٣ - حدث ثبات نسبى فى أعداد الفطر خلال التسعة شهور التى أعقبت التعقيم بالإشعاع الشمسى لمدة شهرين ؛ حيث استمرت منخفضة ، ولكن أعداد الفطر تقلبت خلال نفس الفترة فى التربة التى عقمت بالإشعاع الشمسى لمدة شهرٍ واحدٍ ، وارتفعت فى التربة التى عقمت بالتبخير .

٤ - أدى التعقيم بالإشعاع الشمسى لمدة شهرين إلى مكافحة المرض بصورةٍ كاملةٍ وزيادة محصول البطيخ بمقدار خمسة أضعاف ، بينما أدى التعقيم بالإشعاع الشمسى لمدة شهرٍ واحدٍ إلى إبطاء تقدم المرض - فقط - مع زيادة محصول البطيخ إلى أكثر من الضعف ، فى الوقت الذى أدى فيه التبخير إلى وقف تطور المرض كثيرا وزيادة المحصول بمقدار ثلاثة أمثال نباتات معاملة الشاهد التى زرعت فى تربةٍ محقونةٍ بالفطر (كما فى معاملات التعقيم) ولكنها لم تعقم .

ويستدل من دراسات Chellemi وآخرين (١٩٩٤) فى ولاية فلوريدا الأمريكية على أن التعقيم بالإشعاع الشمسى أدى إلى رفع حرارة التربة إلى ٤٩,٥م ، و٤٦,٠م ، و٤١,٥م عند عمق ٥ ، ١٥ ، و٢٥سم على التوالى ، مقارنة بحرارة ٤٣,٨م ، و٣٨,٩م ، ٣٦,٥م عند نفس الأعماق - على التوالى - فى التربة غير المغطاة بالبلاستيك . وقد كانت عملية التغطية بالبلاستيك مصاحبة بنقص معنوى فى كثافة الفطرين Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici ، و F. oxysporum f. sp. radicis - lycopersicci حتى عمق ٥سم ، والبكتيريا Pseudomonas solanacearum حتى عمق ١٥سم ، والفطر Phytophthora nicotianae var. parasitica حتى عمق ٢٥سم .

التعقيم بالبخار

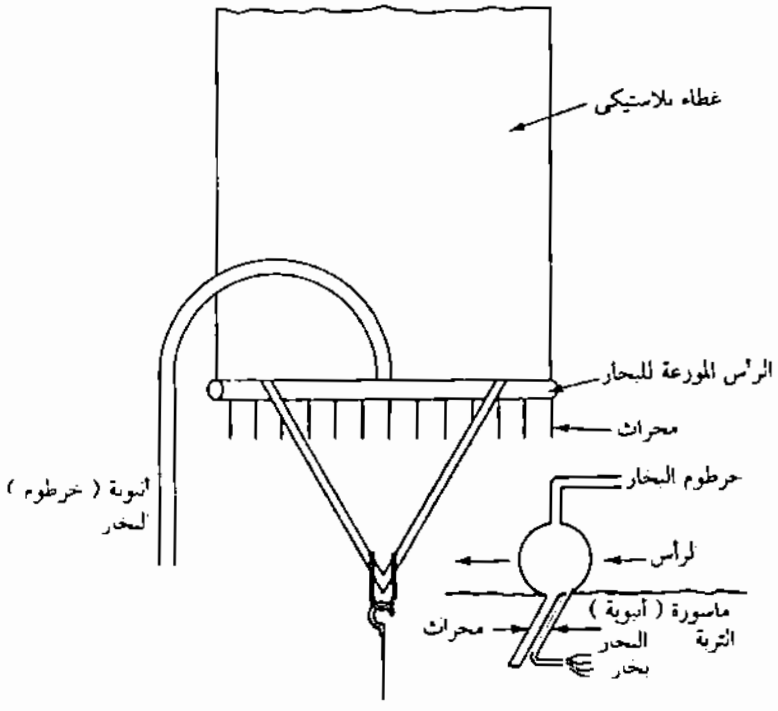
يعد التعقيم بالبخار من أكثر الطرق استخداما فى المناطق الباردة ، وخاصة فى البيوت المحمية (الصوبات) التى تتم التدفئة فيها بالبخار .

