

مقدمه

در سال ۱۹۷۰ میلادی دو دانشمند به نام‌های شرودر رولاند و ماریو مولینا از دانشگاه کالیفرنیا ادعا کردند که مواد شیمیایی مصنوعی به نام کلروفلوروکربنها (CFC's) موجب تخریب لایه اوزن استراتوسفری زمین می‌گردند. سایر تحقیقات نیز این ادعا را تایید کرد. امروزه ثابت شده که فعالیت‌های بشر در ارتباط با مصرف مواد مخرب لایه اوزن باعث کاهش و یا تخریب لایه اوزن استراتوسفری که نقش حفاظتی در مقابل اشعه ماوراء بنفش خورشید دارد، می‌شود.

در دهه ۱۹۸۰، دانشمندان گزارش دادند که در بهار هر سال حفره‌ای در لایه اوزن قطب جنوب ایجاد می‌گردد. روند کاهش این لایه تا سال ۱۹۹۰ بسیار شدید بود و حفره ایجاد شده در آن در این مقطع زمانی از لحاظ اندازه بسیار گسترده شده بود.

امروزه شواهد بسیار روشنی دال بر کاهش ضخامت لایه اوزن در تمامی بخش‌های جو کره زمین بجز در مناطق استوایی وجود دارد. با توجه به اهمیت جدی این لایه برای حفظ حیات روی کره زمین و سلامت بشر، جنبش جهانی برای حفاظت از لایه اوزن استراتوسفری پدیدار گشت. این جنبش و حرکت تحت حمایت و هدایت برنامه زیست محیطی سازمان ملل متحد و در قالب پروتکل مونترال عینیت یافت که تا سال ۲۰۰۲ بیش از ۱۸۰ کشور به عضویت آن درآمدند.

هدف از این معاهده بین‌المللی در درجه اول محدودسازی و سپس حذف کامل هر گونه تولید یا مصرف مواد مخرب لایه اوزن توسط کشورهای عضو می‌باشد. در صورت اجرای مناسب مفاد این تعهدنامه از تخریب بیشتر لایه اوزن جلوگیری می‌شود و در نهایت، امکان بازیابی و ترمیم مجدد بخش‌های تخریب شده آن نیز فراهم خواهد شد.

برپایه برآوردهای انجام شده در سال ۱۹۹۶ میزان مصرف جهانی گاز متیل‌بروماید به عنوان یکی از مواد مخرب لایه اوزن بطور متوسط ۶۸۰۰۰ تن بوده است (US EPA 1998).

۹۷ درصد این گاز برای ضدعفونی مصرف شده و ۳ درصد آن کاربرد صنعتی دارد، حدود ۷۰ درصد متیل‌بروماید مصرفی برای ضدعفونی خاک مورد استفاده قرار گرفته و حدود ۲۰ درصد آن نیز مربوط به ضدعفونی محصولات کشاورزی انباری می‌باشد. متیل‌بروماید عمدتاً به عنوان یک ماده ضدعفونی‌کننده برای کنترل آفات و عوامل بیماری‌زای گیاهی در انبارها، خاک، اماکن و ساختمان‌ها و بخش قرنطینه (صادرات، واردات و ترانزیت) به کار گرفته می‌شود.

طبق بررسی‌های انجام شده به طور متوسط ۶۴ درصد انتشار متیل‌بروماید در جو زمین مربوط به مصارف کشاورزی و فعالیت‌های مربوط به آن می‌باشد که این میزان بسته به روش کاربرد، شرایط محیط و عوامل دیگر متفاوت می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در کشورهای پیشرفته، مصرف این ماده را می‌توان با انتخاب جایگزین‌های مناسب کاهش داد یا حذف نمود.

در حال حاضر مصرف این گاز در کشورهای توسعه یافته بسیار محدود و در مواردی نیز حذف گردیده است. کشورهای در حال توسعه به دلیل وجود برخی از محدودیتهای اجتماعی و نیز فقدان یا کمبود تکنولوژیهای مناسب برای جایگزینی نیاز به زمان بیشتری برای کاهش و حذف متیل‌بروماید دارند. جدول زمانبندی برای حذف متیل‌بروماید به شرح ذیل می‌باشد:

۱- در کشورهای توسعه یافته:

- تثبیت میزان مصرف در سال ۱۹۹۵.

