ولكنها استعادت نموها سريعًا بعد ذلك (Abdel-Rahim وآخرون ١٩٨٨). ويمكن التغلب على هذا التأثير السلبى بمعاملة بذور البقوليات ببكتيريا العقد الجذرية قبل الزراعة.

٢- تنخفض أعداد بعض كائنات التربة المفيدة – مثل فطريات الميكوريزا mycorrhizal fungi فى الطبقة السطحية من التربة، ولكن ليس إلى الدرجة التى تؤثر فى فعلها المفيد.

٣- تنخفض – جزئيًّا – أعداد بعض الكائنات الدقيقة المفيدة أثناء التعقيم؛ مثل بعض أنواع البكتيريا من جنسى *Bacillus*، و *Pseudomonas*، ولكنها تسترجع أعدادها الطبيعية سريعًا بعد ذلك (عن Pullman وآخرين ١٩٨٤)، وتتفوق على غيرها، وتزداد أعدادها بدرجة كبيرة (Gamliel & Stapleton ١٩٩٣).

بدائل المبيدات لتعقيم التربة

فوق أكسيد الأيدروجين وثانى أكسيد الأيدروجين

يُستخدم كلاً من فوق أكسيد الأيدروجين hydrogen peroxide، وثانى أكسيد الأيدروجين hydrogen dioxide فى مكافحة الأمراض النباتية رشًّا، وكمعقمات للأسطح غير المسامية، وسقيًّا للتربة وحول النباتات بتركيز ١٪-٣٪ من التحضيرات التجارية التى تحتوى على ٢٧٪-٣٣٪ فوق أكسيد الأيدروجين. يعمل فوق أكسيد الأيدروجين – وهو مؤكسد قوى – على أكسدة الأغشية الخلوية وتمزيق الخلايا وموتها.

ومن تحضيراته التجارية، ما يلى:

Di-Oxy Solv Plus

GreenClean

Oxidate

PERpose Plus

Terra Clean 5.0

(Caldwell وآخرون ٢٠١٣).

التعقيم اللاهوائى للتربة

يُجرى التعقيم اللاهوائى للتربة anaerobic soil disinfestations بإضافة مادة عضوية طازجة (غير متحللة) للتربة وتغطيتها بغشاء بلاستيكى وري الطبقة السطحية للتربة لدرجة التشبع (حوالى ٥سم من ماء الرى)؛ لأجل توفير ظروف مناسبة لحدوث تحلل لا هوائى للمادة العضوية. ولقد وجد أن استعمال أى من عدد من المخلفات العضوية (مثل كُسب بذور المسترد – وهو مُبَّخر بيولوجى للتربة – والمسترد الهندى *B. juncea*، والمسترد الأبيض *B. alba*، والراى *Secale cereale*) مع المولاس عند خلط المخلفات بالتربة أدى إلى توليد ظروف لا هوائية فى التربة. وعلى الرغم من أن محصول الفلفل والطماطم لم يتأثر بالمعاملة، فإن ذلك قد يكون مرده إلى قلة تواجد المسببات المرضية فى التربة التى أُجريت فيها الدراسة (McCarty II وآخرون ٢٠١٤).

استخدام مخلفات الفصيلة الكرنبية (الصليبيات) فى تعقيم التربة

إن استعمال الصليبيات – مثل *Brassica carinata*، و *B. nigra*، و *B. juncea* – كسماد أخضر يُقلب فى التربة يفيد كثيرًا فى مكافحة الفطر *Fusarium oxysporum* مسبب مرض الذبول الفيوزارى، من خلال تأثير مركبات الأيزوثيوسيانات isothiocynates – التى تنتج من تحلل تلك النباتات – على تثبيط نمو الغزل الفطرى وإنبات كلاً من الجراثيم الكونيدية والكلاميدية للفطر. وقد تبين أن أكثر مركبات الأيزوثيوسيانات تأثيرًا كانت الـ propenyl والـ ethyl، كما كانت مركبات أخرى منها، مثل الـ benzyl، والـ phenethyl ذات تأثير سام على الفطر كذلك (Smolinska وآخرون ٢٠٠٣).

