість цих земель.

Східну коричневу гірчицю, озимий ріпак, жовту чи білу гірчицю висівали на полі із краплинним зрошенням у листопаді, після врожаю 2002, а приорювали в ґрунт у березні наступного року. У контролі були ділянки засіяні сумішшю вівса, гороху та люцерни. Жовта гірчиця сорту Ishi 20 дає по 4 т/акр у сухій вазі, а суміш вівса, гороху та люцерни - 1,73 т/акр (1 га = 2,471 акрів). Інші *Brassica* також давали більше біомаси, ніж ця суміш. Але використані у дослідженні *Brassica* – високорослі, тому полягали. Їх було важко приорати, значна частина рослин залишалася на поверхні. Вони зацвітають рано і можуть утворювати насіння до часу приорювання. Східна гірчиця була найкращою: середній ріст та продукція біомаси, високий вміст ГЛТу, пізні цвітіння. Принаймні, *Brassica* для біофумігації не були гіршими від суміші вівса, гороху та люцерни. Зелений покрив *Brassica* поглинає близько 100 фунтів N/акр, який в іншому випадку міг би вимиватися із ґрунту у води (Bryant 2007).

При вирощуванні саджанців часто виникають проблеми повторної посадки, відомі під назвою втоми ґрунту, що виявляється у значному пригніченні росту дерев, навіть до 90%. У саджанців *Pomoideae* (яблуні, груші та ін.) при цьому зменшується і коренева система, і надземна частина рослини. Листя поступово стає більш дрібним, міжвузля скорочуються, порушується апікальне домінування, з'являються пагони у нижній частині стовбура (Мороз и др. 1990, Hoestra 1968, Stevens 1985). Явище може мати різні причини і потребує різного часу для відновлення ґрунту. Головними його причинами вважають накопичення у ґрунті токсинів та розвиток у ризосфері патогенної мікрофлори і шкідників (Гродзинский и др. 1979, Павленко, Андриенко 1995, Савич и др. 1999). Основним способом подолання втоми ґрунту є його хімічна фумігація (Ramsay et al. 1992, Traquair 1984), недоліком якої є висока вартість і забруднення довкілля.

Біофумігація, заснована на закладанні в ґрунт подрібнених залишків рослин *Brassica* spp., могла б полегшити проблему повторних посадок. Зокрема, Mazzola (2005) виявлено, що глюкозинолати стимулюють розвиток у ризоплані яблуні *Streptomyces* spp., що знижує інфікування коріння грибами *Rhizoctonia* spp.

Навіть просте використання хрестоцвітих як зелених добрив сприяє інактивації токсинів яблуні через поступлення у ґрунт великої кількості органічної речовини, зміни групового складу мікрофлори і посилення мікробіологічних процесів (Мороз и др. 1990).

Виявлено, що дві ротації хрестоцвітих за один вегетаційний період сприяють сильнішому зниженню числа нематод (Traquair 1984). Отже, хрестоцвіті є зручною сидеральною культурою, яка здатна дещо нейтралізувати деякі із причин втоми ґрунту.

Про санітарну роль хрестоцвітих у сівозміні пишуть і Гродзинський и др.. (1990).

Поплавский (2006) досліджував вплив біофумігації ґрунту ярим рапсом у розсаднику на якість саджанців яблуні і розвиток мікрофлори ґрунту з метою подолання проблеми втоми ґрунту при повторних посадках яблуні. На одній половині ділянки вирощували ярий рапс, який вводили у ґрунт в 1-й декаді серпня, інша частина ділянки була вільною від культур. Автор встановив, що на дерново-підзолистому ґрунті біофумігація не була ефективною у подоланні втоми ґрунту і не впливала на розвиток саджанців яблуні, хоча кількість досліджуваних форм бактерій тимчасово зростала, а мікроміцетів - знижувалася.

Очевидно, для позитивного ефекту від фумігації необхідні певні умови, зокрема, високий вміст глюкозинолатів у тканинах сидеральних культур.

Фумігація МБ плюс ХП і альтернативними хімікатами знищувала патогенні гриби у ґрунті і утримувала популяцію культурабельних грибів малочисельною аж до 4 тижня після фумігації. Мікробне дихання у ґрунті знижується із застосуванням фумігантів і було найменшим (>40% зменшення відносно контролю) за обробки ПБ протягом 1 тижня після фумігації, тоді як мікробна біомаса не змінювалася. Активності кислої фосфатази і арілсульфатази були нижчими у фумігованому ґрунті до 30- або 37- тижня дослідження, а активності β-глюкозидази і дегідрогенази були нижчими до 4 тижня після фумігації. Нітрифікація за фумігації суттєво знижувалася (>55% зниження відносно контролю), однак поступово відновлювалася до кінця дослідження. Результати цього дослідження показують, що популяції грибів й активності кислої фосфатази і арілсульфатази були більш чутливими до фумігації МБ і альтернативними фумігантами, ніж загальна мікробна біомаса, мікробні респірація та нітрифікація і активності β-глюкозидази і дегідрогенази.

Короткотерміновий вплив МБ чи альтернативних йому фумігантів ХП ( $\text{CCl}_3\text{NO}_2$ ), 1,3-Д ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_2$ ), йодметану (ЙМ,  $\text{CH}_3\text{I}$ ), і пропаргілброміду ПБ ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{Br}$ ) проявляється зміною важливих мікробіологічних і ензиматичних функцій у ґрунті, таких, як циркуляція поживних речовин (Stromberger et al. 2005).

Zhang et al. (2005) показали, що стерилізація землі, взятої із розсадника лісу, запобігає деградації метил-ІТЦу та ХП, що є свідченням здатності мікроорганізмів ґрунту викликати руйнування цих сполук.

Rasche et al. (1990) досліджували 3 види бактерій-нітрифікаторів випробовували на здатність руйнувати М, 1,2-дихлорпропан та 1,2-дибromo-3-хлоропропан. Ґрунтові нітрифікатори *Nitrosomonas europaea* та *Nitrosolobus multiformis* деградували всі три сполуки, а нітрифікатор із морської води - *Nitrosococcus oceanus*- руйнував лише МБ в умовах експерименту. Пригнічення біодеградації алілтіосечовиною і ацетиленом- специфічними інгібіторами

монооксигенази амонію вказує на те, що монооксигеназа амонію є ензимом, який каталізує деградацію фумиганту.

Jing (1994) повідомив, що ріпак має потенціал для передпосадкової обробки ґрунту для зниження кількості нематоди *X. americanum* при повторній закладці садів.

Arias et al. (2005) досліджували епідеміологію вірусу „веселого листа” винограду (Grapevine Fanleaf Virus (GFLV) та її зв'язок із вектором *Xiphinema index* в умовах повторної посадки виноградників після біофумігації піщанистого ґрунту, який до цього перебував без обробітку протягом 2 років. Дослідження проводили у південно-східній частині Іспанії із континентальним середземноморським кліматом. Біофумігацію проводили 2 серпня 2002 р., вводячи у ґрунт суміш гною овець та посліду курей у співвідношенні 7:3 по 10 кг/м<sup>2</sup> площі із подальшим вкриванням землі прозорою пластиковою плівкою. Нематоду *X. index* не виявляли протягом 2 наступних років відпочинку землі. Біофумігація збільшувала біорізноманіття ґрунту.

Отже, метод може бути використано для контролю нематод-рознощиків вірусних захворювань винограду при повторних посадках виноградників. Результати цього дослідження заслуговують на увагу виноградарів Закарпаття.

Результати досліджень вказують, що необхідні даліше вивчення проблем повторної посадки багаторічників, пошук рослин із вищою біофумігаційною здатністю.

### **Інші корисні впливи рослин-біофумігантів на ґрунт**

Зелені добрива *Brassicaceae* покращують властивості ґрунту (Pung 2003).

Високі дози азотних добрив в інтенсивному вирощуванні салату, солодкої кукурудзи тощо приводять до втрат азотних добрив і забруднення ними довкілля. Кормовий редис як покривна культура після солодкої кукурудзи зменшує вміст азоту у ґрунті у вигляді нітратів NO<sub>3</sub><sup>-</sup> і не має ефекту на денітрифікацію, на концентрацію P, K, чи азоту у вигляді NH<sub>4</sub><sup>+</sup> у гравітаційній воді (Isse, 1999).

Утилізацію залишків нітратів у полі *Brassicaceae* досліджували і інші автори (Barraclough, 1989, Vos et al., 1998, Thorup-Kristensen 2001, Kristensen, Thorup-Kristensen 2004). У ротації із салатом олійний редис сорту *Raphanus sativus* „Renova” засвоює азоту нітратів 161 кг/га, чим знижує його втрати і забруднення нітратами вод (Jackson et al. , 1993).

Зелені добрива *Brassicaceae* ефективні у вилученні надлишкового мінерального азоту, який перетворюється ними у органічний азот, що є доступним для наступних культур. Thorup-Kristensen et al. (2003) дають оцінку зеленим добривам та кетч-культурам, зокрема видам *Brassicaceae* таким, як редис (*R. sativus*), біла гірчиця (*S. alba*), зимовий ріпак (*B. napus*) у порівнянні із бобовими та травами.

Kristensen, Thorup-Kristensen (2004) порівнювали здатність 3-х культур – рейграс *Lolium multiflorum* Lam., озимого жита (*Secale cereale* L.), кормового ріпаку (*R. sativus* L. var. *oleiformis* Pers.)- зв'язувати залишки нітратів у полі

після попередньої культури. Глибина проникнення коріння цих видів була 0,6, 1,1, і більше 2,4 м, відповідно. Було досліджено поглинання азоту протягом 6 днів у кінці жовтня шляхом введення  $^{15}\text{NO}_3$  на глибину 1 - 2,5 м. Залишок  $\text{NO}_3$  у ґрунті під *Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers. був 18 кг N/га - менше, ніж на ділянках із *L. multiflorum* Lam. та *S. cereale* L. – 59 та 87 кг/га, відповідно. Є лінійна залежність між густиною коріння і споживанням  $^{15}\text{N}$  на різних глибинах. Ефективність олійного ріпаку у зв'язуванні нітратів краща.

Довжина кореня (від цього залежить ефективність поглинання нітратів) у редису складає 6 (Vos et al., 1998), а у озимого ріпаку – 4-10 см/см<sup>3</sup> ґрунту (Barraclough, 1989, Vos et al., 1998)

Raderschall, Gebhardt (1990) оцінювали озимі (*B. napus*), ячмінь (*Hordeum vulgare*), рейграс (*L. multiflorum*) на акумуляцію азоту на ділянках після вирощування кінських бобів сорту Alfred. Рослини накопичували азоту в надземній частині 52,1, 36,2 і 22,9 кг/га.

Jackson et al. (1993) порівняли озимі однолітні культури на зв'язування азоту у ротації із салатом у Каліфорнії. Рослини висівали у листопаді, а закінчували вирощування у березні наступного року. Перспективними тут були гірчиці (*B. hirta* сорту Martigena та *B. alba* - 200 кг та 205 кг азоту/га, відповідно), зернове жито (*S. cereale* сорту Merced - 129 кг азоту/га) і фацелія (*Phacelia tanacetifolia* сорту Phaci - 182 кг азоту/га), олійний ріпак (*R. sativus* сорту Renova - 161 кг азоту/га). Рейграс *L. multiflorum* має меншу здатність поглинати залишковий азот (85 кг азоту/га). Отже, *Brassicaceae* краще запобігали вимиванню азоту, який залишався після попередньої культури.

Очевидно, *B. napus* здатна розчиняти фосфати у ґрунті. Hoffland et al. (1989) вирощували *B. napus* сорту Jetneuf на пластинах агару і поживних розчинах із фосфором або без нього. Бром крезол пурпурний використали як рН індикатор. Закислення середовища через виділення цитринової і маленової кислот було в радіусі близько 1,5 см зразу за кінцями коріння. Середовище було лужним у решті кореневої системи. Концентрації цих кислот були нижчими у рослин із достатнім забезпеченням фосфором. Калій, кальцій та нітрат вбиралися вдвічі швидше рослинами на середовищі із достатньою кількістю фосфору, ніж рослинами на середовищах без добавок фосфору.