- ۲۵ درصد کاهش تا سال ۱۹۹۹.

- ۵۰ درصد کاهش تا سال ۲۰۰۱.

- ۷۰ درصد کاهش تا سال ۲۰۰۳.

- حذف کامل تا سال ۲۰۰۵.

۲- در کشورهای در حال توسعه:

- تثبیت میزان مصرف در سال ۲۰۰۲ بر مبنای میانگین مصرف بین سالهای ۹۸-۱۹۹۵.

- ۲۰ درصد کاهش تا سال ۲۰۰۵.

- حذف کامل تا سال ۲۰۱۵.

متذکر می‌گردد از آنجائیکه هنوز از سوی پروتکل مونترال جایگزین مناسب و مطمئنی برای گاز متیل بروماید در بخش قرنطینه معرفی نشده است لذا جدول زمانبندی ارائه شده برای محدودیت و ممنوعیت این گاز شامل بخش قرنطینه نمی‌باشد.

تاریخچه مصرف گاز متیل بروماید در ایران

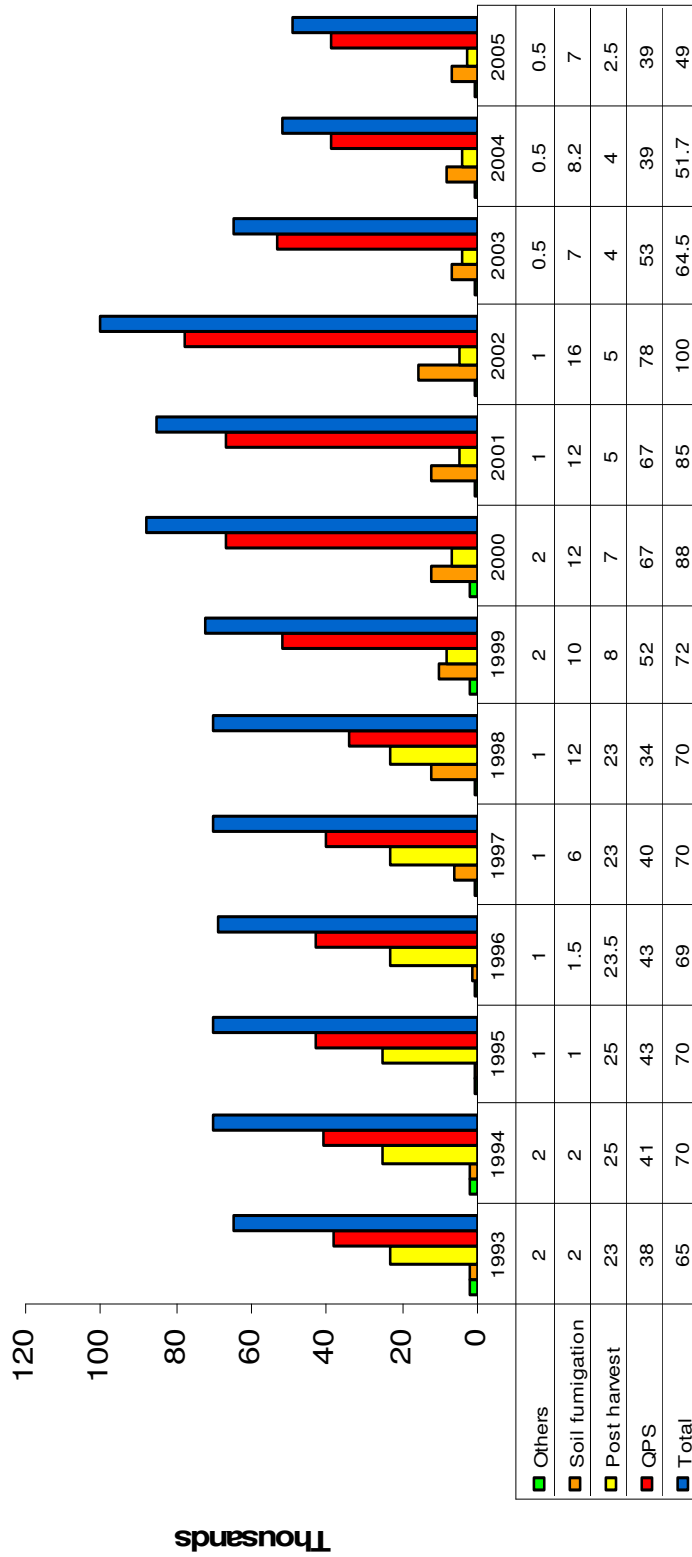
گاز متیل بروماید برای اولین بار در ایران در سال ۱۹۶۵ میلادی برای جلوگیری از انتشار کرم قوزه پنبه از قسمت مرکزی به قسمت شمالی کشور و نیز در سال ۱۹۷۱ برای کنترل انتشار کرم ساقه‌خوار برنج (ضد عفونی کاه و کلش) استفاده شد. از آن زمان به بعد این گاز بطور گسترده به عنوان یک ضد عفونی کننده اصلی در بخش قرنطینه نباتی و کنترل آفات انباری مورد استفاده قرار گرفت.

