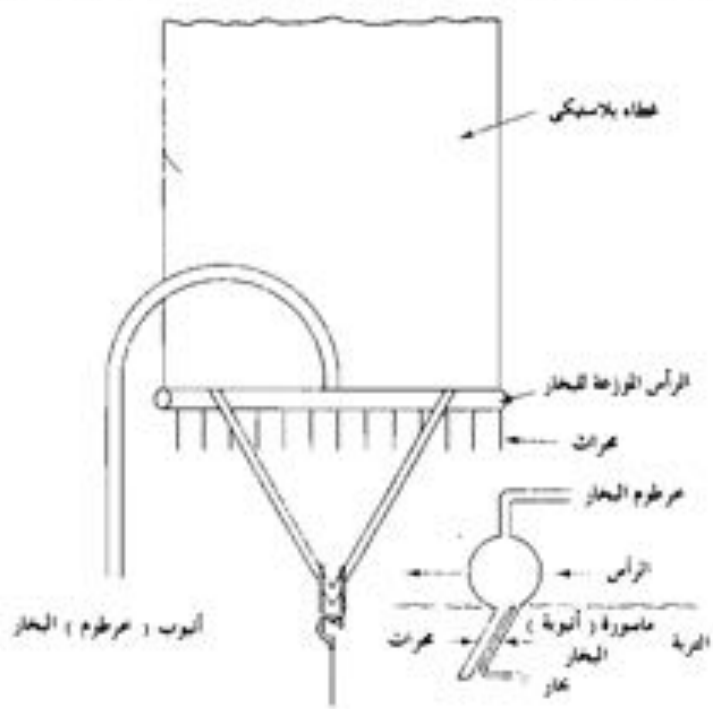
وقد وجد أن التعقيم بالإشعاع الشمسى أدى إلى زيادة محصول الفلفل بمقدار ٢٠٪ . وعند ترك الغطاء البلاستيكي في مكانه ، وطليه بدهان عاكس للضوء ازداد محصول الفلفل بمقدار ٥٣٪ ، عما هو في حالة عدم إجراء التعقيم بالإشعاع الشمسى . كما كان هناك تأثير متبقٍ للتعقيم بالإشعاع الشمسى على محصول القاوون الذى زرع في الربيع التالى . هذا .. ولم يكن بالتربة كائنات ممرضة معينة يمكن أن يقال أن الزيادة في المحصول قد حدثت نتيجة للقضاء عليها .

٦ - ٢ : التعقيم بالبخار

يعتبر التعقيم بالبخار من أكثر الطرق انتشارًا ، خاصة في البيوت المحمية (الصوبات) التي تدفأ فيها بالبخار .

٦ - ٢ - ١ : طرق التعقيم بالبخار

تعقم التربة بحقنها بالبخار لمدة ٣٠ دقيقة ، حتى تصل درجة حرارتها إلى ٨٠ - ٨٥°م . ويتم الحقن بالبخار من خلال أنابيب مثقبة تثبت في تربة البيوت المحمية على عمق ٣٠ سم ، مع تغطية سطح التربة أثناء التعقيم برقائق بلاستيكية للمحافظة على رفع درجة حرارة التربة . كما قد يتم حقن البخار في تربة الحقل أو البيوت المحمية من خلال أنابيب عمودية بطول ٤٠ - ٤٥ سم تبعد عن بعضها البعض بنحو ٢٢ سم ، وتثبت خلف حفارات صغيرة تتصل برأس موزعة للبخار ، ثم تصدر البخار بواسطة عرطوم ، وتتم تغطية المساحة المعاملة أولًا بأول للمحافظة على درجة الحرارة المرتفعة لمدة ٣٠ دقيقة (شكل ٦ - ١) . وتعتبر هذه الطريقة أقل تكلفة من الطريقة السابقة .



شكل ٦ - ١ : تعقيم تربة الحقل والبيوت المحمية بالبخار (عن Nelson ١٩٨٥) .

