رابعاً- التدخين Fumigation

- تستخدم المبيدات في هذه الحالة بصورتها الغازية وتتبع هذه الطريقة في مكافحة آفات المواد المخزونة, آفات التربة, وبعض الآفات التي تهاجم النباتات مثل الحشرات القشرية, بالإضافة إلى مكافحة القوارض.
- تعتبر عملية التدخين من أفضل الطرق المتبعة في مكافحة آفات المخازن فهي تساعد في مكافحة الآفات التي لا يمكن الوصول إليها بطرق المكافحة الأخرى (تعفير, رش, إيروزول) و كذلك الأطوار الحشرية المختبئة داخل الحبوب التي لا يمكن القضاء عليها بمبيدات التعفير أو بمبيدات الرش.

- ترتكز هذه الطريقة على أساس استخدام واحد أو أكثر من المواد المدخنة القادرة على أن تتحول تحت درجات حرارة وضغط معينين إلى شكلها الغازي بتركيز مميت للآفات الضارة, فهي تؤدي دورها بشكل الغازي وهذا يختلف عن الإيروزولات.
- الميزة الأساسية للمدخنات هي قدرتها على الانتشار فهي تنتشر إلى جزيئات مستقلة قادرة على الدخول ضمن كتلة الحبوب وحتى داخل الحبوب نفسها, بعكس الإيروزولات التي تتوضع على السطح الخارجي للمادة المعالجة.

مزايا المدخنات

- تنتشر داخل أكوام الحبوب مهما اختلفت طريقة تخزينها وطريقة تعبئتها وهذا يوفر الكثير من الجهد بالمقارنة مع المساحيق أو المحاليل.
- تتغلغل داخل الحبوب المعاملة فتقضي على الأطوار الحشرية المختبئة بداخلها.
- تؤثر فقط خلال فترة تطبيقها وهذا يسمح باستخدام المواد المعاملة مباشرة بعد انتهاء التعقيم.
- يطبق التركيز المميت بشكل متجانس ودقيق على كتلة الحبوب المعقمة.
- المدخنات عبارة عن جزيئات بسيطة تؤثر بآليات وطرق مختلفة على الآفات وهذا يساعد في إبطاء ظهور السلالات المقاومة.

مساوئ المدخنات

- تستخدم المدخنات للمكافحة العلاجية فقط, ويتوقف تأثيرها الحاد لحظة التخلص منها لذلك فهي لا تقي المخزون من الإصابات التي ربما تلحق به بعد انتهاء عملية التعقيم.
- ترتبط جدوى المكافحة بالغازات بشروط الوسط وخاصة درجة الحرارة حيث أن خواص الغازات المختلفة وخصوصاً القدرة على الانتشار تختلف كثيراً تبعاً لدرجة الحرارة.
- معظم المدخنات مواد سامة جداً للإنسان وللحيوانات الداجنة وهذا يفرض اتخاذ احتياطات أمان شديدة لحظة تنفيذ عملية التعقيم و لحظة التخلص من الغاز.

- لا بد من إجراء عمليات التعقيم ضمن غرف أو في أوساط محكمة الإغلاق كي نستطيع تحديد الجرعة المطبقة خلال فترة زمنية محددة ولمنع تسرب الغاز.
- عملية التدخين تتطلب توفير تجهيزات خاصة لتحريك وتوزيع الغاز داخل الفراغ التخزيني وتوفر تجهيزات لشفط الغاز وتهوية المخزن بعد انتهاء عملية التعقيم وهذا مكلف.
- لا يمكن أن تنفذ إلا من قبل عناصر فنية مدربة التدريب الجيد نظراً لخطورتها.

معطيات عامة عن المدخنات وعملية التدخين

- سرعة انتشار الغاز: تتناسب سرعة انتشار الغاز عكسياً مع الكتلة الجزيئية, حيث أن انتشار غاز الفوسفين **PH3** (كتلته الجزيئية 34) يكون أعلى من انتشار غاز بروومور الميثيل **CH3Br** (كتلته الجزيئية 95) .

- ارتباط الغازات: أولا الادمصاص **Adsorption**: يشير إلى تثبيت الغاز على أسطح المواد الصلبة وهي عملية عكسية. أما الامتصاص **Absorption**: فهو يشير إلى امتصاص الغاز داخل المواد الصلبة المعالجة وهي عملية عكسية في أغلب الأحيان, وتصبح غير عكسية عند حدوث تفاعل كيميائي بين الغاز الممتص والمادة الممتصة له وتتشكل البقايا.

معطيات عامة عن المدخنات وعملية التدخين

- الإزاحة: يبدأ حدوث ظاهرة الإزاحة للغاز المرتبط (انتزاع الغاز المرتبط) مع بدء انخفاض تركيزه ضمن الجو التخزيني, وهي عادة أكثر سرعة من الارتباط.
- الجرعة (ت / ز): ترتبط سمية المدخنات للآفات أساساً بعاملين :

- التركيز الفعلي (أو الحر) للمدخن.