كما أدت حراثة مخلفات البروكولى فى التربة مع المعاملة بجرعة منخفضة من الميثام صوديوم إلى خفض مستوى تواجد الفطر *Verticillium dahliae* إلى نهاية موسم زراعة الخرشوف، مع انخفاض فى نسبة النباتات التى أصيبت بذبول فيرتسيليم (Berbegal وآخرون ٢٠٠٨).

كذلك أدت حراثة مخلفات البروكولى فى التربة إلى خفض معدلات إصابة القنبيط بذبول فيرتسيليم الذى يسببه الفطر *V. dahliae*، وذلك من خلال خفض المخلفات لأعداد الأجسام الحجرية microsclerotia للفطر (Subbarao & Hubbard وآخرون ١٩٩٦).

كما أدى قلب بعض أنواع الجنس *Brassica* فى التربة كسماد أخضر إلى مكافحة نيماتودا تعقد الجذور، بتأثير الجليكوسينولات glucosinalets التى تنتجها تلك النباتات على خفض أعداد النيماتودا فى التربة؛ ومن ثم خفض ما تحدثه من أضرار بجذور النباتات المنزرعة (Monfort وآخرون ٢٠٠٧).

ومن بين الحالات الأخرى العديدة التى تبين فيها التأثير الايجابى للتسميد الأخضر بالنباتات الصليبية، ما يلى:

- أمكن مكافحة الفطر *Aphanomyces euteiches* – مسبب مرض عفن جذور أفانوميسس فى البسلة (والتى لا تعرف وسيلة فعالة لمكافحته).. أمكن مكافحته بقلب مخلفات المحاصيل الكرنبية فى التربة. وقد تبين أن تأثيرها كان مرده إلى المركب 2-propenyl isothiocynate الذى ينتج من تحلل الكرنبيات.
- أفادت مخلفات الكيل فى مكافحة الفطر *Thielaviopsis basicola* فى الفاصوليا.
- وأفادت مخلفات الكرنب فى مكافحة الفطر *Verticillium dahliae*.
- وفى القنبيط يكافح ذبول فيرتسيليم بكفاءة عالية باستعمال مخلفات البروكولى إلى درجة التوصية بإدخال البروكولى فى دورة القنبيط.
- أمكن الحد من إصابة الكنتالوب بالفطر *Didymella bryoniae* مسبب مرض لفحة الساق الصمغية باستعمال مخلفات الكرنب.
- أمكن الحد كثيرًا من عدد جراثيم الفطر *Fusarium oxysporum conglutinans* باستعمال مخلفات عديد من محاصيل الكرنبيات، وازدادت فاعلية المعاملة عندما جُمع بينها وبين التشميس.

- كذلك خفضت مخلفات الصليبيات من أعداد البكتيريا *Rolstonia solanacearum* مسبب الذبول البكتيرى فى عدد من المحاصيل (Rosa & Rodrigues ١٩٩٩).

ولكن فى المقابل.. وجد من بعض الدراسات، ما يلى:

- لم يكن لقلب نباتات مزهرة من *Brassica napus*. أو *B. juncea* فى التربة تأثيرًا على مكافحة أى من الفطرين *Pythium* spp. (مسبب مرض الذبول الطرى)، أو *Fusarium oxysporum* (مسبب مرض الذبول الفيوزارى) فى البطيخ (Njoroge وآخرون ٢٠٠٨).

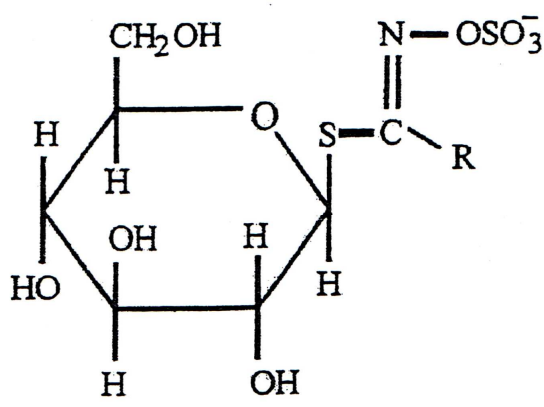
- دُرس تأثير التبخير الحيوى للتربة بمخلفات ١٩ صنفًا من الصليبيات: *Brassica juncea*، و *Raphanus sativus*، و *Sinapis alba* على مكافحة فطر فيرتسيليم *Verticillium dahliae*، ووجد أنه لم يكن كافٍ بمفردة كوسيلة فعالة للمكافحة، وخاصة إذا ما احتوت التربة على أكثر من ١٪ كربون عضوى؛حيث يتطلب الأمر زيادة إضافات التربة من تلك المخلفات (Neubauer & Heitmann ٢٠١٤).