كما قد تعامل التربة بالبخار من خلال أنابيب مثقبة تمتد فوق سطح التربة ، وتغطى برقائق من البلاستيك المقاوم للحرارة مع تثبيت حواف الرقائق جيدًا بواسطة التربة . ويؤدى ضخ البخار فى الأنابيب المثقبة إلى رفع البلاستيك ، وحينئذ يُخفض ضغط البخار إلى الحدود الدنيا . وللحصول على أفضل النتائج يجب استمرار الغطاء والمعاملة بالبخار لمدة ٦ – ٨ ساعات . وتتوقف درجة تغلغل البخار فى التربة على مدى العناية التى تعطى لفلاحتها . وتعتبر هذه الطريقة أقل الطرق تكلفة .

ويراعى دائمًا حرث التربة لعمق ٣٠ سم قبل إجراء عملية التعقيم ، مع تكسير القلاقيل التى يزيد قطرها عن ٥ سم ، وألا تعامل بالبخار قبل جفافها ، حتى يتغلغل البخار خلالها بصورة جيدة (عرفاوى ١٩٨٤) . وعند تعقيم بيئات الزراعة وأوعية نمو النباتات بالبخار يراعى أن تستمر المعاملة لمدة ٣٠ دقيقة بعد أن تصل أبرد نقطة فى المخلوط إلى درجة حرارة ٨٢°م (١٨٠°ف) ، ويتضمن ذلك أن يكون الحد الأدنى لدرجة الحرارة هو ٨٢°م لمدة ٣٠ دقيقة ، لكن معظم البيئة والمواد المعقمة تكون حرارتها مثل درجة حرارة البخار ، أى ١٠٠°م . ويراعى عند تعقيم الأحواض المستخدمة فى الزراعة أن تفصل بينها مسافة ٢,٥ سم رأسيًا ، ومن الجانبين حتى يمكن أن يتخلل البخار بينها بسهولة .

وتؤدى هذه المعاملة إلى التخلص من معظم بذور الحشائش والكائنات المسببة للأمراض من فطريات ، وبكتريا ، ونيماتودا ، وفيروسات ، وكذلك الحشرات ، إلّا أنها تبقى على بعض الكائنات المفيدة التى بإمكانها أن تنافس الكائنات الضارة على الأكسجين ، والمكان ، والغذاء ، وتحد من مقدرتها على البقاء ، لكن هذه الكائنات المفيدة يمكن القضاء عليها أيضًا إذا ارتفعت درجة حرارة البيئة إلى ١٠٠°م . ولهذا يفضل أن يكون التعقيم على درجة حرارة ٦٠° – ٧١°م لمدة ٣٠ دقيقة ، حيث يتم القضاء على معظم الكائنات الضارة مع الإبقاء بقدر الإمكان على الكائنات المفيدة . وتتحقق ذلك بأجهزة خاصة تقوم بخلط البخار بالهواء بدرجة معينة يمكن بواسطتها التحكم فى درجة حرارة مخلوط الغازين قبل دخولهما فى البيئة المراد تعقيمها . ويوضح جدول (٦ – ٢) درجات الحرارة اللازمة للقضاء على مختلف الآفات النباتية .

جدول (٦ – ٢) : درجات الحرارة اللازمة (لمدة ٣٠ دقيقة) للقضاء على مختلف الآفات النباتية .

درجة الحرارة (م°) لمدة ٣٠ دقيقة	الكائنات التى يتم التخلص منها
٥٠	النيماتودا
٥٣	فطر *Rhizoctonia solani*
٦٠	معظم البكتريا المسببة للأمراض النباتية
٦٣	معظم الفطريات المسببة للأمراض
٦٠ ـ ٧١	الحشرات التى تعيش فى التربة
٧٠	معظم الفيروسات المسببة للأمراض النباتية
٧١	كل البكتريا المسببة للأمراض النباتية
٧٠ ـ ٨٠	معظم بذور الحشائش
٩٥ ـ ١٠٠	بذور الحشائش والفيروسات المقاومة للحرارة

