ومتوسط وزن الثمرة فى الفراولة، وهى صفات ترتبط جميعها إيجابيًا مع حجم تاج النبات. ويبدو أن التأثير السلبى للحرارة العالية على المحصول ومكوناته يحدث من خلال تأثيرها على النمو الخضرى للنبات، الذى يكون محدودًا فى الحرارة العالية (Mière وآخرون ١٩٩٨).

تعقيم التربة

الحاجة إلى تعقيم التربة وأهمية بروميد الميثايل

يفيد تعقيم التربة فى التخلص من بذور الحشائش، ومسببات الأمراض من بكتيريا وفطريات، ونيماتودا، وكذلك من بعض الآفات الحشرية والحيوانية التى تجد فى التربة مأوى لها.

ويعد بروميد الميثايل methyl bromide أهم المركبات المستعملة فى تعقيم التربة، ويخلط معه الكلوروبكرن إما بنسبة ٢٪ فقط لمجرد إكساب المخلوط رائحة نفاذه لتجنب التعرض للغاز الشديد السمية للإنسان دون الإحساس بوجوده، وإما بنسبة ٣٣٪ لإكساب المخلوط قوة قتل أكبر لآفات التربة.

يتميز الكلوروبكرن chloropecrin (وهو الغاز المسيّل للدموع tear-gas) بأن مفعوله القاتل على الكائنات الدقيقة هو الأوسع والأكثر تأثيرًا مقارنة بالمركبات الأخرى التى تستعمل فى تبخير التربة. كذلك يعد بروميد الميثايل – هو الآخر – واسع التأثير على مختلف الكائنات، وهو بالتأكيد مبخر أفضل، حيث يتحرك وينتشر فى التربة لأعماق أكبر من تلك التى يصل إليها الكلوروبكرن. ولذا .. فإن التبخير بكليهما معًا ذو تأثير تداؤبى Synergestic؛ بمعنى أن تواجدهما معًا يعطى تأثيرًا أفضل من حاصل جمع تأثير كل منهما منفردًا.

ويعد بروميد الميثايل – من الوجهة الزراعية – هو أفضل المركبات التى تستعمل فى تعقيم حقول الفراولة المعدة للزراعة، إلا أن لهذا المركب آثاره السلبية على البيئة بسبب تحطيمه لطبقة الأوزون فى الغلاف الجوى، وهى الطبقة التى تحمى الكرة الأرضية من الجانب الأكبر من الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس. ولذا فمن المتفق عليه

تخفيض كمية بروميد الميثايل التى تستهلكها الدول المتقدمة - تدريجيًا - بداية من عام ٢٠٠١ إلى أن يتوقف استعماله كلية فى عام ٢٠٠٥، مع امتداد فترة السماح باستعمال الغاز فى الدول النامية حتى عام ٢٠١٥. وعلى الرغم من هذا الامتداد لفترة السماح باستعمال الغاز، فإن الدول المتقدمة المستوردة لمحصول الفراولة من الدول النامية قد لا تسمح باستيراد المحصول من إنتاج الحقول التى عوملت ببروميد الميثايل. ولسوف يبقى هذا السيف معلقًا على رقاب منتجى الفراولة ومصدريها من الدول النامية، ليظهر فى أى وقت تتوفر فيه الفراولة فى الأسواق العالمية.

ولايقتصر دور التبخير ببروميد الميثايل على التخلص من الآفات والكائنات المرضة فقط، ولكنه يتعداه إلى إحداث تغير كبير فى نوعيات الكائنات الدقيقة المتنافسة التى تعيش فى التربة، والتى تؤثر إيجابيًا على قوة النمو النباتى. ويعنى ذلك أن معاملة التربة ببروميد الميثايل يمكن أن يترتب عليها زيادة فى المحصول حتى فى غياب الكائنات المرضة؛ الأمر الذى أثبته Larson & Shaw (١٩٩٥) تجريبيًا.