وضعیت فعلی مصرف گاز متیل بروماید در ایران

وزارت جهاد کشاورزی مرجع ملی تامین و توزیع آفت‌کشهای مورد نیاز بخش کشاورزی از جمله گاز متیل بروماید می‌باشد. سازمان حفظ نباتات بعنوان یکی از نهادهای زیر مجموعه وزارت جهاد کشاورزی مسئول نظارت فنی بر توزیع این آفت‌کش در سراسر کشور است. متوسط میزان مصرف گاز متیل بروماید در ایران در طی سالهای گذشته سالیانه حدود ۸۰-۶۵ تن بوده است که بیشتر از ۸۰ درصد آن در بخش قرنطینه نباتی و ۲۰ درصد باقی مانده برای کنترل آفات انباری، ضد عفونی ساختمانها و اماکن، وسایل نقلیه و ضد عفونی خاک استفاده شده است. در حال حاضر تعداد ۱۵۰ شرکت خصوصی در ایران در زمینه ضد عفونی محصولات کشاورزی، ساختمان و خاک مشغول به کار می‌باشند. آمار مصرف گاز متیل بروماید در ایران در سالهای اخیر به تفکیک موارد کاربرد و سال در نمودار شماره (۱) نشان داده شده است.

Annual consumption (kg) of Methyl bromide in Iran for various application 1993-2005

■ Others
 ■ Soil fumigation
 ■ Post harvest
 ■ QPS
 ■ Total



Years

Thousands

نگاهی به روند اجرای پروتکل مونترال و چگونگی مصرف گاز متیل بروماید در بخش‌های

مختلف ضد عفونی:

در سرتاسر دنیا متیل بروماید عمدتاً به عنوان یک فومیگانت (ماده تدریجی) استفاده می‌گردد و به کنترل طیف وسیعی از آفات شامل پاتوژن‌ها (قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌های خاکزاد)، کنه‌ها، نماتدها و جوندگان کمک می‌کند. فومیگاسیون (تدریجی) تکنیکی است که برای کنترل آفات موجود در خاک، مواد انباری فاسد نشدنی، مواد انباری فاسدشدنی، ساختمان‌ها و وسایل حمل و نقل بکار می‌رود. در سال ۱۹۹۶، تولید جهانی متیل بروماید حدود ۷۱،۴۲۵ تن بود که تقریباً ۶۸،۶۶۶ تن آن در بخش کشاورزی و بخش‌های مربوط به آن استفاده گردید و بقیه آن بمیزان ۲۷۵۹ تن به عنوان ذخیره برای سنتز شیمیایی در بخش صنعت به کار برده شده است.

طیف اثر وسیع و سهولت استفاده از گاز متیل بروماید، آن را به یک ماده مفید در بخش کشاورزی تبدیل نموده است. مزایای عمده آن شامل موارد زیر می‌باشد:

- به طور عمیق در خاک، کالاهای و ساختمانها نفوذ نموده و آفات غیرقابل دسترس بیشتری را کنترل می‌نماید.
- در غلظت‌های پایین علیه بیشتر آفات موثر است.
- نسبتاً سریع عمل می‌کند.