Ngouajio, Mutch (2005) експериментували із олійним ріпаком, коричневою гірчицею, східною гірчицею, жовтою гірчицею, засіяними восени у системах вирощування селери та цибулі на вгноєному ґрунті. Спостерігали вдосконалення дренажу, особливо, при внесенні у ґрунт олійного ріпаку і пригнічення появи бур'янів ранньою весною всіма цими біофумігантами. Врожай селери зростав. Випробування ґрунту показало вищий вміст азоту на ділянках із застосуванням біофумігантів, порівняно із ділянками без біофумігації. Рівень інших елементів, таких як калій та магній був також вищим, але варіював, залежно від виду рослини, внесеної у ґрунт. Мікробна активність ґрунту зростала на ділянках із біофумігацією. У перерахунку на суху вагу рослини-біофуміганти давали таку кількість біомаси, т/акр : олійний ріпак – 2,7, коричнева гірчиця – 2,2, східна гірчиця – 2,1, жовта гірчиця - 2,6. Ці

рослини вирощували близько двох місяців (серпень-жовтень) до збору зразків для визначення біомаси.

Корисним для ґрунту є і внесення азоту та вуглецю, який вивільняється у ґрунті із муки насіння хрестоцвітих, яку використовували у експериментах із біофумігації (Brown, Morra, 2005).

### Вплив умов середовища на біофумігацію

Потенційну ефективність зелених добрив *Brassica* можна оцінити, порівнюючи із кількостями метил ІТЦу - 517 – 1294 нмоль/г., що утворюються із синтетичного фумиганту метам Na. Враховуючи максимум біомаси 15 т/га, концентрації ГЛТів 100 μмоль/г на глибині 10 см (загальна густина ґрунту 1,4), потенціальне утворення ІТЦу (при 100% конверсії) буде рівним 1070 нмоль/г, що є у межах виробничого застосування метил ІТЦ. Оскільки ефективність конверсії із внесеної біомаси буде 15% (Borek et al. 1997), але різні ІТЦи можуть бути у 10 разів більш токсичними, ніж метил ІТЦ, важко передбачити вплив нижчих кількостей ІТЦів, які виділяються тривалий час, співвідносний із застосуванням хімічного фумиганту. Більше інформації необхідно знати про долю, час наявності у ґрунті і ефективність біоцидних сполук, які виділяються із тканин, що потрапляють у ґрунт.

Вплив цих сполук можна посилити вибором часу інкорпорації у ґрунт, що співпадає із найбільш чутливою стадією розвитку шкідливого організму. Треба врахувати, що необхідний час для розкладання внесених решток у ґрунті, щоб не було фізичної і хімічної взаємодії із наступною культурою. Великі проміжки часу між фумігаціями дають можливість шкідливим організмам відновити свою популяцію (Kirkegaard et al. 1999).

Фактори середовища та погоди мають значний вплив на системи, що використовують добавки у ґрунт. Завданням є оптимізація умов для максимальної конверсії ГЛТів у ІТЦ.

Відомо, що канола, після її інкорпорації у ґрунт, виділяє широкий набір ІТЦів, які є токсичними для широкого кола фітопатогенних мікробів. У контрольованих умовах більшість патогенів гине під впливом тканин каноли. Однак у полі цей ефект не такий надійний.

Рівень 2-ФЕ ІТЦ у сучасних сортів каноли є нижчим за критичний рівень, необхідний для надійної біофумігації у полі. У сприятливі роки рівень 2-РЕ може перевищувати критичний і канола забезпечить добру біофумігацію. У інші роки ця культура на вигляд може бути такою як і у сприятливий рік, але рівень 2-РЕ буде недостатнім для забезпечення ефекту біофумігації (Potter 2007).

Утворення ГЛТів є дуже залежним від середовища росту рослин. Мінеральне живлення, зокрема, сірка, тип ґрунту, час посіву, тривалість дня і багато інших ще не вивчених факторів впливають на утворення ГЛТів і на подальше виділення ІТЦів. За сприятливого сезону ГЛТу утворюється більше, за несприятливого – менше. Тому результат біофумігації може бути різним

(Potter 2007). Про те, що ефект біофумігації залежить від умов вегетаційного періоду пишуть і Zoon et al. (2007).

Взаємодія видів *Brassica* і середовища приводила до того, що загальний вміст ГЛТів у корені і надземній частині був різним за різних умов. Але для трьох *B. napus*, ієрархія такого ряду зберігалася за всіх умов експерименту. Ефект середовища мав місце на фенологічний розвиток і продукцію ГЛТів у тканинах та біомаси на одиницю площі. Результати цієї роботи вказують, що умови теплиці можна використати для визначення типів і пропорцій ГЛТів і для визначення кращого рослинного матеріалу, але не для оцінки видів на загальну концентрацію у тканинах. Однак, вплив середовища на вміст ГЛТів і продукцію біомаси вказує, що для точної оцінки біофумігаційного потенціалу, тобто продукції ГЛТів та біомаси на одиницю площі необхідні дослідження в лабораторних і польових умовах.

Діапазон такого перетворення – від 1 до 25%. Загальне перетворення ГЛТ у ІТЦ в ґрунті було 15% від потенційно можливого (Borek et al. 1997). Лише 1% або менше від розрахованої кількості ІТЦ за концентраціями ГЛТ у тканинах було виявлено у ґрунті з добавками тканин сортів ріпаку або гірчиці (Morra, Kirkegaard 2002). У цьому дослідженні було показано 13 - 25% зростання ефективності за рахунок зруйнування клітин тканин морозом і таке ж зростання ефективності виділення ІТЦ, порівняно із ефективністю виділення ІТЦ за добавок у ґрунт грубо посіченого рослинного матеріалу.

Наявні дані літератури свідчать, що основна маса ІТЦів вивільняється у перші 4 дні після інкорпорації тканин у ґрунт (Morra, Kirkegaard 2002).

Екстракція ІТЦів із ґрунту з добавкою *B. napus* була максимальною після 30 і зменшувалася на 75% після 72 год з часу інкорпорації (Gardiner et al. 1999). Час напів-життя алліл - ІТЦу – від 20 до 60 год (Borek et al. 1995). Вода, рН ґрунту, мікробна активність мають прямий вплив на долю ГЛТів і ІТЦів у ґрунті (Brown et al. 1991). Оптимальною кислотністю ґрунту для гідролізу ГЛТів з утворенням ІТЦ є близька до нейтральної (Fahey et al. 2001).

Sarwar, Kirkegaard (1998) досліджували ефект впливу середовища та онтогенезу на утворення ГЛТів і таким чином, біофумігаційний потенціал восьми видів *Brassica*. В експерименті використовували ділянки засіяні восени та весною (FA і FS) та рослини у посуді (РАМ) або у теплиці із контрольованою температурою при 20°C/12°C (РТС). Концентрація ГЛТів була визначена у тканинах кореня та пагона на стадії бутонів, цвітіння і зрілості. Рослини у горщиках є зручними для оцінки великої кількості рослин на продукцію ГЛТів. Тип ГЛТів та їх відносні пропорції у тканинах за різних умов та стадій росту, за винятком зростання кількостей індоліл-ГЛТів в умовах FS очевидно індукується атаками на рослини комах. Загальна концентрація ГЛТів зменшується з переходом рослини від стадії бутонів до цвітіння за всіх умов експерименту, і була найнижчою у зрілих рослин. Виключення були для *B. campestris*, яка має вищий вміст ГЛТів на стадії цвітіння, а не бутонів. Вміст ГЛТів був більшим у теплиці, де рослини *B. campestris* (як і всі інші) цвіли краще. Незважаючи на те, що типи ГЛТів і пропорції між ними залишалися відносно сталими, загальна концентрація ГЛТів у тканинах кореня і пагона для



всіх варіантів була різною за різних умов середовища (з різницею від 3 до 10 разів) і зменшувалася у ряду FS>PAM>FA>PTC.

Дослідження показують, що активність мірозинази і ГЛТів зберігається при холодному помолі насіння культур *Brassica* на муку. Додавання води до цієї муки приводить до утворення продуктів гідролізу, включаючи ІТЦ.

Мука із насіння гірчиці із високим вмістом ГЛТу - 250 ммоль/г тканини для використання як 1% добавка потребує подальшого дослідження для її використання як добавка у ґрунт. З такої кількості виділяється 500 нмоль ІТЦ/г ґрунту при його 20% виході. Ця кількість близька до кількості, яка виділяється із наявних у використанні ІТЦ-фумігантів (517-1294 нмоль/г ґрунту) (Brown, Morra 2005).

Доля продуктів гідролізу у ґрунті вивчена мало. Відомо, що відбувається швидка фотодисоціація метил-ІТЦу на сонячному світлі – єдиний спосіб його видалення із атмосфери, який триває близько 41 год (Alvarez, Moore 1994). Собція метил-ІТЦу ґрунтом не дуже посилюється із підвищенням температури від 4 до 30°C (Matthiessen, Shackleton et. al 2005), хоча підвищені температури сприяють підвищеному вмісту ІТЦу у випаровуваннях та більш швидкому їх зникненню із ґрунту (Ashley et. al 1963).

### **Ефекти соляризації та її поєднання з біофумігацією**

Соляризація – це прогрів ґрунту під пластиковою плівкою сонцем із метою знищення шкідників, бур'янів, фітопатогених мікробів.

Вперше ефективну соляризацію вологого ґрунту під поліетиленовою плівкою описано у праці Katan (1981). Далі соляризацію досліджують у Каліфорнійському Університеті DeVay et al. (1991). Про контроль бур'янів з допомогою соляризації повідомляє Elmore (1991). Показано її ефективність як у жарких регіонах, так і в прохолодних місцевостях (Elmore et al. 1997). Фізичні, хімічні і біологічні ефекти соляризації описано в ряді робіт (Katan 1987, Chen et al. 1991, DeVay et al. 1991, Stapleton 1998, 2000, Stapleton et al. 2000a).

Для надійної соляризації ґрунту необхідно витримати температуру 70°C, щонайменше, протягом 30 хв (Stapleton 2000).

Повсюдно соляризацію можна використати у теплицях, особливо у тих регіонах, де потребують теплиці лише на зиму. Влітку теплиці закривають для акумуляції тепла сонця і вкривають пластиковою плівкою поверхню ґрунту у теплиці (Stapleton 1998).

Соляризація без застосування пестицидів непридатна для розсадників дерев і кущів у полі, бо коріння цих рослин залягає глибоко. Але для систем контейнерів, площин і рамок вона цілком придатна. Тут створюють подвійні тенти, які діють аналогічно методу соляризації у теплиці і так звільняють рослини від нематод.

Ефект соляризації було показано на комерційних посадках цитрусових і слив у США (Elmore et al. 1997). Плівкою вкривають добре зволожений ґрунт на грядках або краще всю площу. Та ця технологія краща для рослин із неглибоким заляганням коріння, культур пізнього сезону у регіонах із теплим

кліматом, що забезпечує виконання методу влітку в проміжку між вирощуванням двох однорічних культур.

Соляризацію для боротьби із бур'янами детально описує Elmore et al. (1991). Соляризація виноградників, садів, що закладаються, є ефективною лише проти тих шкідливих організмів, які перебувають у ґрунті неглибоко. При закладці садів використовують чорну плівку, щоб уникнути перегріву саджанців. При цьому добивалися контролю гриба *Verticillium*. З допомогою плівки на ґрунті зберігають його вологість і добиваються зниження вологості у кронах (Elmore et al. 1997). Це зменшує інфекцію патогенними грибами і бактеріями листя.

Час соляризації можна скоротити поєднанням соляризації із зменшеними дозами пестицидів (Stapleton et al. 2000).