- استعمل عدد من الأنواع الصليبية (هى: *Brassica juncea*، و *Eruca sativa*، و *Sinapsis alba*) كمعقمات بيولوجية (غير كيميائية) للتربة، بخلطه فيها؛ حيث أدت إلى زيادة أعداد ثمار الفراولة ونموها الورقى، إلا أن المعاملة أضعفت استعمار الميكوريزا لجذور النباتات (Koron وآخرون ٢٠١٤).

مركبات الصليبيات المؤثرة فى تعقيم التربة

تحتوى نباتات الفصيلة الكرنبية على عدد كبير من المركبات – تعرف باسم جلوكوسينولات glucosinolates – هى التى تعطيها طعمها ونكهتها المميزة.

ولقد أمكن تعريف نحو ١٠٠ نوع مختلف من الجلوكوسينولات (شكل ٢-١)، وهى تختلف تركيبيًّا – أساسًا- فى مجموعة الـ R، التى قد تكون أليفاتية aliphatic، أو أروماتية aromatic، أو مختلطة المجموعة الحلقية heterocyclic.



شكل (٢–١): التركيب الأساسى للجلوكوسينولات glucosinolates.

يؤدى تحلل الجلوكوسينولات بواسطة الإنزيم myrosinase إلى إطلاق أيونات الكبريتات والجلوكوز وعددًا من المركبات النشطة بيولوجيًّا، منها: الأيزوثيوسيانات isothiocynates والنيتريلات nitrils، والثيوسيانات thiocynates. وتتأثر نواتج التحلل بكل من مجموعة R والـ pH.

ومن بين نواتج تحلل الجلوكوسينولات تعد الإيزوثيوسيانات هى الأقوى بيولوجيًّا، حيث تُعد مضادات حيوية قوية لكل من الفطريات والثدييات والحشرات، ويرجع تأثيرها القوى إلى تفاعلاتها بمجموعات الـ Sulphydryl، وروابط الـ disulphide، ومجموعة الأمينو فى البروتينات والأحماض الأمينية؛ ومن ثم تكوينها لمركبات ثابتة (Rosa & Rodrigues ١٩٩٩).

التعقيم (أو التطهير) بهيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم

يستعمل هيبوكلوريت الصوديوم Sodium Hypochlorite ، أو الكالسيوم Calcium Hypochlorite فى تطهير أوانى الزراعة التى يعاد استعمالها. ويستخدم لهذا الغرض مستحضرات التنظيف التجارية (مثل الكلوراكس Chlorox) التى تحتوى — عادة — على هيبوكلوريت الصوديوم بنسبة ٥,٢٪، بعد تخفيفها بالماء بنسبة ١ : ٥.

وقد أفاد هيبوكلوريت الصوديوم فى مكافحة كل من: فطر البيثيم *Pythium* – المسبب لمرض تساقط البادرات – فى البيت، و *Phomopsis sclerotioides* فى الرمل، و *Verticillium dahliae* فى الرمل والبيت (Avikainen وآخرون ١٩٩٣). كما وجد Maheshwari & Saini (١٩٩٢) أن إضافة ١٠ كجم من مسحوق التبييض Bleaching Powder للهكتار (٤,٢ كجم للفدان) مع ماء الرى أدت إلى مكافحة مرض الجذع الأسود – التى تسببه البكتيريا *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica* فى البطاطس بصورة أفضل من الرش بالاستربتوسيكلين Streptocycline أو أوكسى كلورور النحاس.

الفورمالدهيد

يستخدم الفورمالدهيد Formaldehyde فى تعقيم المشاتل الأرضية، ومخاليط الزراعة. وأوعية نمو النباتات، ويستعمل لذلك الفورمالين التجارى الذى تبلغ قوته ٣٧٪.