وفى دراسة لاحقة لهما .. قارن Larson & Shaw (١٩٩٦) بين معاملة التربة بمخلوط من بروميد الميثايل (٦٧٪)، والكلوروبكرن (٣٣٪) بمعدل ٣٩٢ كجم للهكتار (٣٩,٢ جم للمتر المربع) مع عدم التعقيم، ووجدا أن معدل موت النباتات كان أقل من ٢٪ خلال موسم النمو أيًا كانت المعاملة؛ هذا إلا أن الوزن الجاف لكل من: الأوراق، والتيجان، والجذور ازداد فى معاملة التعقيم عما فى الكنترول. وفى خلال الـ ١٤٣ يومًا الأولى من الزراعة ازدادت نسبة المواد الكربوهيدراتية التى انتقلت إلى الجذور فى معاملة الكنترول عما فى معاملة التعقيم، ولكن تلك الفروق بين نسبة الوزن الجاف للنمو الخضرى إلى النمو الجذرى اختفت فى نهاية فترة الدراسة. وكان محصول معاملة الكنترول ومتوسط وزن الثمرة فيها ٧٢٪، و ٩٠٪ - على التوالى - من المحصول ومتوسط وزن الثمرة فى معاملة التعقيم ببروميد الميثايل.

كذلك وجد Fort وآخرون (١٩٩٦) أن قطر تيجان نباتات الفراولة النامية فى تربة غير معقمة تراوح بين ٧٤٪، و ٧٧٪ من قطر نظيراتها النامية فى تربة معقمة بمخلوط بروميد الميثايل مع الكلوروبكرن، بينما بلغ محصولها ٥٩٪ فقط من محصول النباتات

النامية فى تربة معقمة، هذا فى الوقت الذى لم تتعد فيه نسبة النباتات التى ماتت خلال موسم النمو كله ١٪. ويعنى ذلك أن نمو ومحصول الفراولة يزدادان مع التعقيم ببروميد الميثايل حتى فى غياب مسببات الأمراض من التربة.

وفى دراسة لاحقة وجد Fort & Shaw (١٩٩٨) أن النباتات النامية فى تربة معقمة بمخلوط بروميد الميثايل مع الكلوروبكرن بنسبة ٢ : ١ وبمعدل ٣٩,٢ جم للمتر المربع كانت – مقارنة بالنباتات النامية فى تربة لم تعقم – أقوى نموًّا، وأكبر قطرًا، وأعلى فى الوزن الجاف لنموها الخضرى وجذورها الكلية، وكذلك جذورها الدقيقة النشطة فى الامتصاص. ويعنى ذلك وجود علاقة قوية بين النمو القمى والنمو الجذرى، وأن كلاهما يتأثر بشدة بعملية تعقيم التربة ببروميد الميثايل.

وفى فلوريدا .. قورن تأثير تعقيم التربة ببروميد الميثايل (٩٨٪ بروميد ميثايل + ٢٪ كلوروبكرن بمعدل ٢٦,٩ جم للمتر المربع) مع عدم تعقيم التربة على إنتاج الفراولة فى حقل سبقت زراعته بالفراولة لمدة ٢٠ عامًا، ووجد أن النباتات التى زرعت فى أرض لم تعقم انخفض محصولها بنسبة ٥٤٪، و ٦٨٪ فى سنتى الدراسة مقارنة بتلك التى زرعت فى أرض سبق تعقيمها، كذلك أدى عدم تعقيم التربة إلى انخفاض متوسط وزن الثمرة، هذا على الرغم من أن نسبة موت النباتات لم تتعد ٣٪ فى الأرض غير المعقمة (Chandler وآخرون ٢٠٠١).

وفى مصر .. أدى تعقيم التربة باستعمال بروميد الميثايل (٩٨٪ بروميد ميثايل + ٢٪ كلوروبكرن) بمعدل ٥٠جم/م^{٢} قبل الشتل بواحد وعشرين يومًا إلى القضاء على أهم فطريات أعفان الجذور، وهى *Sclerotium rolfsii* (أو *Corticium rolfsii*)، و *Macrophomina phaseolina*، و *Rhizoctonia solani*، حيث لم يمكن عزل أى منها لمدة ٦ شهور بعد المعاملة التى خفضت كثيرًا – كذلك – من أعداد الكائنات الدقيقة الأخرى بالتربة. وقد أدى التبخير – إلى جانب خفضه لأعداد النباتات التى تموت بعد الشتل وأثناء موسم النمو – إلى تحسين النمو النباتى ونوعية الثمار (Fahim وآخرون ١٩٩٤).