- فترة التعرض للغاز أو زمنه.

- لذلك يعبر عن سمية مدخن ما بحاصل ضرب التركيز بالزمن ويدعى (ت × ز) وذلك ضمن ظروف محددة (حرارة, رطوبة, حشرة, مادة تخزينية ....). <u>التركيز الفعلي</u> هنا هو التركيز الحر للغاز وهو عملياً أقل من التركيز المطبق يعبر عن ت / ز بـ غ / سا / م^3, وبالتالي يمكن التحكم إما بالتركيز أو بالزمن للحصول على النتيجة نفسها .

معطيات عامة عن المدخنات وعملية التدخين

- حساب ت / ز: تحسب ت/ز بالنسبة للمدخنات المختلفة تجريبياً ضمن شروط محددة عن طريق قياس التركيز الحر ضمن حيز تخزيني مغلق على فترات زمنية مختلفة وترفع قيم ت/ز المأخوذة بالقياسات المتعددة على محور التراكيز والزمن وتحسب من خلاله.

- حساب التركيز المدخل: تتعلق قيمة التركيز المدخل (الجرعة الفعلية) بكثير من العوامل وأهمها: قيمة ت/ز النظرية, نسبة الحمولة التخزينية (كمية المخزون), التسرب المحتمل .

طرق التدخين المتبعة

I- التدخين تحت الضغط الجوي العادي

أ- عند استخدام غاز CH3Br:

- اختيار التركيز المستخدم:

عند حساب كمية الغاز اللازمة لتعقيم المخزون يجب أن نأخذ بالحسبان قدرة الحبوب على امتصاصه وإجمالي الضياع الذي قد يحدث, و للتبسيط فقد وضعت الحبوب المعاملة بهذا الغاز ضمن ستة مجموعات تبعاً لقدرتها على تثبيط الغاز

رقم المجموعة	نوع الحبوب	مدة التعقيم بالساعة	كمية الغاز المثبط غ/طن
1	رز- فاصولياء –جلبان - شعير	24	0
2	قمح – ذرة صفراء	24	20
3	ذرة بيضاء	24	40
4	فستق عبيد – حبوب زيتية – أكياس فارغة	48	40
5	كسبة – بذور زيتية – طحين (ما عدا طحين القمح)	48	80
6	طحين القمح	48	40

المادة المخزونة	الحجم م3/طن	المادة المخزونة	الحجم م3/طن
طحين قمح في أكياس	1.3	كسبة عبيد في أكياس	1.5
بذور فاصولياء دوكما	1.3	ذرة صفراء أكياس	1.6
ذرة بيضاء في أكياس	1.2	ذرة صفراء عرانيس	2.2
رز مقشور أكياس	1.2	بذور فستق عبيد في أكياس	1.7
جوزات فستق عبيد دوكما	3.5		

تحسب كمية الغاز الواجب تطبيقها من المعادلة التالية:

$$Q = V.E + P.M$$

حيث:

Q: كمية الغاز المدخن بالغرام الواجب تطبيقها.

V: حجم الخزان الكلي.

E: تركيز المادة المدخنة بـ م3 = 10 غ / م3 بدرجة حرارة 20 م° أو أكبر.

P: وزن المادة المراد معاملتها.

M: الضياع في المدخن نتيجة تثبيطه على الحبوب.

- يضاف إلى قيمة (E) و (M) نصف قيمتها الفعلية إذا كانت الحشرة المقصودة بالمكافحة هي خابرة الحبوب *Trogoderma granarium*.

سير عملية التخزين بغاز CH3Br

- بعد تأمين كافة المواد والأدوات اللازمة يجب التأكد من حالتها والتأكد من عمل جهاز التهوية ومراجعة إحكام إغلاق الفتحات وتوزيع اللوحات والملصقات المخصصة للإنذار في أمكنتها المناسبة.
- يطلق الغاز أثناء عمل جهاز التهوية الذي يترك بحالة عمل لمدة نصف ساعة بعد الانتهاء من إرسال الغاز.
- يجري التأكد خلال هذا الوقت باستخدام لمبة الهالوجين من عدم وجود التسرب للغاز من الأبواب والنوافذ وفتحات توصيلات جهاز التغذية بالغاز و جهاز التهوية.