٦ - ٢ - ٢ : حساب الاحتياجات الحرارية للتعقيم بالبخار

يلزم عادة نحو ٢٤ وحدة حرارية بريطانية لرفع درجة حرارة قدم مكعب واحد من بيئة الزراعة درجة واحدة فهرنهيتية ، إلا أنه يجب مضاعفة كمية الحرارة ، نظرًا لأن كفاءة عملية التعقيم بالبخار تكون عادة فى حدود ٥٠٪ . ويعطى كل رطل من البخار ٩٧٠ وحدة حرارية بريطانية عند تحوله من بخار على درجة ٢١٢°ف إلى ماء على نفس الدرجة ، كما يعطى وحدة حرارية بريطانية أخرى عند كل انخفاض إضافى فى درجة الحرارة قدره درجة واحدة فهرنهيتية . فإذا كان تعقيم بيئة الزراعة على درجة ١٨٠°ف ، فإن ذلك يعنى انخفاض درجة حرارة الماء بمقدار ٣٢°ف ، معطيًا بذلك ٣٢ وحدة حرارية بريطانية أخرى . ويعنى ذلك أن كل رطل من البخار ينتج ١٠٠٢ وحدة حرارية بريطانية ، وبذلك يلزم نحو ٦ أرطال من البخار لتعقيم قدم مكعب من الخلطة على درجة ١٨٠°ف . هذا .. وتقدر مقدرة أجهزة توليد البخار بقوة الحصان (hp) ، وهى التى تعادل ٣٣٤٧٥ وحدة حرارية بريطانية لكل حصان .

ويوجد البخار فى الفلايات تحت ضغط حوالى ١٥ رطلًا على البوصة المربعة . وهذا الضغط لا يؤدى إلى رفع درجة حرارة البخار إلّا بقدر يسير لا يزيد كثيرًا من مقدرته على خزن الحرارة ، ولكنه يفيد فى دفع البخار خلال البيئة . وبمجرد انطلاق البخار فى البيئة ، فإنه يصبح تحت ضغط منخفض جدًا ، لا يزيد عن رطل واحد على البوصة المربعة (Nelson ١٩٨٥) .

٦ - ٢ - ٣ : مشاكل التعقيم بالبخار ، وما يجب مراعاته لتجنبها

قد يتسبب التعقيم بالبخار فى إحداث بعض المشاكل التى يمكن تجنبها بمراعاة ما يلى :

١ - أن تكون التربة أو مخلوط الزراعة مفككة ، حتى تسمح للبخار بالنفاذ من خلالها بصورة جيدة .

٢ - ألا يكون مخلوط التربة جافًا ، لأن التربة الجافة تكون عازلة للحرارة . ويفيد ترطيب التربة فى إسراع عملية التعقيم ، لكن زيادة الرطوبة عن حد معين يبطىء مرة أخرى من عملية التعقيم ، نظرًا لأن الحرارة النوعية للماء تبلغ خمسة أضعاف الحرارة النوعية للتربة ، ويعنى ذلك أن كمية الحرارة التى تلزم لرفع حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة تبلغ خمسة أضعاف كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وزن مماثل من التربة بنفس القدر ، وبذلك تصبح عملية التعقيم بطيئة ، ويزداد استهلاك الوقود .

ويفضل دائمًا أن تكون الرطوبة مماثلة للرطوبة المثالية عند زراعة البذور ، والتى تبلغ نحو ١٥٪ فى المخاليط التى تدخل التربة فى تكوينها . كما يجب أن تكون رطوبة مخلوط الزراعة متجانسة ، حتى يكون التعقيم متجانسًا .

٣ - للبذور بعض الحشائش المقدرة على مقاومة الحرارة ، ويلزم لمكافحتها رفع درجة الحرارة إلى ٩٥ - ١٠٠°م . ولتجنب الحاجة إلى رفع درجة الحرارة كثيرًا ، فإنه يوصى بترطيب بيئة الزراعة لمدة ١ - ٢ أسبوع قبل الزراعة للسماح لهذه البذور ببدء الإنبات ، حيث يسهل التخلص منها بعد ذلك فى درجة حرارة أقل بكثير .