طرق التعقيم بالبخار

تعقم التربة بحقنها بالبخار لمدة ٣٠ دقيقة ، حتى تصل حرارتها إلى ٨٠م - ٨٥م . ويتم الحقن بالبخار من خلال أنابيب مثقبةٍ تثبت فى 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 فى تربة الحقل أو البيوت المحمية من خلال أنابيب عمودية بطول ٤٠ - ٤٥ سم تبعد بعضها عن بعض بنحو ٢٢سم ، وتثبت خلف حفارات صغيرة تتصل برأس موزعة للبخار ، ثم بمصدر البخار بواسطة خرطوم ، وتتم تغطية المساحة المعاملة أولا بأول للمحافظة على درجة الحرارة المرتفعة لمدة ٣٠ دقيقة (شكل ١٢ - ١) . وتعتبر هذه الطريقة أقل تكلفة من الطريقة السابقة .



شكل (١٢ - 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 جيدا 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 بفلاحتها . وتعتبر هذه الطريقة أقل الطرق تكلفة (عن Nelson ١٩٨٥) .

ويراعى - دائما - حرث التربة لعمق ٣٠سم قبل إجراء عملية التعقيم ، مع تكسير القلاقيل التى يزيد قطرها على ٥سم ، وألا تعامل بالبخار قبل جفافها ؛ حتى يتغلغل البخار خلالها بصورةٍ جيدةٍ (عرقاوى ١٩٨٤) .

وعند تعقيم بيئات الزراعة وأوعية نمو النباتات بالبخار يراعى أن تستمر المعاملة لمدة ٣٠ دقيقة بعد أن تصل أبرد نقطة فى المخلوط إلى حرارة ٨٢م (١٨٠ف) ، ويتضمن ذلك أن يكون الحد الأدنى لدرجة الحرارة هو ٨٢م لمدة ٣٠ دقيقة ، لكن معظم البيئة والمواد المعقمة تكون حرارتها مثل درجة حرارة البخار ؛ أى ١٠٠م . ويراعى - عند تعقيم الأحواض أو الشتّالات المستخدمة فى الزراعة - أن تفصل بينها مسافة ٢,٥سم رأسيا ومن الجانبين ؛ حتى يمكن أن يتخلل البخار بينها بسهولة .

وتؤدى هذه المعاملة إلى التخلص من معظم بذور الحشائش والكائنات المسببة للأمراض من فطرياتٍ ، وبكتيريا ، ونيماتودا ، وفيروساتٍ ، وكذلك الحشرات ، إلا أنها تُبقى 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 أيضا إذا ارتفعت درجة حرارة البيئة إلى ١٠٠م . ولهذا يفضل أن يكون التعقيم على حرارة ٦٠م - ٧١م لمدة ٣٠ دقيقة ، حيث يتم القضاء على معظم الكائنات الضارة مع الإبقاء - قدر الإمكان - على الكائنات المفيدة . ويتحقق ذلك بأجهزةٍ خاصةٍ تقوم بخلط البخار بالهواء بدرجةٍ معينةٍ يمكن بواسطتها التحكم فى درجة حرارة مخلوط الغازين قبل دخولهما فى البيئة المراد تعقيمها . ويوضح جدول (١٢ - ١) درجات الحرارة اللازمة للقضاء على مختلف الآفات النباتية .

جدول (١٢ - ١) : درجات الحرارة اللازمة (لمدة ٣٠ دقيقة) للقضاء على مختلف الآفات النباتية

درجة الحرارة (°م) لمدة ٣٠ دقيقة	الكائنات التى يتم التخلص منها
٥	النيماتودا
٥٣	فطر Rhizoctonia solani
٦	معظم البكتيريا المسببة للأمراض النباتية
٦٣	معظم الفطريات المسببة للأمراض
٦ ٧١	الحشرات التى تعيش فى التربة
٧	معظم الفيروسات المسببة للأمراض النباتية
٧١	كل البكتيريا المسببة للأمراض النباتية
٧ - ٨٠	معظم بذور الحشائش
٩٥ - ١	بذور الحشائش والفيروسات المقاومة للحرارة