Anju Kamra, Gaur (1998) встановили, що соляризація у комбінації із застосуванням естіерколу зменшує проблеми пов'язані із нематодами, грибами і бур'янами.

Nogiuchi et al. (1982) виявили ефективність соляризації для контролю фітопатогенного гриба-збудника кили капустових – *Plasmodiophora brassicae*.

Соляризацію легше здійснювати у країнах Південної Європи (Garibaldi, Gullino 1991). В Україні вона може бути ефективна у південних регіонах і повсюдно у сонячні літа та у теплицях.

Elmore et al. (2000) показали можливість використання одночасної соляризації та біофумігації для вирощування квітів у польових умовах. Комбінація соляризації і біофумігації Ploeg (2001) є ефективною для контролю нематод *M. incognita*, *M. javanica* при вирощуванні кавунів.

Antoniou et al. (1997) показали, що соляризація із використанням непроникної плівки дозволяє знизити дози МБу для захисту огірків від гриба *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* та томатів від фітопатогенної бактерії *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. Було показано ефективність соляризації або соляризації з використанням інокуляції бактеріальними або грибними агентами для біоконтролю вілту гвоздик, збудником якого є *Fusarium* (Elena, Tjamos 1992).

Термотолерантний мікроб *Talaromyces flavus* у присутності глюкози з допомогою глюкозооксидази утворює перекис водню, який убиває пропагули *Verticillium dahliae* (Fravel 1988, Kim et al. 1988). Такі мікроорганізми мають перспективу використання для соляризації.

Katan, de Vay (1991) виявили позитивний ефект соляризації на виживання *Pseudomonas fluorescens* та *Ps. putida*, видів, серед яких є багато штамів-антагоністів. Це сприяє зменшенню патогенної мікробіоти ґрунту.

Можливим є використання мікоризи та соляризації як альтернативи фумігації ґрунту (Perrin et al. 1998). При поєднанні дії соляризації, мікроорганізмів для біоконтролю і фуміганту, важливим є вибір оптимального часу соляризації та їх доз (Greenberger et al. 1987, Katan, de Vay, Greenberger 1989, Katan, Fishler, Grinstein, 1983).

За соляризації і біофумігації використання плівки необхідне, бо під нею акумулюються тепло, леткі антимікробні речовини, індукується ґрунтовий

анаеробіоз, що пригнічує і вбиває патогенні мікроорганізми та шкідників (Blok 1998, 2000).

Соляризація і біофумігація можуть бути найкращими альтернативами використання МБу (Stapleton et al. 2000). Недолік їх у тім, що соляризація ефективна в умовах сонячної погоди, високих температур повітря. Через це земля вилучається із виробництва протягом 3-6 тижнів у літні місяці. Використання поліетиленової плівки або водорозчинного полімеру для вкривання поверхні ґрунту є вартісним.

Раніше Bailey et al. (1961) виявили біологічну активність летких сполук капусти. У ґрунті з добавкою 2% за вагою висушеної капусти виявляли метантиол, етанол і іноді оцтову кислоту та метанол (Gamliel, Stapleton 1993a).

Було виявлено, що поєднання соляризації із введенням у ґрунт залишків капусти або інших видів *Brassicaceae*, компостованого посліду курей забезпечує кращу боротьбу із хворобами рослин за рахунок прискореного виділення біотоксичних летких сполук із цих добавок при підвищених температурах (Ramirez-Villapudua, Munnecke 1987, Gamliel, Stapleton, 1993a, 1993b, Medina et al. 2004). В інших дослідженнях було показано фунгіцидну дію залишків *Brassicaceae* на землях узбережжя Америки без прогріву сонцем (Subbarao et al. 1999).

При соляризації із органічними добавками у ґрунті позитивні ефекти забезпечуються виділенням летких токсичних сполук (біофумігацією) чи створенням кращих умов для мікробів-антагоністів (Stapleton et al. 1998).

Отже, соляризація, біофумігація і їх поєднання є добрими альтернативами застосування хімічних фумигантів або дозволяють зменшити їх дози при одночасному використанні із цими методами підготовки ґрунту.

У Бразилії було проведено експерименти для оцінки ефекту біофумігації і соляризації на захворюваність на бактеріальний вілт (*Ralstonia solanacearum*) томатів, хімічні властивості ґрунту та контроль бур'янів. Проводили добавки залишків *Brassicaceae* (2%), посліду курей (2%) або проводили фумігацію ґрунту МБом із соляризацією або без неї. Після соляризації і біофумігації, зразки ґрунту відбирали для хімічного аналізу та оцінки насіння бур'янів. Томати висаджували через 2 місяці після соляризації. Соляризація знижувала рН та рівні В і Zn у ґрунті. Органічні добавки підвищували вміст у ньому Са, К та Na і знижували кількість Al. Соляризація ґрунту знижувала число життєздатного насіння бур'янів, в основному, однодольних. Обробка МБом і курячим послідом значно зменшувала захворюваність на бактеріальний вілт і пригнічувала симптоми цієї хвороби (Baptista et al. 2006)

Соляризація ґрунту значно зменшує захворюваність томатів і баклажанів на вілт, збудником якого є гриб *Verticillium* (Ghini et al. 1993). Cascone et al. (2000) показали ефективність соляризації ґрунту у теплиці із використанням різних пластичних матеріалів для мульчування проти „коркового кореня” та „вузлів кореня” томатів, що спричинюються нематодами.

Соляризацію можна використати для контролю хвороби випадання розсади томатів та бур'янів (Ambrósio et al. 2000).

Показано також ефективність соляризації проти патогенних для рослин грибів *Pythium* spp. (Ghini et al. 2002), *Sclerotinia minor*, *R. solani* (Sinigaglia et al. (2001).

Спостерігали покращення мінерального живлення і росту томатів після соляризації ґрунту (Grünzweig et al. 1999).

Раніше в експериментах Kodama, Fukui (1982) показали пригнічення соляризацією вілту полуниць (збудник хвороби– гриб *Fusarium*).

У Іспанії Medina et al. (2004) для біофумігації використали курячий послід збагачений лушпинням від обмолоту рису (по 3 кг/м<sup>2</sup> площі). Біофумігацію поєднували із соляризацією із використанням традиційної плівки LDPE (товщиною 50 мкм і шириною 3,3 м із проміжком між рядами 0,35 м) або біодеградабельного полімеру Solartex® (Ecotex Soil Mulch Products Ltd, Ізраїль), який наносили як плівку на ґрунт методом розпилення його водного розчину (2:1, w/w). Цей полімер можна розприскувати разом із MNa або із формаліном чи іншими фумигантами для хімічної фумігації.

Ґрунт після внесення посліду поливали, а далі вкривали плівкою LDPE або полімеру Solartex®. Соляризацію у поєднанні із біофумігацією проводили протягом 5-6 тижнів. Далі плівку знімали і дискували ґрунт для гомогенізації. Ґрунт, вкритий полімером, дискували прямо з полімером, бо цей хімікат легко руйнується мікробами ґрунту. Були також варіанти соляризації із використанням фумиганту MNa по 750 л/га (табл. 3). Формували підняті грядки, вкривали їх чорною плівкою і висаджували полуниці сорту Samarosa.

Таблиця 3.

Вартість підготовки ґрунту в умовах Іспанії (складено за Medina et al. 2004).

Спосіб обробки ґрунту	Собівартість, євро/га
Соляризація (LDPE) + біофумігація	850
Solartex® 800 л/га + біофумігація	820
Solartex® 500 л/га + біофумігація	510
Solartex® 800 л/га	820
Solartex® 1100 л/га	1120
Solartex® 500 л/га + MNa 750 л/га	1070
Solartex® 800 л/га + MNa 750 л/га	1380
Solartex® 1100 л/га + MNa 750 л/га	1680

Варіант обробки з біофумігацією підвищував температуру ґрунту на 6, а з використанням Solartex® на 4°C, порівняно із звичайною обробкою.

Біофумігація із соляризацією збільшили врожайність полуниці сорту Samarosa на 16%, порівняно із звичайним методом вирощування без соляризації і біофумігації (Medina et al. 2004).

Ранній врожай для кращих обробок складав близько 250 г/рослину (проти менше 200 г/рослину за звичайного вирощування) із зростанням у ряду: Solartex® 800 л/га + MNa 750 л/га < Solartex® 500 л/га + MNa 750 л/га < Solartex® 800 л/га + біофумігація < Соляризація (LDPE) + біофумігація.

Загальний врожай для кращих обробок склав близько 600 г/рослину (проти менше 500 г/рослину за звичайного вирощування) із його зростанням у ряду: Solartex® 1100 л/га + MNa 750 л/га < Solartex® 800 л/га + MNa 750 л/га < Соляризація (LDPE) + біофумігація < Solartex® 500 л/га + MNa 750 л/га.

Вартість обробки Соляризація + біофумігація на 24% дешевша (850 євро/га), ніж використання для фумігації МБу (1120 Євро/га). Недоліком LDPE є те, що її треба видаляти із поля після соляризації, а також те, що її може підняти вітер, пошкодити дикі чи домашні тварини. Solartex® прилягає до ґрунту краще і його не треба видаляти, а просто дискувати для прискорення його деградації у ґрунті мікробами (Medina et al., 2004).

Виробники полуниці на Закарпатті могли б використати цю чи подібну технологію для вирощування високоякісної полуниці на експорт, але, можливо, даватиме кращі результати із використанням плівкових тунелів чи теплиць.

Біофумігація та соляризація розглядаються як перспективні альтернативні хімічним методи контролю нематод (Hafes et al. 2003, Guerena 2006).

### Висновки та рекомендації

Із представленого огляду випливає, що серед зареєстрованих на сьогодні агрохімікатів не існує хімічних альтернатив МБу за спектром активності та ефективністю дії як фуміганту для обробки ґрунту перед висаджуванням чи засівом культур.

Пестициди ХП і 1,3-Д (Telone) забезпечують значний контроль багатьох патогенів рослин у ґрунті, стимуляцію росту однорічних культур. Але, контроль ними небажаних рослин, хвороб повторної посадки обмежений.

Генератори метил ІТЦу, як MNa, мають широку біоцидну активність, та їх важче застосовувати ефективно. В основному, альтернативні хімікати використовують як суміші (наприклад, 1,3-Д та ХП) або послідовно (наприклад, ХП, а далі – MNa). Їх також можна замінити більш специфічними пестицидами і культуральним контролем.

Серед альтернатив МБу можливі також ЙМ, ПБ, які мають активність подібну до МБу у ґрунті. Однак, всі хімічні альтернативи МБу є суб'єктами досліджень, які ще тривають, та суворих регуляцій. Більше того, ми не знаємо перспектив реєстрації нових фумігантів, що їх створюють. Можливо умови реєстрації вимагатимуть обмеженого використання цих хімікатів.

Та є альтернативи використанню хімічних фумігантів – біофумігація і соляризація ґрунту.

Присутність у рослинах *Brassicaceae* високих кількостей ГЛТів та ензиму мірозінази, яка каталізує їх гідроліз, забезпечує високу біоцидну активність окремих продуктів гідролізу (в основному, ІТЦів та нітрилів) і дає можливість звільняти ґрунт від шкідливих організмів шляхом вирощування певних культур цієї родини на зелене добриво.

Використання цієї технології в полі може бути ефективним для кращого вирощування, наприклад, полуниці, порівняно із звичайними зеленими

добривами. Це є доказом можливості застосування ГЛТ-мірозіназної системи як природної альтернативи фумігації ґрунту МБом.

За біофумігаційними властивостями і зручністю їх використання культури з родини *Brassicaceae* є кращими культурами, але слід проводити дальший пошук і в інших родин, в тому числі серед диких рослин. Зокрема, в Закарпатті є можливість використання сорго.