- يتم التأكد من تركيز الغاز داخل المكان المعقم بأخذ عينات من الهواء من خلال فتحات خاصة لهذا الغرض موجودة في أعلى وأسفل المخزن, تؤخذ العينات على فترات زمنية مختلفة وعلى طول فترة التعقيم.
- بعد انتهاء مدة التعقيم يصرف الغاز الحر خلال 1-2 ساعة عند تشغيل جهاز تهوية استطاعته 30م^3 / سا.
- أما الغاز المرتبط (مدمص أو ممتص) نتخلص منه بإجراء تهوية متناوبة مثلاً 20 دقيقة تهوية لكل 40 دقيقة توقف, ويفترض عملياً بأن التخلص من الغاز قد انتهى عندما يكون محتوى الهواء بعد توقف جهاز التهوية لعدة دقائق قد أصبح معدوماً أو قليلاً, ويكشف عن ذلك باستخدام الأنبوب الكاشف.
- يترك المخزن المهوى مفتوحاً لمدة 24 سا لزيادة الحيطة والأمان .

ب- عند استخدام غاز فوسفور الهيدروجين PH3

اختيار التركيز المستخدم:

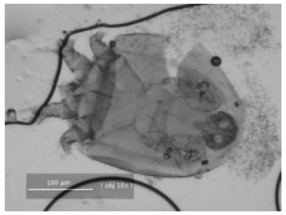
يستخدم حالياً نحو 20 غ من المستحضر التجاري لفوسفور الألمنيوم لكل طن, وتتعدل مدة المعاملة حسب عدة عوامل و نذكر منها:

درجة الحرارة السائدة عند تنفيذ التعقيم

- أقل من 10م° يفضل عدم إجراء التعقيم
- 10-15 م° 5 أيام
- 16-20 م° 4 أيام
- أكبر من 20 م° 3 أيام

- محتوى الحبوب المائي: عندما يكون المحتوى المائي للحبوب المخزونة أقل من 10 % فلا بد من إطالة فترة التعقيم للسماح للمادة السامة بالتسامي بشكل كلي.
- الإصابة بالأكاروسات: بعض أطوار الأكاروسات, وخاصة طور السكون مقاومة للمبيدات, لذلك يجب إطالة فترة التعقيم لمدة 12 يوماً تقريباً.

Acarus siro female



Acarus siro (hypope)

سير عملية التدخين بغاز PH3

- توزع أقراص فوسفور الألمنيوم مع تيار المادة المخزونة عند تعبئة المخازن بواسطة جهاز توزيع آلي مخصص لهذا الغرض.
- تسد الثقوب والفتحات والمخارج بعد الانتهاء من التعبئة حسب توجيهات المشرف على التعقيم.
- بعد انتهاء توزيع أقراص المبيد وإحكام إغلاق الفتحات يجب التأكد من إحكام إغلاقها ومراجعتها بعد 12-24 ساعة من بدء إطلاق الغاز, حيث يصل تركيز الغاز بعد هذه الفترة إلى أعلى حد .

- يتم التأكد من تركيز الغاز داخل المخزن مرة كل يوم على الأقل والقياس الأهم يكون بعد 48 ساعة من بدء التعقيم, حيث يجب أن يصل فيها تركيز الغاز إلى 800-1000 ppm.
- بعد انتهاء مدة التعقيم يصرف الغاز بالآلية نفس التي ذكرت مع غاز البروموم, ويمكن اعتبار تصريف الغاز قد تم عندما يصبح محتوى الهواء من الغاز أقل من 1 ppm.
- يترك المخزن مفتوحاً لمدة 24 ساعة قبل أن نسمح بدخوله وباستخدام المواد المعقمة.

وضع طبليات خشبية داخل الأكداس ثم وضع سلاسل فوسفيد الألمنيوم داخل الطبليات

قد يكون التعقيم باستخدام جهاز مولد لغاز الفوسفين

تغطية الأكداس بالنايلون بشادر إضافي لمنع تسرب غاز الفوسفين

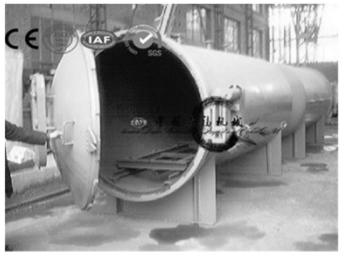
II- التدخين الفراغي

- تنفذ هذه العملية ضمن اسطوانات أو متوازي مستطيلات مصنوعة من الحديد محكمة الإغلاق وسميكة الجدران, تختلف أحجامها من 1-50 م^3 ومنها ما يتسع لسيارات عدة شاحنة.
- توضع المادة المراد تعقيمها داخل اسطوانة التعقيم وتقفل فتحة الاسطوانة ويفتح صمام فتحة التفريغ إلى أن ينخفض الضغط داخل الاسطوانة حتى 4 سم زئبقي, عند ذلك يقفل صمام التفريغ ويفتح صمام مأخذ الغاز إلى أن تدخل الكمية المناسبة من الغاز, فيقفل هذا الصمام وتشغل المراوح داخل اسطوانة التعقيم خلال فترة التعقيم التي تتراوح بين 2-4 سا.
- بعد انتهاء مدة التعقيم يفتح الصمام الواصل مع الجو الخارجي حتى تمتلئ الاسطوانة بالهواء ويتعادل ضغطها مع الضغط الجوي, من ثم تشغل مضخة التفريغ للتخلص من الغازات السامة. وتكرر العملية لمرات عدة إلى أن يتم التخلص من معظم الغاز السام.