٤ – تجب إضافة كل المكونات الأخرى لبيئة الزراعة قبل التعقيم ، نظرًا لأنه لا يطرأ عليها أى تغيير ، حتى لو ارتفعت حرارة أى من هذه المكونات إلى ١٠٠°م . ويستثنى من ذلك سماد الأزموكوت ، نظرًا لأن التعقيم قد يحدث تغيرات بغطائه ، الأمر الذى يزيد من سرعة تيسر العناصر منه . وفى هذه الحالة يجب عدم تأخير استعمال بيئة الزراعة عن ٢٠ يومًا بعد التعقيم ، حتى لا يزداد تركيز العناصر إلى درجة ضارة بالنباتات ، لكن التعقيم على درجة حرارة ٧١°م (١٦٠°ف) ليس له تأثير يذكر على سماد الأزموكوت .

٥ – يجب دائمًا توفير غطاء بلاستيكى عند تعقيم مخاليط التربة أو الأرض بالبخار . وتستخدم لذلك شرائح البولثيلين التى تستعمل لموسم واحد فقط ، لكن قد يعاد استخدامها عدة مرات خلال نفس الموسم . وقد تستخدم أغطية الفينيل Vinyl التى يمكن استخدامها ٢٥ مرة ، أو أغطية النايلون المغطاة بالنيوبرين neoprene-coated nylon ، وهذه يمكن استخدامها مائة مرة أو أكثر ، لكن كليهما أكثر تكلفة من البولثيلين .

٦ – يجب عدم زيادة فترة تعقيم مخاليط الزراعة المحتوية على التربة عن ٣٠ دقيقة ، لأن التعقيم بالبخار يعمل على تحول كميات كبيرة من المنجنيز الموجود فى التربة من حالة مثبتة إلى حالة ميسرة بدرجة تجعله سامًا للنباتات ، لكن هذه المشكلة لا تكون كبيرة فى مخاليط الزراعة التى لا تحتوى على التربة .

٧ – قد يؤدى البخار إلى إنتاج نيتروجين أمونيومى بكميات كبيرة عند استخدامه فى تعقيم بيئات الزراعة الغنية بالمادة العضوية ، وهى كل البيئات المحتوية على سماد عضوى ، أو البيت الشديد التحلل ، أو المكمورة . وقد يستمر إنتاج النيتروجين الأمونيومى لعدة اسابيع بعد التعقيم . وحقيقة ما يحدث هو أن الكائنات الدقيقة تتغذى على هذه المواد العضوية ، وتحصل منها على الكربون والنيتروجين وغيرها من المركبات . وتقوم البكتريا المنتجة للأمونيا ammonifying bacteria بتحويل النيتروجين فى المادة العضوية إلى نيتروجين أمونيومى ، ويلى ذلك قيام البكتريا المنتجة للنترات nitrifying bacteria بتحويل النيتروجين الأمونيومى إلى نتروجين نتراتى . وتنمو معظم النباتات بصورة جيدة فى مخلوط من النيتروجين الأمونيومى والنتروجين النتراتى ، وتظهر بالكثير من النباتات أعراض التسمم عند تغذيتها على النيتروجين الأمونيومى منفردًا . وعادة .. يتحول النيتروجين الأمونيومى بصفة مستمرة إلى نيتروجين نتراتى بواسطة البكتريا المنتجة للنترات ، ولهذا فإنه يتواجد دائمًا مخلوط من صورتى الأزوت الأمونيومية والنتراتية ، لكن التعقيم يؤدى إلى قتل كل البكتريا ، سواء المنتجة منها للأمونيوم ، أم المنتجة للنترات . وفى خلال أسابيع قليلة تستعيد البكتريا المنتجة للأمونيوم أعدادها ، وتنتج الأمونيوم من المادة العضوية بكميات كبيرة ، فى حين لا تستعيد البكتريا المنتجة للنترات أعدادها الطبيعية إلا بعد أسابيع قليلة أخرى . وفى خلال هذه الفترة يزداد تركيز الأمونيا لدرجة قد تحترق معها الجذور ، وتتقزم النباتات وتذبل ، لكن بمجرد تزايد أعداد البكتريا المنتجة للنترات ، فإنها تقوم بتحويل الأمونيا المُنتجة إلى صورة نتراتية أقل سُمية للنباتات ، وتكون أكثر عرضة للغسيل من التربة مع الرى . ولهذا السبب ، فإنه لا ينصح بإدخال السماد الحيوانى والمكمورة فى مخلوط الزراعة فى حالة تعقيمه بالحرارة (أو بأية طريقة أخرى) .