در دما و فشار معمولی محیط، متیل بروماید به صورت گاز می‌باشد، اما معمولاً به صورت مایع در قوطی‌های تحت فشار با ظرفیت ۰/۶ تا ۲۰۰ کیلوگرم و سیلندرهای استیل تهیه و حمل و نقل می‌گردد. این گاز در ایران بصورت سیلندرهای ۵۰ کیلوگرمی عرضه می‌شود. برای کاربرد متیل بروماید در ضد عفونی خاک دو روش عمده وجود دارد:

۱- کاربرد دستی.

۲- تزریق مکانیکی بوسیله انژکتور در عمق توسعه ریشه‌ها.

کاربرد دستی شامل تبخیر و تخلیه متیل بروماید در سطح خاکی است که قبلاً با پوشش پلاستیکی مناسب پوشانیده شده است. در تزریق مکانیکی، فومیگانت بدون خاک تزریق می‌شود، محدوده مورد تیمار، بسته به عمق تزریق با پلاستیک پوشانده می‌شود یا بدون پوشش، این کار صورت می‌گیرد.

برای ضد عفونی کالاهای تجاری و ساختمانها، متیل بروماید مستقیماً از سیلندر رهاسازی می‌گردد یا توسط یک منبع گرمایی به بخار تبدیل می‌شود. در هر دو صورت، باید مراقبت‌های لازم صورت گرفته و از توزیع یکنواخت گاز اطمینان حاصل گردد. میزان متیل بروماید مورد استفاده و زمان در معرض قرارگیری کالا به توصیه‌های فنی، الزامات قانونی و قراردادی، حجم فضا و محموله مورد تیمار و میزان درزگیری (Sealing) ساختمانها و کانتینرها بستگی دارد. مونیتورینگ می‌تواند به تعیین دقیق دز مورد نیاز کمک کند اما هنوز برای اطمینان از ریشه‌کنی آفت، تمایل زیادی جهت کاربرد دزهای بالاتر وجود دارد.

مصرف جهانی متیل بروماید در سالهای بین ۱۹۸۴ و ۱۹۹۲ با نرخ حدود ۳۷۰۰ تن در سال افزایش یافت. با

این حال چند عامل وجود دارد که استفاده از آن را محدود می‌نماید:

- از نظر تکنیکی متیل بروماید می‌تواند رنگ و بوی کالاهای خاصی را تغییر دهد.

- برای گیاهان در حال رشد سمی است.
 - تولید باقیمانده یون بروماید می کند که برای آبهای زیرزمینی یک عامل خطرناک محسوب گردیده و برای انسان سمی است.
- از این رو کاربرد آن توسط کاربران نیاز به آموزش و تجهیزات خاصی دارد. تاکنون برخی از کشورها در واکنش به مساله آلودگی هوا و آبهای سطحی و زیرزمینی در اثر استفاده از این گاز، قوانین محدود کننده ای را اعمال نموده اند. به استثنای چند مورد، همه موارد کاربرد آن در سالهای آینده تحت نظارت پروتکل مونترال بتدریج به پایان خواهد رسید.

کاربردهای عمده متیل بروماید

ساختمانها و وسایل حمل و نقل	مواد فاسد شدنی	مواد فاسد نشدنی	خاک
تیمار آسیاب های آرد	تیمار برای قرنطینه (میوه های تازه، سبزیجات)	تیمار در طی انبارداری (غلات)	تیمار قبل از کشت (گلهای شاخه بریده، توت فرنگی)
ضد عفونی ساختمانها	-	تیمار در طی قرنطینه، صادرات، واردات (غلات، الوار)	تیمار واکاری (درختان میوه)
تیمار کشتی ها و کانتینرهای باری (پر یا خالی)	-	کنترل در طی انبارداری و بازار (آجیل و خشکبار)	تیمار بسترهای بذر (توتون)
			تیمار اندامهای تکثیری (ساقه های رونده توت فرنگی)

تلفات گاز متیل بروماید در نتیجه انجام عملیات ضد عفونی

هنگامی که متیل بروماید مورد استفاده قرار می گیرد، مقداری از آن در اتمسفر رها می گردد، در حالیکه باقیمانده آن با ماده مورد تیمار واکنش نشان داده، تولید یونهای غیرمخرب لایه اوزن (ODS) بصورت مواد غیر فرار، فرآورده های متیله مختلف و دی اکسید کربن می نماید. گاهی اوقات، میزان متیل بروماید منتشر شده در اتمسفر را می توان مستقیماً اندازه گیری کرد، اما تلفات گاز متیل بروماید را می توان اغلب با اندازه گیری مقدار باقیمانده متیل بروماید بهتر برآورد نمود.