تمتاز هذه الطريقة

- بكونها أشد تأثيراً على الآفات وخلال فترة زمنية قصيرة, وهذا يرجع إلى عوامل عديدة أهمها نقص الأكسجين في الفراغ المعامل الذي يؤدي إلى تسريع وتيرة التنفس عند الحشرات فيدخل لجسمها نتيجة لذلك كمية أكبر من الغاز, إضافة إلى ذلك إن الضغط المنخفض داخل اسطوانة التعقيم ذو تأثير ميكانيكي قاتل للحشرات.
- المبيد المستخدم للتعقيم الفراغي هو غاز CH3Br, وتختلف الكمية المستخدمة تبعاً لعدة عوامل مثل: نوع المواد المخزونة, درجات الحرارة وطبيعة التخزين (دوكما أو في أكياس).

حاويات التعقيم الفراغي



تعقيم التربة باستخدام المدخنات

- تتبع هذه الطريقة بشكل رئيسي لمكافحة النيماتودا والأعشاب في التربة قبل زراعتها, وغالباً ما يستخدم غاز البرومور لهذا الغرض.
- تنفذ عملية التعقيم لمخاليط التربة الزراعية (تربة + سماد + ...) بعد تكديسها في أكوام, أو تنضيدها في صناديق, وتغطيتها بشوادر تعقيم (أغطية بلاستيكية), والجرعة المطبقة هي 600غ/ م^3/24 سا/ 15 م° أو 600غ/ م^3/48 سا/ 10 م°.
- تنزع الأغطية عند انتهاء مدة التعقيم وتهوى الأكداس لمدة يوم, وتزرع البذور بعد ثلاثة أيام.
- أما عند تنفيذ التعقيم للتربة في الحقل وقبل زراعة الأرض فتتم العملية وفق الخطوات التالية:

1- تحرث التربة لعمق 30 سم.

2- تروى وتترك حتى تصل رطوبتها إلى نحو 50 % من السعة الحقلية (أرض مستحرثة).

3- تعامل بالمبيد بمعدل 50 غ/م^2 في الأراضي الرملية, أو 75 غ/م^2 في الأراضي الطينية الثقيلة.

- يوصل الغاز إلى التربة عبر أنابيب من البولي إيثيلين بقطر نحو 4 سم فيها ثقوب متقابلة قطرها 1 مم كل حوالي 20 سم, حيث تمد هذه الأنابيب على سطح التربة, وعند التعقيم يتم توصيلها بأنبوبة الغاز الرئيسي.

- يتم عادة مد أنابيب البولي إيتيلين بطول 50 م, وعلى بعد 100 سم عن بعضها البعض, وبالتالي فإن كل أنبوب منها يعقم شريطاً من الأرض مساحته 50 م^2 (1 × 50).
- عادة ما يتم السماح للغاز بالانطلاق في خطين من أنابيب البولي إيتيلين دفعة واحدة, وبذلك يعقم في كل مرة 100م^2 من الأرض.
- تغطى كامل المساحة المراد تعقيمها بشرائح بلاستيكية شفافة بعرض 4 م تطوى حوافها بعضها على بعض, مع إضافة التربة بين البلاستيك عند طي الأطراف لمنع تسرب الغاز.

- يراعى عند التعقيم ألا تقل درجة حرارة التربة عن 20 م°, كما يجب تسخين الغاز بإمراره أولاً خلال أنابيب في جهاز خاص حيث يتعرض الغاز لدرجة حرارة 110 م°, ومع خروجه من الجهاز تكون حرارته قد وصلت إلى نحو 80 م°, ومع وصوله عبر الأنابيب إلى التربة تكون حرارته قد انخفضت إلى ما يقرب من 20 م°.
- يترك الغطاء على التربة المعاملة لمدة يوم واحد في حرارة 20 م° ويومين في حرارة 10 م°, ثم يرفع ويسمح بالتهوية الجيدة لمدة ثلاثة أيام. بعدها يبدأ في إعداد الأرض للزراعة على ألا تزرع قبل أسبوع من انتهاء عملية التهوية.

تجهيز التربة من أجل التعقيم بغاز بروميد الميتيل

In 2001, state regulators imposed new regulations on methyl bromide applications, which included buffer zones to limit exposure. The authors found that many strawberry growers were forced to switch from bed fumigation, *left*, where the beds are formed and then treated, to more expensive flat fumigation, *right*, in which the process is reversed.