حساب الاحتياجات الحرارية للتعقيم بالبخار

يلزم - عادة - نحو ١,٦ ميجاجول MJ (أو ٣٨١ كيلوكالورى من الحرارة) لرفع درجة حرارة مترٍ مكعبٍ واحدٍ من بيئة الزراعة درجة واحدة مئوية ، إلا أنه يجب مضاعفة كمية الحرارة ؛ نظرا لأن كفاءة عملية التعقيم بالبخار تكون - عادة - فى حدود ٥٠٪ . ويعطى كل رطل من البخار ٩٧٠ وحدة حرارية بريطانية عند تحوله من بخارٍ على درجة ٢١٢°ف إلى ماءٍ على نفس الدرجة ، كما يعطى وحدة حرارية بريطانية أخرى عند كل انخفاضٍ إضافى فى درجة الحرارة قدره درجة واحدة فهرنهيتية . فإذا كان تعقيم بيئة الزراعة على حرارة ١٨٠°ف ، فإن ذلك يعنى انخفاض درجة حرارة الماء بمقدار ٣٢°ف ، معطيا بذلك ٣٢ وحدة حرارية بريطانية أخرى . ويعنى ذلك أن كل رطلٍ من البخار ينتج ١٠٠٢ وحدة حرارية بريطانية ، وبذلك يلزم نحو ٦ أرطال من البخار لتعقيم قدم مكعب من الخلطة على حرارة ١٨٠°ف (أو ٩٦ كجم من البخار / م^3 من الخلطة) . هذا . . وتقدر مَقْدِرة أجهزة توليد البخار بقوة الحصان (hp) ، وهى التى تعادل ٣٣٤٧٥ وحدة حرارية بريطانية لكل حصان .

ويوجد البخار فى الغلايات تحت ضغط حوالى ١٥ رطلا على البوصة المربعة (٧٠ - ١٠٠ كيلو باسكال kPa) . وهذا الضغط لا يؤدى إلى رفع درجة حرارة

البخار إلا بقدرٍ يسيرٍ لا يزيد كثيرا من مقدرته على خزن الحرارة ، ولكنه يفيد فى دفع البخار خلال البيئة . وبمجرد انطلاق البخار فى البيئة ، فإنه يصبح تحت ضغط منخفضٍ جدا ، لا يزيد على رطلٍ واحدٍ على البوصة المربعة (عن Nelson ١٩٨٥) .

مشاكل التعقيم بالبخار ، وما تجب مراعاته لتجنبها

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

١ - أن تكون التربة - أو مخلوط الزراعة - مفككةً ؛ حتى تسمح للبخار بالنفاذ من خلالها بصورةٍ جيدةٍ .

٢ - ألا يكون مخلوط التربة جافا ؛ لأن التربة الجافة تكون عازلة للحرارة . ويفيد ترطيب التربة فى إسراع عملية التعقيم ، لكن زيادة الرطوبة على حد معينٍ يبطىء مرة أخرى من عملية التعقيم ، نظرا لأن الحرارة النوعية للماء تبلغ خمسة أضعاف الحرارة النوعية للتربة ؛ ويعنى ذلك أن كمية الحرارة التى تلزم لرفع حرارة جرامٍ واحدٍ من الماء درجة واحدة تبلغ خمسة أضعاف كمية الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة وزن مماثلٍ من التربة بنفس القدر ؛ وبذلك تصبح عملية التعقيم بطيئة ، ويزداد استهلاك الوقود .

ويفضل دائما 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 متجانسا .

٣ - لبذور بعض الحشائش المقدرة على مقاومة الحرارة ، ويلزم لمكافحتها رفع درجة الحرارة إلى ٩٥م - ١٠٠م . ولتجنب الحاجة إلى رفع درجة الحرارة كثيرا ، 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 بكثيرٍ .

٤ - تجب إضافة كل المكونات الأخرى لبيئة الزراعة قبل التعقيم ؛ نظرا لأنه لا يطرأ عليها أى تغيير ، حتى لو ارتفعت حرارة أى من هذه المكونات إلى ١٠٠م . ويستثنى من ذلك سماد الأزموكوت ؛ نظرا لأن التعقيم قد يُحدث تغيراتٍ بغطائه ؛

الأمر الذى يزيد من سرعة تيسر العناصر منه . وفى هذه الحالة يجب عدم تأخير استعمال بيئة الزراعة عن ٢٠ يوما بعد التعقيم ؛ حتى لا يزداد تركيز العناصر إلى درجة ضارة بالنباتات ، لكن التعقيم على درجة حرارة ٧١م (١٦٠ف) ليس له تأثير يذكر على سماد الأزموكوت .