Для біофумігації можна також застосувати гної, компости, органічні відходи сільського господарства та харчової промисловості. Разом із рослинами-біофумігантами у ґрунт можна вносити добавки, що його покращують, наприклад СаО, сечовину тощо, зменшені дози пестицидів.

Узагальнюючи вище описані результати і методи, біофумігацію краще здійснювати такими операціями:

- 1) введення свіжої біомаси рослин у ґрунт. Приорюють культуру на зелене добриво на місці або доставляють масу таких культур з іншої ділянки, попередньо підготовивши ґрунт на даній ділянці
- 2) полив ґрунту на рівні його польової вологості
- 3) щільне вкривання поверхні ґрунту прозорою пластиковою плівкою (як правило, використовують рулон поліетиленової плівки, який укладають з допомогою трактора) або розприскуванням полімеру на 3-4 тижні
- 4) видалення плівки або дискування для посилення деградації полімеру і розрихлювання для видалення з ґрунту газів
- 5) висаджування чи засів культури для вирощування через 24 години.

За умов сонячної погоди, прозора непроникна для газів плівка забезпечує одночасну соляризацію ґрунту. В умовах Закарпаття соляризацію легше здійснити у плівкових теплицях або низьких тунелях. Для застосування соляризації у розсадниках необхідним є перехід на контейнерну систему вирощування саджанців із використанням плівкових теплиць та тунелів.

Знання із біофумігації, соляризації швидко прогресують, але їх тонкі механізми впливу на систему ґрунту вивчені мало. Є можливість поєднати ці технології на практиці. Ефективне їх використання потребує спільної роботи науковців, агрономів і сільськогосподарських виробників.

Для Закарпаття як густонаселеної рекреаційної зони актуальним є широке використання біофумігації, соляризації, з метою зменшення витоку агрохімікатів у довкілля, забезпечення достатньої продуктивності рослинництва.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аллелопатическое почвоутомление/ А.М. Гродзинский, Г.П. Богдан, Э.А. Головки и др. Киев, 1979.
2. Гродзинский А. М. Санитарная роль крестоцветных культур в севообороте // Аллелопатия и продуктивность растений: Сб. науч. тр. / АН УСХП. Центр. респ. бот. сад. Киев, 1990.- С. 3–14.
3. Мороз П.А. и др., отв. ред. А. М. Гродзинский. Аллелопатия в плодовых садах.- Киев, 1990.
4. Павленко В.Ф., Андриенко М. В. Микроорганизмы почв яблоневых насаждений. Киев, 1995.
5. Педро В., Каррера Т. Показатели агротелона лучше бромистого метила в Испании и Марокко//Бюл. OzoneAction.- 2004.- N48.- P.8.
6. Поплавский В.А. Влияние биофумигации почвы яровым рапсом на качество саженцев яблони и развитие микрофлоры почвы// Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі.- 2006.- №5.- С.141-145.
7. Савич В.И., Амергужин Х.А., Соловьева А.В. и др. // Агрохимия. 1999. № 1. С. 5–11.
8. Си Ахмед. Случай из практики: отказ от традиции – в Македонии бромистый метил уже не используют для рассады табака// Ozone Action.- 2003.- N46.- P.7
9. Шнайдер С. Новые фумиганты для саженцев виноградной лозы// Ozone Action.- 2003.- N46.- P.7
10. Abdel-Samie F.S., El-Bially M.E. *Azolla* and chemical as well as manual weed control methods in two rice varieties// Annals of Agricultural Science, Moshtohor.- 1996.- Vol.34, P.125-138.
11. Al-Katib K., Libbey C., Boydston R. Weed suppression with *Brassica* green manure crops in green pea// Weed Science.- 1997. – Vol.45, P. 439-445.
12. Aponte A., Pérez A., Tablante J. Control de malezas y plagas en tomate con la utilización de residuos de cosecha// FONAIAP Divulga.- 1992.- Vol. 9.- P.10-15.
13. Åhman, I. Toxicities of Host Secondary Compounds to Eggs of the *Brassica* Specialist *Dasineura brassicae*// J. Chem Ecol. 1986.- Vol. 12.- P. 1481-1488.
14. Angus J. F., van Herwaarden A. F., Howe G. N. Productivity and break-crop effect of winter growing oilseeds. // Aust. J. Exp. Agric.- 1991.- Vol. 31.- P.669-677.
15. Angus J.F., Gardner P.A., Kirkegaard J.A., Desmarchelier J.M. Biofumigation: Isothiocyanates released from *Brassica* roots inhibit growth of the take-all fungus. Plant and Soil.- 1994.- Vol.162.- 107-112.
16. Akiew S., Trevorrow P.R., Kirkegaard J. A. Mustard green manure reduces bacterial wilt// ACIAR Bacterial Wilt Newsletter.- 1996.- Vol.13.- P.5-6.
17. Alvarez R.A., Moore C.B. Quantum Yield for Production of CH<sub>3</sub>NC in the Photolysis of CH<sub>3</sub>NCS// Science 1994.- Vol. 263.- P. 205-207.
18. Álvarez M., García M., Treto E., Fernández L. Efecto de diferentes tipos de leguminosas intercaladas sobre el rendimiento de la malanga// Cultivos Tropicales.- 1996.- Vol.17.- P. 5-8.

19. Antoniou P. P., Tjamos E.C., Panagopoulos C.G. Reduced doses of methyl bromide, impermeable plastics and solarization against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* of cucumbers and *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* of tomatoes. Proceedings of the 10th Mediterranean Phytopathological Congress. Montpellier, France, 1997.- 653-655.
20. Arias M., López-Pérez J.A., Sanz R., Escuer M. Alternatives to methyl bromide to control nematodes in a cucumber-swiss chard rotation in greenhouses// Abstract of XXXI Annual Meeting ONTA. 21-25 June, 1999, San Juan, Puerto Rico.- Nematologica.- 1999.- Vol.- 29.- P.115.
21. Arias M., García-Álvarez A., Sanz R., Díez-Rojo M.A., Goitia C., Bello A. Biofumigation and management of *Xiphinema index* Thorne Allen, 1950 in vineyard replant//Dpto Agroecologia, CCMA, CSIC, Serrano 115 dpdo, E-28006 Madrid, Spain. – Abstract .- 2005.- 1p.
22. Arnoldo M., Baszcynski C.L. Bellemare G., Brown G., Carlson J., Gillespie B., Huang B., MacLean N., MacRae W.D., Rayner G., Rozakis S., Westecott M., Kemble J.G. Evaluation of Transgenic Canola Plants under Field Conditions// Genome.- 1992.- Vol.- 35.- P. 58-63.
23. Ashley M.G., Leigh B.L., Lloyd L.S. The Action of Metham-Sodium in Soil. J. Sci. Food Agric. -1963.- Vol. 14.- P. 153-161.
24. Ascard J., Jonasson T. White Mustard Meal Interesting for Weed Control// In Weeds and Weed Control. Reports. 32nd Swedish Crop Protection Conference. Swedish University of Agricultural Sciences: Uppsala.- 1991.- P. 139-155.
25. Ambrosio M.M.Q., Nascimento S.R.C., Negreiros M.Z., Oliveira O.F. Controle de damping-off e plantas invasoras em tomateiro através da solarização// *Fitopatologia Brasileira*.- 2000.- Vol. 25.- P. 353.
26. Anju Kamra, Gaur H. S. Control of nematodes, fungi and weeds in nursery beds by soil solarization//Internat. J. Nematol.- 1998.- Vol. 8.-P.46-52.
27. Barraclough, P.B. Root growth, macro-nutrient uptake dynamics and soil fertility requirements of a high-yielding winter oilseed rape crop// Plant Soil.- 1989. – Vol. 119.- P.59–70.
28. Bartlet E., Parsons D., Williams I.H., Clark S.J. The Influence of Glucosinolates and Sugars on Feeding by the Cabbage Stem Flea Beetle, *Psylliodes chrysocephala*// Ent. Exp. Appl.- 1994.- Vol.73.- P. 77-83.
29. Bailey S.D., Bazinet M.L., Driscoll J.L., McCarthy A.I. The Volatile Components of Cabbage. J. Food Sci. 1961.- Vol. 26.- P. 163-170.
30. Baptista M.J., B de Souza R., Pereira W., Lopes C.A., Carrijo O.A. Efeito da solarização e biofumigação na incidência da murcha bacteriana em tomateiro no campo //Horticultura Brasileira/Hortic. Bras. -April/June 2006.- Vol.24, N2.
31. Batra V, Prakash S., Shivanna K.R. Intergeneric Hybridization between *Diplotaxis siifolia*, a Wild Species and Crop Brassicas// Theor. Appl. Genet. 1990.- Vol. 80.- P. 537-541.



32. Beekhuis H.A. Technology and Industrial Applications// In Chemistry and Biochemistry of Thiocyanic Acid and Its Derivatives. Ed.: Newman A.A., Academic Press: London 1975.- P. 222-255.
33. Bello A., López-Pérez J. A., Díaz-Viruliche L., de León L., Sanz R., Escuer M. Local resources as methyl bromide alternatives in nematodes control. Abstracts of the XXXI Annual Meeting ONTA, June 21-25, San Juan, Puerto Rico// Nematropica 1999a.- Vol. 29.-P. 116.
34. Bello A., J.A. López-Pérez, R.Sanz, M.Escuer, J.Herrero. 2000b. Biofumigation and organic amendments. Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries, United Nations Environment Programme (UNEP), Francia, 113-141.
35. Bello A., Escuer M., Tello J. Problemas nematológicos de los cultivos de Guatemala y su manejo agronómico// Abstracts of the XXXI Annual Meeting ONTA, June 21-25, 1999, San Juan, Puerto Rico. Nematropica.- 1999.- Vol.29, 116-117.
36. Bello, A., J.A. López-Pérez, L. Díaz-Viruliche, R.Sanz. 2000a. Biofumigation, solarization and nematode control. XXV International Nematology Symposium, April 2-7, 2000, Herzliya, Israel.
37. Bello, A., M. Escuer, R. Sanz, J. A. López-Pérez, P. Guirao. 1997. Biofumigación, nematodos y bromuro de metilo en el cultivo de pimiento// In: A. López, J. A. Mora (Eds). Posibilidad de Alternativas Viabes al Bromuro de Metilo en Pimiento de Invernadero. Consejería de Medioambiente, Agricultura y Agua, Murcia, España, 67-108.
38. Bellostas N., Sørensen J.C., Sørensen H. Qualitative and quantitative evaluation of glucosinolates in cruciferous plants during their life cycles//Agroindustria.- 2004.-Vol.3.-N3.- P.5-10.
39. Bending G.D., Lincoln S.D. Characterization of volatile sulphur-containing compounds produced during decomposition of *Brassica juncea* tissues in soil// Soil Biol. Biochem.- 1999.- Vol.31.- P. 695 – 703.
40. Bennett R.N., Wallsgrove R.M. Tansley review no. 72 secondary metabolites in plant defense mechanisms// New Phytol.- 1994.- Vol.127.- P 617-633.
41. Bennett R, Donald A, Dawson G, Wallsgrove R. Aldoxime-forming microsomal-enzyme systems involved in the biosynthesis of glucosinolates in oilseed rape (brassica-napus) leaves//Plant Physiol.- 1993.- Vol.102,N4.- P.1307-1312.
42. Bialy Z., Oleszek W., Lewis J., Fenwick G.R.. Allelopathic potential of glucosinolates (mustard oil glycosides) and their degradation products against wheat// Plant and Soil.- 1990.- Vol.129.- P.277-281.
43. Bjorkman R, Janson JC. Studies on myrosinases.1. purification and characterization of a myrosinase from white mustard seed (*S. alba* L.)// Biochim Biophys Acta.- 1972.- Vol. 276,N2.- P.508.
44. Blok W.J., Lamers J.G., Termorshuizen A. J., Bollen G.T. Control of soil-borne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping// Phytopathology.- 2000.- Vol. 90, 253-259.