وفى ولاية ميشيجان الأمريكية قارن Hancock وآخرون (٢٠٠١) سلوك ٢٧ تركيبًا

وراثيًّا (٤ أصناف من كاليفورنيا، و ١١ من شرق الولايات المتحدة، و ١٢ هجينًا بين الفراولة و *F. virginiana*) فى تربة معقمة ببروميد الميثايل مع الكلوروبكرن (٢ : ١) بمعدل ٣٩,٢ جم/م٢ مع سلوكها فى تربة غير معقمة سبقت زراعتها بالفراولة، ووجدوا أن عدم تعقيم التربة أدى – مقارنة بتعقيمها – بصرف النظر عن التركيب الوراثى – إلى نقص إنتاج المدادات بمقدار ٤٣٪، ووزن الثمرة بمقدار ١٨٪، والمحصول بمقدار ٤٦٪، وعدد التيجان بمقدار ٢٧٪، وإلى زيادة تلون الجذور المرضى بمقدار ٤٩٪، وإحداث نقص جوهرى فى عدد الجذور الدقيقة النشطة فى الإمتصاص. وقد أظهرت الجذور المصابة أعراض العفن الأسود، وكانت أكثر المسببات المرضية التى عزلت منها تواجدًا، هى: *Pythium* spp.، و *Rhizoctonia* spp.، و *Idriella lunata*، و *Meloidogyne hapla*. وقد تحسن نمو وسلوك جميع التراكيب الوراثية بتعقيم التربة، على الرغم من أن سلوك هجن الفراولة مع *F. virginiana* كان أفضل – نسبيًّا – من سلوك التراكيب الوراثية الأخرى فى التربة غير المعقمة.

وجدير بالذكر أنه لم يمكن التعرف على أى تركيب وراثى (نبات أو سلالة أو صنف) من الفراولة ذات تأقلم خاص على كائنات التربة المؤثرة فى قوة نمو نباتات الفراولة وإثمارها، ولم يمكن أبدًا تحديد أى تفاعل معنوى بين التركيب الوراثى ومعاملة تعقيم التربة ببروميد الميثايل من عدمه فيما يتعلق بالخصائص الإنتاجية أو خصائص النمو الجذرى. وعندما دُرسَ ٤٩ تركيبًا وراثيًّا على مدى ٧ سنوات، لم يستدل على وجود أى جين يتحكم فى تأقلم الفراولة على الأراضى غير المعقمة ببروميد الميثايل، أو أن جينات تظهر كعوامل هامة مؤثرة فى التباينات المظهرية عند تدهور بيئة التربة بعد تكرار زراعة الفراولة لعدة سنوات فى أراض غير معقمة (Shaw & Larsen ٢٠٠١).

بدائل بروميد الميثايل

إن جميع بدائل بروميد الميثايل المتاحة حاليًّا لا ترقى إلى مستواه؛ فهى إما أقل فاعلية، وإما أن استعمالها مقيد، وإما أن أسعارها عالية. ويعتقد الخبراء أن استعمال أفضل تلك البدائل سوف يصاحبه نقص فى كل من المحصول وصفات الجودة يتراوح بين ٢٠، و ٢٥٪.

ومن أهم بدائل بروميد الميثايل المتاحة حاليًا، ما يلى:

١ - بسترة التربة بالإشعاع الشمسى Solarization:

تعرف عملية بسترة التربة بالإشعاع الشمسى - كذلك - باسم التشميس، وفيها تغطى التربة المرطبة جيدًا بالبلاستيك الشفاف لمدة ٤-٨ أسابيع خلال شهور الصيف الحارة: تكفى هذه المعاملة للتخلص من معظم مسببات الأمراض وبذور الحشائش التى توجد فى الطبقة السطحية من التربة. وللتعرف على التفاصيل المتعلقة بهذه العملية .. يراجع حسن (٢٠٠٠).