میزان متیل بروماید آزاد شده به درون اتمسفر به نحوه اجرای عملیات ضد عفونی بستگی دارد. همچنین تا حد زیادی تحت تاثیر عواملی از قبیل کارایی پوشش های به کار برده شده، دقت در کار درزگیری، دما، رطوبت، واکنش با ماده مورد تیمار و مدت زمان تماس با کالا قرار می گیرد.

تلفات گاز متیل بروماید می تواند در سه مرحله جداگانه از فرآیند فومینگاسیون روی دهد:

- در طی تیمار و در نتیجه نشت گاز، که این مسئله می تواند کارایی عملیات ضد عفونی را کاهش داده و امنیت کارگران را به خطر اندازد.

- بلافاصله پس از تیمار، و در نتیجه تهویه فضای ضدعفونی شده و یا برداشتن پوشش پلاستیکی از روی خاک.
 - بعد از تیمار، از طریق رها سازی متیل بروماید جذب شده توسط خاک، کالا یا ساختمان. میانگین میزان تلفات گاز متیل بروماید در کشاورزی و بخش های مربوط به آن، حدود ۶۴ درصد برآورد می شود. در مورد نشت گاز، با درزگیری بهتر مکان های ضدعفونی، می توان مقدار تلفات را کاهش داد، درحالیکه کنترل تهویه و کنترل رهاسازی متیل بروماید جذب شده نیاز به احیاء متیل بروماید باقیمانده، بازیافت یا انهدام دارد. بازیافت و استفاده مجدد، هزینه و انرژی زیادی را دربر خواهد داشت.
- در طی انجام فومیگاسیون در زیر پوشش پلاستیکی، کیفیت درزگیری با به زیر خاک بردن لبه های پلاستیک افزایش می یابد. تحقیق در جهت بهبود این روش با استفاده از پوشش های ضخیم تر یا با نفوذپذیری کمتر در دست انجام است. برای ضدعفونی ساختمان یا کالا، درزگیری مناسب و زمان طولانی تر، به معنی استفاده از گاز متیل بروماید کمتر می باشد. درزگیری خوب و موثر در ساختمانهای ثابت آسانتر از مکان های موقتی یا متحرک می باشد. بعلاوه لازم است برای تهویه متیل بروماید پس از ضدعفونی، ساختمانها مجهز به فن باشند.
- تمایلاتی جهت احیاء، بازیافت و استفاده مجدد از متیل بروماید وجود دارد. به دلایل تکنیکی و اقتصادی، تنها سه سیستم احیاء شامل:
- جذب شدن به کربن فعال شده یا زئولیت.
 - فشرده شدن.
 - جذب شدن به مایعات واکنش دهنده.
- وجود دارد یا استفاده شده است، در حالیکه چندین سیستم دیگر در حال توسعه می باشد. مطالعات نشان داده که بعضی از این تکنیکها تنها پتانسیل بازیافت و استفاده مجدد مقداری از متیل بروماید به کاررفته شده را دارند. باوجود این، تکنولوژی های بازیافت و احیاء پیچیده می باشد و احتمالاً هزینه نصب و راه اندازی و تخصیص امکانات مورد نیاز برای اجرای آنها، بیشتر از هزینه های فومیگاسیون می باشد. بعلاوه، اکنون که اصلاحات پروتکل مونترال برنامه های دقیقی را جهت کاهش و کنار گذاشتن متیل بروماید ارائه داده است، تمایلات زیادی در حرکت به سوی جایگزین های متیل بروماید در مقایسه با بازیافت و احیاء آن بوجود آمده است.