45. Blok W.J., Slomp C.P., Termorshuizen A.J., Lamers J.A. Control of soil-borne pathogens by inducing soil anaerobiosis// *Phytoparasitica*.- 1998.- Vol. 26.- P.244.
46. Borek V., Morra M.J., Brown P.D., McCaffrey J.P. Transformation of the glucosinolate-derived allelochemicals allyl isothiocyanate and allylnitrile in soil// *J. of Agr. Food Chem.*- 1995.- Vol. 43.- P. 1935 – 1940.
47. Borek V., Elberson L.R., McCaffrey J.P., Morra M.J. Toxicity of Rapeseed Meal and Methyl Isothiocyanate to Larvae of the Black Vine Weevil (*Coleoptera: Curculionidae*)// *J. of Econ. Entomol.* -1997.- Vol. 90, N1.- P.109-112.
48. Boydston R.A., Hang A. Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato (*Solanum tuberosum*)// *Weed Technology*.- 1995.- Vol. 9.- P. 669-675.
49. Brader G., Tas E., Palva E.T. Jasmonate-dependent induction of indole glucosinolates in Arabidopsis by culture filtrates of the nonspecific pathogen *Erwinia carotovora*// *Plant Physiol.* 2001.- Vol.126.- P.849-860.
50. Brown P.D., Morra M.J., McCaffrey J.P., Auld D.L., Williams L., Allelochemicals produced during glucosinolate degradation in soil// *J. of Chem. Ecol.*- 1991. - Vol. 17.- P. 2021 – 2034.
51. Brown P.D., Morra M.J. Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants//*Advan. Agron.* 1997. –Vol.61.- P. 167-231.
52. Brown J., Morra M.J. Glucosinolate-Containing Seed Meal as a Soil Amendment to Control Plant Pests// Subcontract Report NREL/SR-510-35254.- July 2005.- [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
53. Bryant D. Biofumigation monitored with brassica covers// Western farm press.- Oct 18, 2003 12:00 PM.- [www.westernfarmpress.com](http://www.westernfarmpress.com) 2007 Penton Media, Inc.
54. Buchwaldt L., Larsen L.M, Ploger A. Fast polymer liquid-chromatography isolation and characterization of plant myrosinase, beta-thioglucoside glucohydrolase, isoenzymes// *J. Chromatogr.* 1986.- Vol.363,N1.- P. 71-80.
55. Burmeister W.P., Cottaz S., Driguez H. The crystal structures of *S. alba* myrosinase and a covalent glycosyl-enzyme intermediate provide insights into the substrate recognition and active-site machinery of an S-glycosidase// *Structure*.- 1997.- Vol. 5, N5.- P.663-675.
56. Buskov S., Serra B., Rosa E., Sorensen H., Sorensen J.C. Effects of intact glucosinolates and products produced from glucosinolates in myrosinase-catalyzed hydrolysis on the potato cyst nematode (*Globodera rostochiensis* cv. Woll) // *J. Agr. Food Chem.*- 2002.- Vol. 50.- P.690-695.
57. Candole B.L., Rothrock C.S. Characterization of the suppressiveness of hairy vetch-amended soils to *Thielaviopsis basicola*// *Phytopathology*.- 1997.- Vol. 87.- P. 197-202.
58. Cascone et al. Effectiveness Of Greenhouse Soil Solarization With Different Plastic Mulches in Controlling Corky Root and Root-Knot on Tomato Plants// International Symposium on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestations", ISHS Acta Horticulturae 532, Eds: M. L. Gullino, J. Katan, M. Matta, Sep. 1, 2000, ISBN 906605932X.- P.145.

59. Cebert E., Ward R. Biofumigation in Combination with Conservation Tillage to Control Reniform Nematode in Cotton// The ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting (November 6-10, 2005) Abstract. Tuesday, 8 November 2005
60. Chan M.Y.K., Close R.C. *Aphanomyces* root rot of peas. 3. Control by the use of cruciferous amendments// N.Z.J.Agric.Res.- 1987.- Vol. 30.- P.225-233.
61. Chen Y, Gamliel A., Stapleton J.J., Aviad T. Chemical, physical and microbial changes related to plant growth in disinfested soils// In Katan J., DeVay J.E. (eds.) Soil Solarization. Boca Raton, FL: CRC Press.-1991.- P. 103-129.
62. Choesin D.N., Boerner R.E.J. Allyl isothiocyanate release and the allelopathic potential of *Brassica napus* (*Brassicaceae*)// Am. J. Bot. 1991.- Vol.78, N8.- P.1083-1090.
63. Cloutier D.C., Marcotte R., Leblanc M.L. Evaluation du potentiel des cultures intercalaires et des engrais verts contre les populations de mauvaises herbes. In Maitrise des adventices par voie non chimique. Communications de la Quatrieme Conference Internationale, Dijon, France, 5-9 July 1993. - 1994.- 2.- P. 201-205.
64. Daugovich O. Exploring biofumigation potential of mustards// Biofumigation update.- 2003.-N18.-P.2
65. Daugovish O., Downer J. Exploring Brassicaceae-derived Biofumigation for Soilborne Pest Management//ASAE Annual Meeting 2006.- Paper number 067020, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.- www.asabe.org
66. Davis et al. Effects of Green Manure on *Verticillium* Wilt of Potato// Phytopathology 1996.- Vol.86, P.444.
67. Davison E, McKay A. *Pythium* disease – also intractable to metham sodium// Biofumigation update.- 1999.- N9.- P.2.
68. Davison E., McKay A. Reduced persistence of metalaxyl in carrot soil// How degrading.- 2000.- N2.- P.2.
69. Dawson GW, Hick AJ, Bennett RN, Donald A., Pickett J., Wallsgrove RM. Synthesis of glucosinolate precursors and investigations into the biosynthesis of phenylalkylglucosinocates and methylthioalkylglucosinolates// J. Biol. Chem.- 1993.- Vol.268, N36.- P. 27154-27159.
70. Deadman M., Al Maqbali Y., Al Sa'di A., Al Hasani H., Al Nabhani M. Biofumigation for the management of damping off in greenhouse cucumbers in the sultanate of Oman// ISHS Acta Horticulturae 731: III International Symposium on Cucurbits.-2006 <http://www.actahort.org/books/731/index.htm>
71. DeVay J.E., Stapleton J.J., Elmore C.L. (eds.) Soil solarization// Plant Production and Protection Paper 109. Rome: FAO/UN.- 396 p.
72. DeVay J.E., Stapleton J.J., Elmore C.L. (eds.) Soil solarization// Plant Production and Protection Paper 109. Rome: FAO/UN.- 1991.- 396 p.
73. Dhanapal G.N., Struik P.C., Timmermans P.C.J.M., ter Borg S.J. Postemergence control of broomrape with natural plant oils// J. of Suist. Agriculture.- 1998.- Vol. 11.- P. 5-12.

74. Drobnica L., Zemanova M., Nemecek P., Antos K., Kristian P., Stullerova A., Kuoppova V., Nemecek P.// *Appl. Microbiol.*- 1967.- Vol. 15, 701 - 703.
75. Dunne C. Control of sudden death in cultivated proteas from the Southwest of Western Australia.- PhD thesis Murdoch Univ.-2004.- 185 p.
76. Duniway J.M. Status of Chemical Alternatives to Methyl Bromide for Pre-Plant Fumigation of Soil// *Phytopathology* 2002.-Vol.92.- P.1337-1343.
77. Dyck E., Liebman M., Erich M.S. Crop-weed interference as influenced by a leguminous or synthetic fertilizer nitrogen source: I. Doublecropping experiments with crimson clover, sweet corn and lambsquarters// *Agriculture, Ecosystems and Environment.*- 1995.- Vol. 56.- P. 93-108.
78. Eberlein C.V., Morra M.J., Guttieri M.J., Brown P.D., Brown J. Glucosinolate production by five field-grown *Brassica napus* cultivars used as green manures// *Weed Technology.*- 1998.-Vol. 12, P.712-718.
79. Edwards J.H., Walker R.H., Webster W.B. Effect of non-composted organic waste as residues on cotton yields. Proceedings Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California. National Cotton Council.- P. 1561-1563.
80. Elberson, L.R., V. Borek, J.P. McCaffrey, J.Morra. Toxicity of rapeseed meal-amendment soil to wireworms, *Limoniuss californicus* (*Coleoptera: Elasteridae*)// *J.Agric.Entomol.* - 1996.- Vol. 13.- P. 323-330.
81. Elena K., Tjamos E.C. Control of *Fusarium* wilt of carnation by soil solarization singly or in combination with fungal or bacterial biocontrol agents// In: E. C. Tjamos, G.C. Papavizas, R.J. Cook (Eds). *Biological Control of Plant Diseases. Progress and Challenges for the Future.*, NATO ASI Series A, Life Sciences, Plenum Press, 1992. - Mol. 230. – P. 75-78.
82. Elena K., Paplomatas E.J., Petsikos-Panayotarou N. Bio-disinfestation: an alternative method to control soil pathogens. Proceedings of International Workshop "Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries", Heraklio, Creta, Grecia, 1999.- P. 81-82.
83. Ellenby C. The influence of crucifers and mustard oil on the emergence of larvae of the potato-root eelworm, *Heterodera rostochiensis* Wollenweber// *Annals of Applied Biology.*- 1945.- Vol. 32.- P.67-70.
84. Elmore C.L. Weed control by solarization// In: Katan J., DeVay J.E. (eds). *Soil Solarization*. CRC Press, Boca Raton, 1991.- P.61-72.
85. Elmore C.L., Stapleton J.J., Bell C.E., DeVay J.E. Soil solarization: A nonpesticidal method for controlling diseases, nematodes and weeds. UC DANR Pub. 21377, Oakland, CA.- 1997.- 14 p.
86. Elberson, L.R., V. Borek, J. P. McCaffrey, and M. J. Morra. Toxicity of Rapeseed Meal-amended Soil to Wireworms, *Limoniuss californicus* (*Coleoptera: Elasteridae*)//*J. of Agric. Entomol.* -1996. -Vol.13,N4.- P.323-330.
87. Elmore C.L., Roncoroni J., MacDonald J., Bolkin L., Zasala I., Ferris H., Tjosvold S. 2000.“Solarization and biofumigation for Field-grown Flowers.” 2000 Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, November, Orlando, FL, 2000.- Number 96.

88. Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants// *Phytochemistry*.- 2001.- 56, N1.-P.5-51.
89. Falk A, Ek B, Rask L. Characterization of a new myrosinase in *Brassica-napus*// *Plant Mol. Biol.*- 1995.- Vol.27, N5.- P.863-874.
90. Fiddaman P.J., Rossal S. The production of antifungal volatiles by *Bacillus subtilis*// *J. Appl. Bacteriol.*- 1993.- Vol. 74.- P.119-126.
91. Fiddaman P.J., Rossal S. Effect of substrate on the production of antifungal volatiles from *Bacillus subtilis* // *J. Appl. Bacteriol.*- 1994.- Vol. 76.- P.395-405.
92. Fieldsend J., Milford G.F.J. Changes in glucosinolates during crop development in single- and double-low genotypes of winter oilseed rape (*Brassica napus*): I. Production and distribution in vegetative tissues and developing pods during development and potential role in the recycling of sulphur within the crop// *Ann. Appl. Biol.*- 1994.- Vol.124.- P.531-542.
93. Forrest J.M.S. The effects of desiccation and root diffusates from potato and mustard on eggs of the white potato cyst nematode *Globodera pallida* // *Annals of Applied Biology*.- 1989.- Vol.114.- P. 215-219.
94. Fravel D.R. Biocontrol of *Verticillium* wilt of eggplant and potato// *In* : E.C. Tjamos, C.H. Beckman (Eds). *Vascular Wilt Diseases of Plants*. Springer-Verlag, Berlin.- 1988.- P. 487-492.
95. Gabler Mlikota F., Fassel R., Mercier J., Smilanick J. L. Influence of Temperature, Inoculation Interval, and Dosage on Biofumigation with *Muscodor albus* to Control Postharvest Gray Mold on Grapes// *Plant Disease*.- 2006.- Vol. 90, N8.- P.1019-1025.
96. Gamliel A., Stapleton J.J Effect of soil amendment with chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms and lettuce growth// *Plant Disease*.- 1993b.- Vol. 77.- P.886-891.
97. Gamliel A., Stapleton J.J. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues// *Phytopathology*.- 1993a.- Vol.83.- P. 899-905.
98. Gamliel A., Austerweil M., Kritzman G., Pérez I. Combined organic amendments with soil heating to control soil-borne plant pathogens// *Annual Intern. Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions*, Nov. 1-4, 1999, San Diego, California, 1999.- 27, P.1-2.
99. Garcia Álvarez A., Bello A., Sanz R., Piedra Buena A., Monserrat A., Díez Rojo M.A. Biofumigation as an alternative to methyl bromide for the production of tomatoes and other vegetables. Dpto Agroecología, Centro de Ciencias Medioambientales, Madrid, Protección y Sanidad Vegetal. Estación Sericícola 30510 La Alberca (Murcia) Spain, 2007.
100. Garibaldi A., Gullino M.L. Soil solarization in Southern European countries, with emphasis on soilborne diseases control of protected crops// *In*: J. Katan, J. E. de Vay (Eds). *Solarization*. CRC Press Boca Raton Ann Arbor Boston, London, UK, 1991. – P. 227-235.