٢ - ميتام صوديوم Metam Sodium:

يتوفر الميتام صوديوم على صورة المنتج التجارى فابام Vapam (من إنتاج Amvac)، وهو يعطى نتائج جيدة عند استعماله من خلال شبكة الرى بالتنقيط. وعندما يتلامس الميتام صوديوم مع التربة الرطبة فإنه يبدأ فى التحول إلى methyl isothiocynate، وهو المادة الأساسية السامة لمسببات الأمراض والآفات. ويتعين تغطية التربة المعاملة جيدًا بالبلاستيك وإلاّ فقد الميتام صوديوم فى الهواء الجوى.

وقد قارن Hartz وآخرون (١٩٩٣) تشميس التربة soil solarization منفردًا، أو مع استعمال الميتام صوديوم metam sodium بالتعقيم باستعمال بروميد الميثايل (بروميد الميثايل مع الكلوروبكرن)، ووجدوا أن جميع المعاملات تساوت فى كفاءتها فى التأثير على الفطرين *Phytophthora cactorum*، و *P. citricola*، مقارنة بمعاملة الكنترول. كذلك أفادت عملية تشميس التربة جوهريًا فى مكافحة الحشائش، ولكنها كانت أقل كفاءة من بروميد الميثايل. وأدت معاملة تشميس التربة - منفردة - إلى زيادة محصول الفراولة بنسبة ١٢٪ مقارنة بمعاملة الكنترول، وعندما استعمل الميتام صوديوم مع التشميس ازداد المحصول إلى ٢٩٪، وتساوى ذلك مع الزيادة فى المحصول التى أمكن الحصول عليها عندما عقمت التربة باستعمال بروميد الميثايل.

ولكن وجد Shaw & Larson (١٩٩٩) أن تعقيم التربة بمخلوط من بروميد الميثايل مع الكلوروبكرن أعطى محصولاً أعلى جوهريًا عن التعقيم بالميتام صوديوم.

٣ – بازاميد Basamid:

البازاميد هو الإسم التجارى للدازومت Dazomet (من إنتاج BASF)، وهو مماثل للميتام صوديوم ولكن على صورة محببة granular. وكما فى حالة استعمال الميتام صوديوم .. يجب أن تكون التربة المعاملة رطبة، مع إحكام تغطيتها بعد المعاملة.

٤ – تيلون Telone:

التيلون هو المركب الكيميائى 1,3-dichloropropene (من إنتاج Dow AgroSciences)، وهو يعد – حاليًا – أفضل بديل متاح لبروميد الميثايل.

٥ – يوديد الميثايل Methyl Iodide:

يتماثل يوديد الميثايل مع بروميد الميثايل من حيث الكفاءة فى التخلص من جميع مسببات الأمراض، والآفات، وبذور الحشائش التى توجد فى التربة، وتتم المعاملة به كسائل، حيث سريعًا ما ينتشر كغاز فى الجزء المعامل. وليس ليوديد الميثايل تأثيرات سلبية على طبقة الأوزون. هذا .. إلا أن تكلفة استعمال يوديد الميثايل تفوق – فى الوقت الحالى (عام ٢٠٠١) – تكلفة استعمال بروميد الميثايل بنحو ١٠–١٤ ضعفًا. وعلى الرغم من توقع انخفاض أسعاره مع ازدياد الطلب عليه وإنتاجه بكميات كبيرة فى المستقبل، إلا أنه لا يتوقع الإنتهاء من تسجيله للاستعمال فى تعقيم التربة قبل عدة سنوات.