لتعقيم مخاليط الزراعة يستعمل الفورمالين التجارى بمعدل ٢,٥ ملعقة كبيرة فى كوب ماء لكل بوشل (١٠ لترات تقريبًا) من المخلوط ويجب ألا تقل حرارة المخلوط عن ١٣°م، وأن يُحاط بالبلاستيك أثناء المعاملة.

ولتعقيم أوعية نمو النباتات يخفف الفورمالين التجارى بالماء بنسبة ١ : ٢٠، وتغمر الأوعية والأدوات المراد تعقيمها فى المحلول المخفف، ثم تصفى منه، وتترك تحت غطاء بلاستيكى لمدة ٢٤ ساعة، ثم تُكشف وترش بالماء عدة مرات إلى أن تختفى رائحة الفورمالدهيد، ويستغرق ذلك ٤ أيام.

أما تعقيم تربة المشاتل الحقلية فيتم برش الفورمالين التجارى المخفف بالماء بنسبة ١: ٥٠ على سطح التربة – بعد تجهيزها – بمعدل حوالى ٢٠–٤٠ لترًا/م٢، ثم تُغطى التربة المعاملة بالبلاستيك لمدة يوم أو يومين، وبعد ذلك يرفع الغطاء، وتترك مهواة لمدة ١٤–٢١ يومًا قبل استعمالها فى الزراعة. ولا تزرع المشاتل قبل أن تزول منها رائحة الفورمالدهيد.

هذا.. وتعد أبخرة المبيد سامة للنباتات النامية؛ الأمر الذى يعنى عدم جواز استخدامه بالقرب من نباتات نامية، وخاصة لو وجدت النباتات مع التربة أو المواد

التى يُراد تعقيمها فى حيزٍ واحدٍ مغلقٍ، كما فى الزراعات المحمية (عن Hartmann & Kester ١٩٨٣).

ويستدل من دراسات Avikainen وآخرين (١٩٩٣) على أن الفورمالين (٣٧٪ فورمالدهيد) أفاد فى مكافحة كل من: فطر البثيم مسبب مرض تساقط البادرات فى الخيار عند استعماله فى تعقيم بيئة زراعة أساسها البيت موس، وكذلك فطريات *Phomopsis sclerotioides*، و *Verticillium dahliae*، و *Didymella bryoniae* فى البيت.

بدائل بروميد الميثايل الأقل تأثيرًا على البيئة وصحة الإنسان

ليس من بين أهداف هذا الكتاب الترويج لاستخدام المبيدات أيًّا كان نوعها، إلاَّ أن كثرة الدراسات التى أُجريت لأجل البحث عن بديل لاستخدام بروميد الميثايل أوجبت الإشارة إلى إثنان من أهمها، وهما: البازاميد ويوديد الميثايل.

البازاميد

البازاميد Basamid مبيد محبب يستخدم فى تعقيم التربة ومخاليط الزراعة، وهو حبيبى granular، ويحتوى على ٩٨٪ دازوميت Dazomet، الذى يتحلل فى التربة لينتج المركب الفعال methyl isothiocyanate. وهو فعال ضد مدى واسع من النيماتودا وفطريات وحشرات التربة والحشائش، وخاصة النابتة منها، وكذلك الخضرية التكاثر مثل السعد، والمتطفلة مثل الهالوك. ويستخدم البازاميد فى تعقيم الصوبات والمشاتل. وأوعية الزراعة، ومخاليط التربة.

وإذا وجدت جذور نباتية مصابة بالنيماتودا يجب تركها لتتحلل فى التربة الرطبة أولاً لمدة ٢–٣ أسابيع قبل المعاملة بالبازاميد.

تختلف الكمية المستعملة من البازاميد لكل متر مكعب من خلطة الزراعة، أو لكل متر مربع من سطح التربة كما سيأتى بيانه، ويراعى زيادة الكمية المستعملة منه عند زيادة المادة العضوية فى التربة. كما تجب إضافة المادة العضوية قبل حرث التربة، وليس مع البازاميد، أو بعد إضافته.