101. Gardiner J., Morra M.J., Eberlein C.V., Brown P.D., Borek V. Allelochemicals released in soil following incorporation of rapeseed (*Brassica napus*) green manures// Journal of Agricultural and Food Chemistry.- 1999. - Vol.47.- P. 3837 – 3842.
102. Ghini R., Bettiol W., Spadotto C.A., Moraes G.J., Paraiba L.C., Mineiro J.L.C. Soil solarization for the control of tomato and eggplant *Verticillium* wilt and its effect on weed and micro-arthropod communities// *Summa Phytopathologica* 1993.- Vol.19.- P. 183-189.
103. Ghini R, Shoenmaker I.A.S., Bettiol W. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp.// *Pesquisa Agropecuária Brasileira*.- 2002.- Vol.37.- P.1253-1261.
104. Golpa Krishnan, D.L. Holshouser, S.J. Nissien. Weed control in soybean (*Glycine max*) with green manure crops// *Weed technology*.- 1998.- Vol.12.- P. 97-102.
105. Gouws R. Biofumigation as alternative control measure for common scab on potatoes in South Africa// First International Biofumigation Symposium, Florence, Italy, April 2007.
106. Greenberger A., Yogev A., Katan J. Induced suppressiveness in solarized soils// *Phytopathology*.- 1987. –Vol. 77.- P.1663-1667.
107. Grob K, Matile P. Vacuolar location of glucosinolates in horseradish root-cells// *Plant Sci Lett*.- 1979.-Vol.14, N4.- P.327-335.
108. Grünzweig J.M., Katan J., Bem-Tal Y., Rabinowitch H.D. The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soil//*Plant and Soil*.- 1999.- Vol. 206.- P. 21-27.
109. Guereña M. Nematodes: Alternative Controls. ATTRA.- 2006.
110. Hafez S.L., Palanisamy S. Nematode Management// In: Stark J.C., Love S.L., co-editors. Potato Production Systems. Chapter 11. University of Idaho Center for Potato Research and Education.-2003.
111. Halbrendt J.M., Jing G. Nematode suppressive rotation crops for orchard renovation// *Acta Horticulture*.- 1994.- Vol.363.- P.49 – 56.
112. Halbrendt J.M. Renovation of replant sites with cover crops // *The Maryland grapevine*.- 1995.- Vol. 15, N 3.- P.14–15.
113. Halbrendt J.M., Jing G. Nematode suppressive rotation crops for orchard renovation// *Acta Horticulturae* no. 363 / Proceedings of the Third International Symposium on Replant Problems (Penticton, Canada). Editor Utkhede R. International Society for Horticultural Science (ISHS). Wageningen (Netherlands): ISHS. 1994. P. 19–21.
114. Halkier B.A, Du L.C. The biosynthesis of glucosinolates// *Trends Plant Sci*.- 1997.- Vol.2, N11.- P.425-431.
115. Halkier B.A., Gershenzon J. Biology and Biochemistry of Glucosinolates//*Annual Review of Plant Biology* 2006.- Vol.57.- P. 303-333.
116. Harvey S.G., Sams C.E. *Brassica* Biofumigation Increases Marketable Tomato Yield, Knoxville Experiment Station, 2001.
117. Hendersen H.M, McEwen T.J. Effect of ascorbic-acid on thioglucosidases from different crucifers. *Phytochemistry*.- 1972.- Vol.11, N11.- P.3127.

118. Hintzsche E., Pallut B. Increasing occurrence of creeping thistle. Zunehmendes Auftreten der Ackerkratzdistel// PSP Pflanzenschutz Praxis.- 1995.- Vol. 3.- P. 23-25.
119. Hockland S. PCN – Options for the organic grower. Central Science Laboratory. Rothamsted 2003 presentation.
120. Hoestra H. Replant diseases of apple in the Netherlands. Wageningen: H. Veenman & Zonen N. V. 1968.
121. Hoffland, E., G.R. Findenegg, J.A. Nelemans. Solubilization of rock phosphate by rape. II. Local root exudation of organic acids as a response to P-starvation// Plant and Soil.- 1989.- Vol.113.- P.161-165.
122. Horiuchi S., Hori M., Takashi S., Shimuzu K. Factors responsible for the development of clubroot-suppressing effect in soil solarization// Bull.Chugoku Nat. Agric. Exp. Stn. 1982.- E20, 25.
123. Hunter, B.B., T. Hall, M.T. Lyons, T.K. Bell. 1997. Field application of sewage and spent mushroom compost in conjunction with Basamid, a fumigant, to control the root pathogen, *Cylindrocladium scoparium*, in forest nursery soils. International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-5, 1997, San Diego, California, 45, 1-4.
124. Isse A.A., MacKenzie A.F., Stewart K., Cloutier D.C., Smith D.L. Cover Crops and Nutrient Retention for Subsequent Sweet Corn Production// Agronomy Journal.- 1999.- Vol.91.- P. 934-939.
125. Jackson L.E., Wyland L.J., Stivers L.J. Winter cover crops to minimize nitrate losses in intensive lettuce production// Journal of Agricultural Science.- 1993.- Vol. 121.- P.55-62.
126. Jackson, L.E., L.J. Wyland, and L.J. Stivers. 1993. Winter cover crops to minimize nitrate losses in intensive lettuce production. Journal of Agricultural Science 121:55-62.
127. Jacobs J.J., Engelberts A., Croes A.F., Wullems G.J. Thiophene synthesis and distribution in young developing plants of *Tagetes patula* and *Tagetes erecta* //J. of Exp. Botany.- 1994.- Vol.45.- P.1459-1466.
128. James D.C, Rossiter J.T. Development and characteristics of myrosinase in *Brassica-napus* during early seedling growth. *Physiol Plantarum*.- 1991.- Vol.82, N2.- P.163-170.
129. Jing G. N. Evaluation of the nematicidal properties of cruciferous plants for nematode management in replant orchards. Ph.D. dissertation. The Pennsylvania State University. University Park. 1994.
130. Johnson A.W., Golden A.M., Auld D.L., Sumner D.R. Effect of rapeseed and vetch as green manure crops and fallow on nematodes and soil-borne pathogens// J. Nematol.- 1992.- Vol. 24.- P. 117–126.
131. Katan J. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests// *Annual Review of Phytopathology*.- 1981.- Vol.19.- P.211-36.
132. Katan J. Soil solarization. In Chet I. (ed.). Innovative approaches to plant disease control.- John Wiley & Sons, New York.-1987.- P.77-105.
133. Katan J. Soil solarization. In Chet I. (ed.). Innovative approaches to plant disease control.- John Wiley & Sons, New York.-1987.- P.77-105.

134. Katan J., Fishler G., Grinstein A. Short and long-term effects of soil solarization and crop sequence on *Fusarium* wilt and yield of cotton in Israel// *Phytopathology*.- 1983.- Vol.73.- P.1215-1219.
135. Katan J., de Vay J.E. (Eds). *Solarization*. CRC Press Boca Raton Ann Arbor, Boston, London, 1991. - 267 p.
136. Katan J., de Vay J.E., Greenberger A. The biological control induced by soil solarization. In: E.C.Tjamos, C.H. Beckman (Eds), *Vascular Wilt Diseases of Plants*.-1989.- P.493-499.
137. Kim K.K., D.R. Fravel, G.C. Papavizas. Identification of a metabolite produced by *Talaromyces flavus* as glucose oxidase and its role in the biocontrol of *Verticillium dahliae*// *Phytopathology*.- 1988.- Vol. 78.- P.488-492.
138. Kim Kilung, Park Kwangho. Weed management using a potential allelopathic crop// *Korean Journal of Weed Science*.- 1997.- Vol. 17.- P. 80-93.
139. Kirkegaard J.A., Angus J.F., Gardner P.A., Cresswell H.P. Benefits of brassica break crops in the Southeast wheatbelt// *Proc. 7th Aust. Agron. Cons.* Adelaide, 19-24 Sept., 1993a.- P.282-285.
140. Kirkegaard J.A., Gardner J., Desmarchelier J.M., Angus J.F. Biofumigation using *Brassica* species to control pest and diseases in horticulture and agriculture// *In: N. Wrather, R. J. Mailes (Eds). Proc. 9th Australian Research Assembly on Brassicas (Wagga Wagga)*.- 1993b. – P.77-82.
141. Kirkegaard J. Mustard green manure reduces bacterial wilt// *Biofumigation update*.- 1995.- N3.- P.2.
142. Kirkegaard J.A. et al. Project ID: SMCN/2000/114: Evaluating biofumigation for soil-borne disease management in tropical vegetable production. Australian Centre for International Agricultural Research. 2006.- ACIAR.htm
143. Kirkegaard J., Matthiessen J. Biofumigation off to a head start in cotton// *Biofumigation update*.- *Biofumigation update*.- 1999.- N9.- P.1.
144. Kirkegaard J., Matthiessen J. Biofumigation reseach project gets under way// *Biofumigation update*.- 1994.- N2.- P.1.
145. Kirkegaard J.A., Matthiessen J.N., Wong P.T.W., Mead A., Sarwar M., Smith B.J. Exploiting the biofumigation potential of brassicas in farming systems//10<sup>th</sup> International Rapeseed Congress.-Canberra,1999.
146. Kirkegaard J.A., Sarwar M. Biofumigation potential of brassicas: I. variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas// *Plant and Soil*.- 1998. – Vol. 201.- P. 71-89.
147. Kirkegaard J.A., Sarwar M., Matthiessen J.N. Assessing the biofumigation potential of crucifers // *ISHS Acta Horticulturae 459: International Symposium Brassica 97, Xth Crucifer Genetics Workshop*.- <http://www.actahort.org/books/459/index.htm>
148. Kirkegaard J.A., Sarwar M., Wong P.T.W., Mead A. Biofumigation by brassicas reduces Take-all infection *Proceedings of the Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy*.-1998.
149. Kirkegaard J.A., Wong P.T.W., Desmarchelier J.M. In vitro supression of fungal root pathogens of cereals by *Brassica* tissues // *Plant Pathol*.- 1996.- Vol. 45, P.593-603.