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

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 ساما 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 أسابيع بعد التعقيم .

وحقيقة ما يحدث هو أن الكائنات الدقيقة تتغذى على هذه المواد العضوية ، وتحصل منها على الكربون والنيتروجين وغيرها من المركبات . وتقوم البكتيريا المنتجة للأمونيا ammonifiying bacteria بتحويل النيتروجين فى المادة العضوية إلى نيتروجين أمونيومى ، ويلى ذلك قيام البكتيريا المنتجة للنترات nitrifying bateria بتحويل النيتروجين الأمونيومى إلى نيتروجين نتراتى . وتنمو معظم النباتات بصورة جيدة فى مخلوط من النيتروجين الأمونينى والنيتروجين النتراتى ، وتظهر بكثير من النباتات أعراض التسمم عند تغذيتها على النيتروجين الأمونيومى منفردا .

وعادة .. يتحول النيتروجين الأمونيومى بصفةٍ مستمرةٍ إلى نيتروجين نتراتى بواسطة البكتيريا المنتجة للنترات ، ولهذا فإنه يتواجد - دائما - مخلوط من صورتى الأزوت الأمونيومية والنتراتية ، لكن التعقيم يؤدى إلى قتل كل البكتيريا ، سواء المنتجة منها للأمونيوم ، أم المنتجة للنترات . وفى خلال أسابيع قليلة تستعيد البكتيريا المنتجة للأمونيوم أعدادها ، وتنتج الأمونيوم من المادة العضوية بكميات كبيرة ، فى حين لا تستعيد البكتيريا المنتجة للنترات أعدادها الطبيعية إلا بعد أسابيع قليلةٍ أخرى . وفى خلال هذه الفترة يزداد تركيز الأمونيا لدرجةٍ قد تحترق معها الجذور ، وتتقزم النباتات وتذبل ، لكن بمجرد تزايد أعداد البكتيريا المنتجة للنترات ، فإنها تقوم بتحويل الأمونيا المُنتجة إلى صورة نتراتية أقل سُمية للنباتات ، وتكون أكثر عرضة للغسيل من التربة مع الرى .

ولهذه الأسباب مجتمعة ، فإنه لا ينصح بإدخال السماد الحيوانى والمكمورة فى مخلوط الزراعة فى حالة تعقيمه بالحرارة .

٨ - ومن المظاهر الأخرى لمخاليط الزراعة المعقمة بالبخار - والتى تعرضت لدرجات حرارة أعلى ولمدة أطول مما يوصى به - أنه ينمو بها فطر Pezzia ostracho-derma بأعدادٍ كبيرةٍ ؛ نظرا لغياب المنافسة من الكائنات الأخرى . وينتج هذا الفطر جراثيم تكون فى البدية بيضاء ، ثم تتحول إلى اللون الأصفر ، فالبنى . وينمو كذلك الفطر Pyronema sp. ، منتجا جراثيم وردية اللون . وهذه الفطريات لا تصيب النباتات ، ولا ضرر منها ، ولكن غزوها لمخاليط الزراعة المعقمة يؤكد سهولة تكاثر أى من الكائنات الدقيقة فى غياب المنافسة من الكائنات الدقيقة الأخرى (Baker & Rois-tacher ١٩٥٧ ، و Nelson ١٩٨٥) .

التعقيم بالمبيدات

يُراعى عند تعقيم التربة بالمبيدات - بصورةٍ عامةٍ - ألا تقل الحرارة عن ١٠م ، وألا تكون شديدة الارتفاع ؛ ذلك لأن المبيد لا يتبخر ، ولا ينتشر فى التربة بكفاءةٍ فى الحرارة المنخفضة ، وقد يتحرك إلى أسفل فى الحرارة المنخفضة ، ثم يتجه إلى أعلى عند ارتفاع درجة الحرارة بعد ذلك ؛ الأمر الذى يضر بالنباتات التى يتصادف وجودها