عملية تبخير التربة

العوامل المؤثرة فى كفاءة المبخرات وانتشارها فى التربة

يكون حقن المبخرات fumigants فى التربة – عادة – على الصورة السائلة، ولكن فى حالة المبخرات التى تحتوى على بروميد الميثايل فإن الحقن يكون غالبًا على صورة خليط من بروميد الميثايل السائل والغازى. وسريعًا ما تتبخر الصورة السائلة وتنتشر وتتحرك فى الفراغات المستمرة المتصلة بين حبيبات التربة. وأثناء تحرك تلك الغازات فإنها تذوب فى الماء الأرضى، ويحدث توازن ديناميكى بين الماء الأرضى (حالة المحلول) وهواء التربة (الحالة الغازية). ويحدد تركيز المبخر فى الماء الأرضى كفاءة المعاملة فى تعقيم التربة؛ ذلك لأن تلك الكفاءة هى محصلة للتركيز والوقت. وبينما

يتوقف قتل كل من النيماتودا، والفطريات، وبذور الحشائش على تركيز المبخر فى الماء الأرضى، فإن قتل الحشرات يتوقف على تركيز المبخر فى هواء التربة.

ويتطلب تحسين عملية التعقيم بالتبخير أن تؤخذ فى الاعتبار العوامل التى تسمح بأفضل انتشار للمبخر، بما يؤدى إلى وصوله إلى أكبر حيز ممكن من التربة بأقل كمية ممكنة منه. وعندما لاينتشر أو يتعمق المبخر فى التربة فإن التعقيم يكون ضعيفًا عند العمق التى تصل إليها الجذور، بينما قد يكون زائدًا عند سطح التربة، وقد يتسبب فى إحداث تسمم للنباتات.

تعد التربة المتوسطة الجفاف – التى تكون رطوبتها قريبة من نقطة الذبول – مثالية للانتشار السريع للمبخرات؛ بما يسمح لكافحة معظم كائنات التربة بكفاءة عالية. هذا إلا أن التربة التى تكون متوسطة الجفاف على عمق ٣٠ سم غالبًا ما تكون شديدة الجفاف عند السطح، ويمكن لبذور الحشائش وبعض الكائنات الأخرى أن تتحمل عملية التعقيم فى مثل هذه الحالات. ويتطلب تعقيم الطبقة السطحية من التربة فى ظروف كهذه تغطية سطح التربة بالبلاستيك. ويستدل من تكثف بخار الماء على السطح السفلى لهذا الغطاء على توفر مستوى مناسب من الرطوبة فى الطبقة السطحية من التربة. وإذا كان سطح التربة جافًا فإنه يمكن ترطيبه برشة خفيفة بالماء، أو بحراثة التربة قبل تبخيرها مباشرة.

ويتوقف توزيع المبخر المحقون فى التربة – بين صورتيه الذائبة والغازية – على كل من الرطوبة الأرضية، ونسبة كل من حجم الماء الأرضى إلى حجم الهواء الأرضى، وطبيعة التربة، وعلى المبخر ذاته. وفى حالة بروميد الميثايل نجد فى التربة الطميية – التى تبلغ فيها نسبة حجم الماء الأرضى إلى الهواء الأرضى ١ : ١ عند حرارة ٢٠°م – أن المبخر يتوزع بنسبة حوالى ٢٥ فى الهواء الأرضى وبنسبة حوالى ٧٥٪ فى الماء الأرضى. وبالمقارنة .. نجد تحت هذه الظروف ذاتها أن الكلوروبكرن يتوزع بنسبة ٩٪، و ٩١٪ على التوالى. ويعنى ذلك أن بروميد الميثايل ينتشر بسرعة تبلغ حوالى ثلاثة أمثال سرعة انتشار الكلوروبكرن.

أما التيلون Telone (الذى يحتوى على 1,3-dichloropropene، ويعرف – اختصارًا –

باسم: 1,3-D) فإنه ينتشر تحت الظروف السابقة بنسبة ٥٪ فى هواء التربة، و ٩٥٪ فى المحلول الأرضى.

وينتشر المركب Methyl isothiocyanate (اختصارًا: MIT) بنسبة ١٪ فى هواء التربة، و ٩٩٪ فى الماء الأرضى. ويشكل هذا المركب ٢٠٪ من التحضير التجارى Vorlex الذى يحتوى - كذلك - على 1,3-D بنسبة ٨٠٪. كما أن الـ MIT هو المادة الفعالة فى الفابام. ولذا .. فإن الماء الأرضى هو الوسط الذى يتحرك من خلاله الفابام فى التربة.