150. Kristensen H. L., Thorup-Kristensen K. Root Growth and Nitrate Uptake of Three Different Catch Crops in Deep Soil Layers // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2004.- Vol. 68.- p.529-537.
151. Kjaer A. Glucosinolates in the *Cruciferae*.- In: Vaughn J.G., Macleod A.J., Jones B.M.G. (eds) The Biology and Chemistry of the *Cruciferae*.- Academic Press, London. - 1976.- P.207-219.
152. Kodama T., Fukui T. Application of solar heating with plastic-film mulching in the outdoor field for control of *Fusarium* wilt of strawberries. Ann.Phytopatol.Soc.Jpn. 1982. – Vol.48.-P. 699-699.
153. Lazarovits G., Conn K., Kritzman G. High nitrogen containing organic amendments for the control of soilborne plant pathogens. International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-5, 1997, San Diego, California, 3, P.1-2.
154. Lazzeri L. The glucosinolate-myrosinase system – a natural and practical tool for biofumigation. Agrotechnology// Biofumigation update.- 2000.- N12.- P.1-2.
155. Lazzeri L., Manici L.M. Allelopathic effect of glucosinolate containing plant green manure on *Pythium* sp. and total fungal population in soil// Hort. Science.- 2001.- Vol.37, N7.- P.1283-1289.
156. Lazzeri L., Manici L.M. The glucosinolate-myrosinase system: a natural and practical tool for biofumigation. Proc. Internat. Symp. on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfection (Grugliasco, Italy). Eds: M.L. Gullino, J.Katan, A.Matta. International Society for Horticultural Science (ISHS).— Wageningen (Netherlands): ISHS. 2000. // Acta Hort.- 2000.- N532 P. 41–43.
157. Lazzeri L. GL-containing plants in biofumigation: new perspectives.- Research Institute for Industrial Crops, Bologna, Italy 2007.
158. Lazzeri L., Tacconi R., Palmieri S. *In vitro* activity of some glucosinolates and their reaction products toward a population of the nematode *Heterodera schachtii*// J. Agr. Food Chem.- 1993.- Vol.41.- P. 825 – 829.
159. Lazzeri L., Leoni O., Manici L.M. Biocidal plant dried pellets for biofumigation. 5th European Symposium on Industrial Crops and Products and the 3rd International Congress and Trade Show GreenTech 2002// Industrial Crops and Products.- 2004.- Vol.20,N1.- P. 59-65.
160. Lambrix V, Reichelt M, Mitchell-Olds T, Kliebenstein DJ, Gershenzon J. The *Arabidopsis* epithiospecifier protein promotes the hydrolysis of glucosinolates to nitriles and influences *Trichoplusia ni* herbivory// Plant Cell.- 2001.- Vol.13.- P.2793-2807.
161. Leoni O. The glucosinolate-myrosinase system – a natural and practical tool for biofumigation. Chemistry and analytical aspects// Biofumigation update.- 2000.- N12.- P.1.
162. Lenman M, Falk A, Rodin J. Differential expression of myrosinase gene families// Plant Physiol. 1993.- Vol.103, N3.- P.703-711.
163. Li Q., Eigenbrode S.D., Stringham G.R., Thiagarajah M.R. Feeding growth of *Putella xylostella* and *Spodoptera eridania* on *Brassica juncea* with varying

- glucosinolate concentrations and myrosinase activities// *J. of Chem. Ecol.* - 2000.- Vol. 26, N10.- P.2401-2419.
- 164.Li Shanlin, You Zhenguo, Liang, Duxiang, Li Sunrong, Wang Nanjin Extraction and separation of allelochemicals in wheat and its herbicidal efficacy on *Imperata cylindrica*// *Acta Phytophylacica Sinica.*- 1997. – Vol.24.- P.81-84.
- 165.Luthy B, Matile P. The mustard oil bomb - rectified analysis of the subcellular organization of the myrosinase system//*Biochem Physiol Pfl.*- 1984.- Vol.179, N1-2.- P. 5-12.
- 166.MacGibbon D.B., Allison R.M. A method for separation and detection of plant glucosinolases (myrosinases)// *Phytochemistry.*- 1970.- Vol. 9, N3.- P. 541.
- 167.Magrath R, Bano F, Morgner M, Parkin, I., Sharpe, A., Lister, C., Dean, C., Turner, J., Lydiate, D., Mithen, R. Genetics of aliphatic glucosinolates .1. side-chain elongation in *Brassica napus* and *Arabidopsis thaliana*// *Heredity.*- 1994.- Vol. 72 Part 3.- P.290-299.
- 168.Manici L. The glucosinolate-myrosinase system – a natural and practical tool for biofumigation. Soil-borne pathogen control// *Biofumigation update.*- 2000.- N12.- P.2.
- 169.Mathew G., Alexander D. Influence of intercropped green manure crops on weed pressure and grain yield of semi dry rice// *Madrás Agricultural Journal.*- 1995.- Vol. 82.- P. 66-67.
- 170.Matthiessen J. Enhanced biodegradation of soil applied fungicides// *Biofumigation update.*- 1999.- N9.- P.2.
- 171.Matthiesen J.N., Kirkegaard J.A. Biofumigation, a new concept for 'clean and green' pest and disease control// *Western Australian Potato Grower.*- Oct., 1993.- P.14-15.
- 172.Matthiessen J.N., Shackleton M.A. Biofumigation: environmental impacts on the biological activity of diverse pure and plant-derived isothiocyanates// *Pest Management Science.*- 2005.- Vol. 61, N11, P.1043-1051
- 173.Matthiessen J, Kirkegaard J. Biofumigation and Enhanced Biodegradation: Opportunity and Challenge in Soilborne Pest and Disease Management//*Critical Reviews in Plant Sciences.*-2006.-Vol. 25, N3, P. 235-265(31)
- 174.Matthiessen J., Warton B.Enhanced biodegradation of metham sodium soil fumigant – its real// How degrading.- 1999.- N1.- P.1.
- 175.Mazzola M. Progress towards development of biologically-based strategies for the management of apple replant disease // International conference on Biological and Proecological methods for control of diseases in orchards and small fruit plantations. Skierniewice, Poland. 29–31 Aug 2005. Editor A. Bielenin. Research Institute of Pomology and Floriculture. 2005.- P. 11–12.
- 176.Medina J.J., Miranda L., Romero F., De Los Santos B., Montes F., Vega J.M., Paez J.I., Bascon J., Soria C., López -Aranda The use of biofumigation with new type of solarisation films for strawberry production in Spain/ Fifth International Conferenceon Alternatives to Methyl Bromide, Lisbon 27-30 Sept. 2004.

177. Michel V.V., New T.W. Effect of a soil amendment on the survival of *Ralstonia solanacearum* in different soils// *Phytopathology*.- 1996.- Vol. 88.- P. 300-305.
178. Michel V.V., Wang J.F., Midmore D.J., Hertman G.L. Effects of intercropping and soil amendment with urea and calcium oxide on the incidence of bacterial wilt of tomato and survival of soil-borne *Pseudomonas solanacearum* in Taiwan// *Plant Pathology*.- 1997.- Vol. 46.- P. 600-610.
179. Mithen R, Clarke J, Lister C, Dean, C. Genetics of aliphatic glucosinolates. 3. side-chain structure of aliphatic glucosinolates in *Arabidopsis thaliana*// *Heredity*.- 1995.- Vol.74 Part 2.- P. 210-215.
180. Mojtahedi H., Santo G.S., Hang A.N., Wilson J.H., Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure. *J. Nematol.*- 1991.- Vol. 23.- P. 170 – 174.
181. Morra M.J., Kirkegaard J.A. Isothiocyanate release from soil-incorporated *Brassica* tissue// *Soil Biol. Biochem.*- 2002.- Vol. 34.- P.1683 – 1690.
182. Munnecke, D.E. Establishment of microorganisms in fumigated avocado soil to attempt to prevent reinvasion of the soils by *Phytophthora cinnamoni*// *Trans. Br. Mycol. Soc.* - 1984.- Vol. 83.- P. 287.
183. Müller C., Agergirk N., Olsen C.E., Boevé J., Schaffner U., Brakefield P.M. Sequestration of host plant glucosinolates in the defensive hemolymph of the sawfly *Athalia rosae*// *J. of Chem. Ecology.* - 2001.- Vol. 27, N12.- P.2505-2516.
184. Noble R.R.P., Sams C.E. Biofumigation as an alternative to methyl bromide for control of white grub larvae. Annual Intern. Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions, Nov. 1-4, 1999, San Diego, California, 92, 1999.- 3 p.
185. Noble R.P., Sams C.E. Biofumigation as an alternative to methyl bromide for control of white grub larvae// *Dpt. of Plant and Soil Sci. The University of Tennessee. P.O.Box1071.Knoxville.TN37901.*-2000.- 3 p.
186. Ngouajio M., Mutch D. Improving cropping systems with brassica biofumigants// *The New Agriculture Network's on-line newsletter.*- 2005.- Vol. 2, N4.- June 9.
187. Nyczepir A.P., Rodriguez-Kabana R.R. Effectiveness of biofumigation for ring nematode control in a young peach orchard. 1st International Symposium Biofumigation: A possible alternative to methyl bromide. 2004.- Vol.1.- P. 64-65. Abstract.
188. Nyczepir A.P., Rodriguez-Kabana R.R. Preplant biofumigation with sorghum or methyl bromide compared for managing *Crictonemoides xenoplax* in a young peach orchard// *Plant Disease.*-2007.- Vol. 91, N12.- P.1607-1611.
189. Oliveira A.E.A., Gomes V.M., Sales M.P., Fernandes K.V.S., Carlini C.R., Xavier-Filho J. The toxicity of jack bean (*Cannavalia ensiformis* (L.) D.C.) can a toxin to plant pathogenic fungi// *Revista Brasileira de Biologia.*- 1996. – Vol.59.- P. 59-62.
190. Otara C.O., Ndalut P.K. Application of *Conyza floribunda* extractives to control soil pathogens in tomato fields. Annual Intern. Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions, Nov. 1-4, 1999, San Diego, California, 1999.-20, 1 p.

191. Palmieri S. The glucosinolate-myrosinase system – a natural and practical tool for biofumigation. Introduction and rationale// Biofumigation update.- 2000.- N12.- P.1.
192. Pandey D.K. Inhibition of salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell) by parthenium (*Parthenium hydroporphorus* L.). I. Effect of leaf residue and allelochemicals// Journal of Chemical Ecology 1994a. –Vol. 20, P.3111-3122.
193. Pandey D.K. Inhibition of salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell) by parthenium (*Parthenium hydroporphorus* L.). I. Relative effect of flower, leaf, stem and root residue on salvinia and paddy// J. Chem. Ecol.- 1994b.- Vol. 20.- P.3123-3131.
194. Papavizas G.C., C.B. Davey. R. disease of bean as affected by decomposing green plant materials and associated microfloras// Phytopathology.- 1960.- Vol.60, 516-522.
195. Pattison A.B., Stanton J.M., Cobon J.A. Bioassay for enhanced biodegradation of nematicides in soil// Australian Plant Pathology.- 2000.- Vol.29.- P.52-58.
196. Petersen B.L., Chen S.X., Hansen C.H. Composition and content of glucosinolates in developing *Arabidopsis thaliana*// Planta.- 2002.-Vol. 214, N4.- P.562-571.
197. Petersen P.H. Varieties//[http://www.Welcome to Nematode-control\\_com.htm](http://www.Welcome to Nematode-control_com.htm)
198. Perrin R., Camporota P., Soulas M.L., Le Bihan B. The management of mycorrhizal symbiosis and solarization as an alternative to soil fumigation// In: A. Bello, J. A. González, M. Arias, R. Rodríguez-Kábana (Eds). Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries. DG XI EU, CSIC, Valencia, Spain.- 1998.- P.301-310.
199. Pinto S., Rosa E., Santos S. Effect of 2-propenyl glucosinolate and derived isothiocyanate on the activity of the nematodes *Globodera rostochiensis* (Woll.). (Proc. Internat. Symp. on Brassicas, Rennes, France, 23-27 Sept. 1997.)// Acta Horticulturae.- 1997.- N459.- P. 323-327.
200. Phelan J.R., Allen A., Vaughan J. G. Myrosinase in *Raphanus sativus* L.// Journal of Experimental Botany.- 1984.-Vol. 35, N10.- P. 1558-1564.
201. Ploeg A.T., Stapleton J. Glasshouse studies on the effects of time, temperature and amendment of soil with broccoli plant residues on the infestation of melon plants by *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*// Nematology.- 2001. -Vol. 3, P.855 – 861.
202. Ponnampereuma F.N. The chemistry of submerged soils// Advanced Agronomy.- 1972. -Vol. 24.- P. 29 – 96.
203. Porter I.J., Brett R.W., Wiseman B. Alternatives to methyl bromide: chemical fumigants or integrated pest management systems?// Australian Plant Pathology.-1999.- Vol.28.- P.65-71.
204. Potter M. Biofumigation – Fact or Fiction. South Australian Research and Development Institute.-2007.- <http://www.sardi.sa.gov.au/>
205. Potter M.J., Davies K., Rathjen A.J. Suppressive impact of glucosinolates in *Brassica* vegetative tissues on root lesion nematode *Pratylenchus neglectus* //J. Chem. Ecol. 1998.-Vol. 24.- P. 67-80.
206. Pung H. *Brassica* green manure crops appear to improve soil properties// Biofumigation update.- 2003.-N18.-P.2