٨ – ومن المظاهر الأخرى لمخاليط الزراعة المعقمة بالبخار ، والتى تعرضت لدرجات حرارة أعلى ولمدة أطول مما يوصى به أنه ينمو بها فطر **Pezzia ostrachoderma** بأعداد كبيرة ، نظرًا لغياب المنافسة من الكائنات الأخرى . وينتج هذا الفطر جراثيم تكون فى البداية بيضاء ، ثم تتحول إلى اللون الأصفر فالبنى . وينمو كذلك الفطر **Pyronema sp.** ، منتجًا جراثيم وردية اللون . وهذه الفطريات لا تصيب النباتات ، ولا ضرر منها ، ولكن غزوها لمخاليط الزراعة المعقمة يؤكد حقيقة سهولة تكاثر أى من الكائنات الدقيقة فى غياب المنافسة من الكائنات الدقيقة الأخرى (Baker & Roistacher ١٩٥٧ ، Nelson ١٩٨٥) .

٦ – ٣ : التعقيم بالمبيدات

٦ – ٣ – ١ : التعقيم بالفورمالدهيد

يستخدم الفورمالدهيد Formaldehyde فى تعقيم مخاليط التربة بمعدل ٢,٥ ملعقة كبيرة فى كوب ماء لكل بوشل (٣٠ لتر تقريبًا) من مخلوط التربة . ويجب ألا تقل درجة حرارة مخلوط التربة عن ١٣°م ، وأن يحاط المخلوط بالبلاستيك أثناء المعاملة .

كما يستخدم الفورمالدهيد فى تعقيم أوعية نمو النباتات بعد تخفيفه إلى تركيز ٥٪ تغمر الأوعية والأدوات المراد تعقيمها فى المحلول المخفف ، ثم تصفى منه ، وتترك تحت غطاء بلاستيكى لمدة ٢٤ ساعة ، ثم تكشف وترش بالماء عدة مرات إلى أن تختفى رائحة الفورمالدهيد . ويستغرق ذلك ٤ أيام . وللتأكد من أن الأوعية المعاملة قد أصبحت صالحة للزراعة يمكن ترك إحداها فى كيس بلاستيكى مغلق لمدة ٢٤ ساعة ، ثم يكشف عن الرائحة .

كذلك يستخدم الفورمالدهيد المخفف فى تعقيم تربة الحقل بعد تجهيزها . وتتم المعاملة برش المحلول على سطح التربة بمعدل٢quart/قدم٢ (أو حوالى ٢٠ لتر/ م٢) ، ثم تغطى التربة المعاملة بالبلاستيك لمدة يوم أو يومين ، وبعد ذلك يرفع الغطاء ، وتترك مهواة لمدة ١٠ – ١٤ يومًا قبل استعمالها فى الزراعة .

ويراعى عند المعاملة بالفورمالدهيد استعمال قفازات بلاستيكية ، وألا تجرى المعاملة فى أماكن بها نباتات ، وأن تظل الأحواض الخشبية المعاملة مبتلة إلى أن تختفى منها رائحة الفورمالدهيد تمامًا (Mingo وآخرون ١٩٧١) .

٦ – ٣ – ٢ : التعقيم ببروميد الميثايل

يتوفر بروميد الميثايل Methyl Bromide فى حالة سائلة تحت ضغط إما فى عبوات صغيرة زنة رطل ، أو أنابيب كبيرة ، مثل أنابيب البوتاجاز . يتبخر هذا السائل ويغلى عند درجة حرارة ٤,٤°م بمجرد فتح غطاء العبوة . ولكى يتم التعقيم بصورة جيدة فإنه يلزم منظم خاص ينتقل بواسطته الغاز من العلب المعدنية عبر خراطيم بلاستيكية إلى التربة أو الأدوات التى تغطى جيدًا بغطاء من البلاستيك (شكل ٦ – ٢) (Munnecke ١٩٥٧ ، Benedyga & Wells ١٩٦٢) .