وعلى الرغم من أن المركبات الفعالة فى مخاليط المبخرات تتحرك فى التربة مستقلة عن بعضها البعض، فإن تأثيرها يكون إضافيًا أو تداؤبيًا.

ويؤثر قوام التربة على كفاءة المعاملة بالمبخرات من خلال تأثيره على كل من حجم الفراغات التى يشغلها هواء التربة، وقدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة. ومن ثم .. فإن الأراضى الرملية الخشنة يمكن تعقيمها وهى أكثر رطوبة مما فى حالة الأراضى الثقيلة التى يجب أن تكون نصف جافة حتى يكون فيها حيز هوائى مستمر يمكن أن ينتشر الغاز من خلاله.

ونظرًا لأن حقن بروميد الميثايل يكون بالضرورة على عمق لا يقل عن ٣٠سم، فإن الأمر يتطلب ألاّ تكون التربة رطبة، وإنما نصف جافة، مع ضرورة توفر قدر ولو يسير من الرطوبة فى الطبقة السطحية من التربة للمساعدة فى زيادة كفاءة المركب فى قتل بذور الحشائش والفطريات.

وليس لحرارة التربة المنخفضة تأثيرًا يذكر على كفاءة التيلون والكلوروبكرن إذا كانت التربة نصف جافة، ولكن كفاءة بروميد الميثايل تنخفض كثيرًا فى حرارة تقل عن ١٠°م.

وتعد التربة الباردة الرطبة مشكلة مع كل المبخرات. فالحرارة المنخفضة تزيد من قدرة الغازات على الذوبان فى الماء، ومع زيادة الرطوبة تقل كمية المبخر التى تبقى فى التربة على الصورة الغازية. كذلك فإن الرطوبة العالية تحد من استمرارية المسافات البينية المملؤة بالهواء؛ مما يقلل من قدرة المبخر على التحرك فى التربة؛ ومن ثم لايكون التعقيم كاملاً؛ الأمر الذى يسرع من إعادة تلوث الأجزاء التى تم تعقيمها.

وتمتص المادة العضوية التى توجد فى التربة المبخرات؛ مما يُحدث نقصًا كبيرًا فى تركيز المبخر فى الماء الأرضى وهواء التربة. هذا إلاّ أن عملية الامتصاص تلك تكون بطيئة، وعندما يكون تحرك المبخر سريعًا فإن إمتصاصه بواسطة المادة العضوية يكون قليل التأثير (Lembright ١٩٨١).

التبخير ببروميد الميثايل

يحقن بروميد الميثايل على عمق ٣٠سم فى تربة سبقت حراثتها حتى هذا العمق على الأقل، مع جعل أسلحة المحراث – التى توجد خلفها الأنابيب التى تقوم بتوصيل بروميد الميثايل – على مسافة ١٥–٢٠سم من بعضها البعض.

يجب أن تكون التربة رطبة بالقدر الكافى عند المعاملة، مع مراعاة عدم استعمال مصدر أمونيومى للنيتروجين قبل المعاملة أو بعدها بفترة قصيرة، لأن بروميد الميثايل يقلل أعداد بكتيريا النترتة فى التربة؛ الأمر الذى قد يتسبب فى ظهور أعراض التسمم بالأمونيا.

ويجب ألا تقل حرارة التربة على عمق ١٠–١٥ سم عند المعاملة عن ١٠°م، ولا يجب أبدًا إجراء المعاملة عند انخفاض حرارة التربة عن ٥°م. كما يتعين تغطية التربة جيدًا بالبلاستيك مع بقاء الغطاء فى مكانه لمدة لا تقل عن ٤٨ ساعة بعد المعاملة، ثم يرفع. ولاتزرع الفراولة إلا بعد انقضاء ١٥ يومًا من رفع الغطاء حتى يكون الحقل خاليًا تمامًا من آثار المبيد.

ولمزيد من التفاصيل عن عملية تعقيم التربة واستعمال بروميد الميثايل وبدائله .. يراجع حسن (٢٠٠٠).