207. Raderschall R., Gebhardt H. Field experiments on the N-dynamics of an aquatic pluggen soil cultivated with winter crops following legumes (*Vicia faba* L.). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*.- 1990. -153.- C.75-80.
208. Ramirez-Villapudua J., Munnecke D.M. Control of cabbage yellows (*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*) by solar heating of fields amended with dry cabbage residues// *Plant Disease*.- 1987.- Vol.71.- P.217-221.
209. Ramirez-Villapudua J., Munnecke D.E. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and other organisms// *Phytopathology* 1988. - Vol.78.- P.289 – 295.
210. Ramsay C., Haglund B., Santo G. Soil fumigation. Washington, 1992.-200 p.
211. Rasche M.E., Hyman M.R., Arp D.J. Biodegradation of Halogenated Hydrocarbon Fumigants by Nitrifying Bacteria// *Appl Environ Microbiol.*- 1990.- Vol. 56,N8.- P.2568-2571.
212. Rask L, Andreasson E, Ekbohm B. Myrosinase: gene family evolution and herbivore defense in Brassicaceae// *Plant Mol. Biol.*- 2000.- Vol.42,N1.- P.93-113.
213. Rasche M.E., Hyman M.R., Arp D.J. Biodegradation of halogenated hydrocarbon fumigants by nitrifying bacteria// *Appl Environ Microbiol.*- 1990.- Vol. 56,N8.- P.2568-2571.
214. Reed D.W., Davin L., Jain J.C., Deluca V., Nelson L., Underhill E.W. Purification and properties of udp-glucose-thiohydroximate glucosyltransferase from brassica-napus 1 seedlings // *Arch Biochem Biophys.*-1993.- Vol.305, N2.- P.526-532.
215. Robertson L. et al. Accelerated degradation of chlorpyrifos in canefield soils: microbial activity in alkaline conditions// *Crop Protect.*- 1998.- Vol.17, N1.- P.29-33.
216. Rosendale M., Parish R.L. LSU Research and extension. Ag Center Biofumigation 3/28/2005 <http://www.lsuagcenter.com/>
217. Ryan G. Commercialisation of biofumigant mustards// *Biofumigation update.*- 1999.- N9.- P.1.
218. Sams C.E., Deyton D.E., Vaughn S.F., Cummins J.C. Impact of biofumigation with seed meal on plasticulture strawberry production [abstract]. *American Society of Horticulture Science Meeting.*- 2007.- P. 921.
219. Sarwar M., Kirkegaard J.A., Wong P.T.W., Desmarchelier J.M. Biofumigation potential of brassicas. 3. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens // *Plant and Soil.*- 1998. - Vol. 201, N 1.- P. 103–112.
220. Sarwar M., Kirkegaard J.A. Biofumigation potential of brassicas// *Plant and Soil.*- 1998.- Vol. 201.- N1.- P.91–101.
221. Shanlin Li, Zhenguo You, Liang, Duxiang, Sunrong Li, Nanjin Wang Extraction and separation of allelochemicals in wheat and its herbicidal efficacy on *Imperata cylindrica*// *Acta Phytophylacica Sinica.*- 1997.- Vol. 24.- P.81-84.
222. Sharga B.M. Production of suppressive volatile by *Bacillus subtilis* BS 2924// *Botanica Lithuanica.*- 1999.- Suppl. 3.- P.41-46.

223. Sharga B.M. Study of antifungal effect and nature of suppressive volatile produced by *Bacillus subtilis* BS 2924// *In: Plant Physiology: characteristics, breeding and genetics.- Workshop (Kaunas, Lithuania), 2001, Ed. by R.Dris, C. Barry-Ryan. -Science publishers, Inc., Enfield, NH, USA, Plymouth, UK, 2002- P.131-138.*
224. Shetty K.G., Subbarao K.V., Huisman O.C., Hubbard J.C. Mechanism of broccoli-mediated *Verticillium* wilt reduction in cauliflower// *Phytopathology.- 2000.- Vol. 90.- P.305 – 310.*
225. Shuler, J., Masiunas, J.B., Vaughn, S.F. Use of mustard green manures for control of weeds in snapbeans (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Science Society of America Meeting Abstracts. 2005.*
226. Siemens D.H., Garner S.H., Mitchell-Olds T, Callaway RM. Cost of defense in the context of plant competition: *Brassica rapa* may grow and defend//*Ecology.- 2002.- Vol. 83,N2.- P. 505-517.*
227. Sinigaglia C., Patricio F.R.A., Ghini R., Malavolta V.M.A., Tessarioli J., Freitas S.S. Controle de *Sclerotinia minor*, *R. solani* e plantas invasoras em alface pela solarização do solo e sua integração com controle químico// *Summa Phytopathologica.- 2001.- Vol. 27.- 229-235.*
228. Sipes B.S., DeFrank J. Use of Cover Crops and Biofumigation for Plant-parasitic Nematode Control in Pineapple, Project Final Report, USA, June 1, 1999.-3 p.
229. Stapleton J.J. Modes of action of solarization and biofumigation. *In: DeVay J.E., Elmore C.L. (eds.) Soil solarization and integrated management of soil-borne pests. Plant Production and Protection Paper 147. Rome: FAO/UN.- 1998.-P. 78-88.*
230. Stapleton J.J. Soil solarization in various agricultural production systems// *Crop Protection.- 2000.- Vol.19.- P. 837-841.*
231. Stapleton J.J., Elmore C.L., DeVay J.E. Solarization and biofumigation help disinfest soil// *Californian agriculture.- 2000.- Vol.54,N6.- P.42-45.*
232. Stevens R.G. An overview of replant problems// *Proceedings Washington State Horticultural Association.- 1985.- N 81.- P.132–142.*
233. Stromberger M.E., Klose S., Ajwa H., Trout T., Fennimore S. Microbial Populations and Enzyme Activities in Soils Fumigated with Methyl Bromide Alternatives//*Soil Sci. Soc. Am. J.- 2005.- Vol.69.- P.1987-1999.*
234. Subbarao K.V., Hubbard J.C., Koike S.T. Evaluation of broccoli residue incorporation into field soil for *Verticillium* wilt control in cauliflower// *Phytopathology.-1999.- Vol.88.- P.1046-1055.*
235. Tang C.S., Young C.C. Collection and identification of allelopathic compounds from the undisturbed root system of bigalta limpgrass (*Hemarthia altissima*)// *Plant Physiol.- 1982.- Vol. 69.- P.155-160.*
236. Thorup-Kristensen K. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate N content, and how can this be measured?// *Plant Soil.- 2001.- Vol. 230.- P.185–195.*
237. Thorup-Kristensen K., Magid J., Jensen L.S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones// *Adv. Agron.- 2003. -Vol. 79.-P.227–302.*

238. Traquair J. A. Etiology and control of orchard replant problems: a review // Canadian Journal of Plant Pathology. 1984. Vol. 6. N 1. P. 54–62.
239. Tsror L., Gamliel A., Beker E. Patent A1 US20040228895 IPC A01N 025/00, A01N 025/10 Crop production by prior biofumigation of the soil using soil coats. ECOTEX-Soil Mulch Products.- N436374.- Appl. 05.13.03, Publ. 11.18.04.-<http://www.freepatentsonline.com/20040228895.html>
240. Ulmer B., Gillott C., Erlandson M. Feeding preferences, growth, and development of *Mamestra configurata* (Lepidoptera: Noctuidae) on Brassicaceae// The Canadian Entomologist.- 2001. Vol.133.- P.509-519.
241. Vaughn, S.F., Holloway, R.K., Duval, S.M., Berhow, M.A. Biofumigation potential of glucosinolate-containing seedmeals. Phytochemical Society of North America Proceedings.-2005.- 1p.
242. Vos J., van der Putten P.E.L., Hussein M.H., van Dam A.M., Leffelaar P.A. Field observations on nitrogen catch crops: II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply// Plant Soil .-1998. – Vol. 201.- P.149–155.
243. Warton B, Matthiessen J. Factors affecting induction of enhanced biodegradation of metham sodium// How degrading.- 2000.- N2.- P.1.
244. Warton B., Matthiessen J.N., Shackleton M.A. Glucosinolate Content and Isothiocyanate Evolution - Two Measures of the Biofumigation Potential of Plants //J. Agric. Food Chem.- 2001.- Vol.49.- N11.- P.5244-5250.
245. Walker G.E. Effects of *Brassica* residues and other organic amendments on abundance and sex ratio of *Tylenchulus semipenetrans* in soil// Australian Journal of Experimental Agriculture.-1997.- Vol.37.- P.693–700.
246. Walker G. Biofumigation of citrus replant soils using *Brassica* cover crops. Summaries of HAL final report CT955004, Sept 1998.
247. Xiao C.L., Subbarao K.V., Schulbach K.F., Koike S.T. Effects of crop rotation and irrigation on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and wilt in cauliflower// Phytopathology.- 1998.- Vol. 88.- P.1046–1055.
248. Yamane A., Fujikura J., Ogawa H., Mizutani J. Isothiocyanates as allelopathic compounds from *Rorippa indica* Hiern. (*Cruciferae*) roots// J. of Chem. Ecology. - 1992.- Vol. 18(11).- P.1941-1954.
249. Zasada I.A., Ferris H. Sensitivity of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans* to isothiocyanates in laboratory assays//Phytopathology.- 2003.- Vol. 93.- P. 747 – 750.
250. Zasada I.A., Ferris H. Nematode suppression with brassicaceous amendments: application based upon glucosinolate profiles//Soil Biology and Biochemistry 2004.- Vol.36.- P.1017–1024.
251. Zhang Y., Spokas K., Wang D. Degradation of Methyl Isothiocyanate and Chloropicrin in Forest Nursery Soils// J. Environ. Qual. – 2005.- Vol. 34.- P.1566-1572.
252. Zoon F.C., de Heij A., Poleij L.M. Screening brassicaceous accessions for nematode resistance and biofumigation effects. Abstract// Plant Research International, Wageningen, The Netherlands, 2007.

Навчальне видання

Шарга Борис Михайлович

Вайда Петро Васильович

Мага Іван Михайлович

## **БІОФУМІГАЦІЯ ТА СОЛЯРИЗАЦІЯ ҐРУНТУ**

Методичні рекомендації для студентів  
біологічного факультету із курсу „Ґрунтознавство”

Формат 60×84/16. Папір офс. Гарнітура Times New Roman,

Умовн. друк. арк. 3,7

Тираж 100 пр.

Видання та друк Закарпатської обласної організації товариства "Знання"  
України

м. Ужгород, пл. Народна, 5  
Замовлення № 1-01, 2008 р.