میزان متیل بروماید استفاده شده و برآورد درصد مواد تلف شده

منبع - MBTOC, 1995

نوع ضد عفونی و نوع کالا		میزان گاز استفاده شده		برآورد میزان گاز تلف شده
		درصد استفاده غیر صنعتی جهانی	تن	درصد
ضد عفونی خاک				
تزریق کم عمق با پوشش	۳۱۰۰۰		۱۰۲۳۰-۲۴۸۰۰	۳۳-۸۰
تزریق عمیق با پوشش	۲۲۹۶		۶۸۹	۳۰
تزریق عمیق بدون پوشش	۱۱۴۸		۹۱۸	۸۰
تزریق گاز بخار شده با پوشش	۲۲۹۶۳		۱۱۴۸۱-۱۹۵۱۸	۴۰-۸۵
مجموع	۵۷۴۰۷	۷۵.۴۷	۲۱۰۲۲-۴۵۹۲۵	۳۷-۸۰
فضای بسته (مواد فاسد نشدنی)				
غلات	۴۶۰۱		۲۳۴۷-۳۲۲۱	۵۱-۷۰
آجیلی ها (مغزها)	۲۳۶		۱۲۰	۵۱
میوه های خشک شده	۲۳۶		۲۰۵	۸۷
الوار	۴۷۸۲		۴۲۰۸	۸۸
مجموع	۹۸۵۵	۱۲.۹۶	۶۸۸۰-۷۷۵۴	۷۰-۷۹
فضای بسته (مواد فاسد شدنی)	۶۵۳۷	۸.۵۹	۵۵۵۶-۶۲۱۰	۸۵-۹۵
فضای بسته (ساختمان)	۲۲۶۴	۲.۹۸	۲۰۳۸-۲۱۵۱	۹۰-۹۵
مجموع کاربرد در بخش کشاورزی	۷۶۰۶۳		۳۵۲۲۹-۶۱۷۷۳	۴۶-۸۱

جایگزین های گاز متیل بروماید

تاکنون هیچ ماده ای پیدا نشده است که بتواند به تنهایی جایگزین طیف وسیع استفاده از متیل بروماید گردد. با وجود این جایگزین هایی برای بیش از ۹۰ درصد کاربردهای متیل بروماید تعیین شده است. در حالیکه برخی از این جایگزین ها، آفتکش های شیمیایی هستند، بسیاری از جایگزین های دیگر متنوع بوده و شامل روش های مختلف برای کنترل آفات خاص می باشند.

در بسیاری از موارد ترکیبی از فرآورده‌ها (شیمیایی یا غیرشیمیایی) به جای متیل بروماید استفاده می‌شود. روش مدیریت تلفیقی آفات (IPM) تکنیکی است که در درجه اول به انتخاب ترکیبی از جایگزین‌های مقرون به صرفه و مناسب برای محیط زیست و نیز به حداقل رساندن استفاده از آفتکش‌ها بستگی دارد. از بین تمام جایگزین‌های معرفی شده، استفاده از بخار آب برای تیمار خاک بیشترین پتانسیل گرم شدن جهان (GWP)¹ را دارا می‌باشد، زیرا بخار آب با استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. GWP جایگزین‌های گازی دیگر، تاکنون تعیین نشده است.

جایگزین‌ها ممکن است تولید و سوددهی را بهبود بخشند یا کاهش دهند، اما اغلب کاهش استفاده از متیل بروماید، مزایای عمده‌ای را دربر دارد. این گاز تاکنون در دانمارک و هلند برای مساله ضدعفونی کنار گذاشته شده و بعضی از کشورهای در حال توسعه مانند کلمبیا و اندونزی، تاکنون جایگزین‌های موثری را برای متیل بروماید پیدا کرده‌اند. با توجه به بررسی‌های بعمل آمده، برخی از این جایگزین‌ها توانسته‌اند بازدهی و سوددهی محصول را افزایش دهند.

جایگزین‌های متیل بروماید در بخش ضد عفونی خاک

ضدعفونی خاک در جهان، ۷۰ درصد کل متیل بروماید استفاده شده در بخش کشاورزی و بخشهای مربوط به آن را به خود اختصاص داده است. متیل بروماید به عنوان یک فومیگانت به حفظ یا افزایش بهره‌وری محصولاتی کمک می‌کند که بازده آنها در اثر آفات و عوامل بیماری‌زای خاکزاد نظیر قارچها، باکتریها، نامتدها، حشرات و علفهای هرز کاهش می‌یابد. تیمار با گاز متیل بروماید تحت بسیاری از شرایط و انواع سیستم‌های زراعی، موثر می‌باشد و عمدتاً برای کنترل آفات در نهالستانها، مزارع توت‌فرنگی، خربزه، خیار، فلفل و گلهای شاخه بریده و توتون استفاده می‌شود.

در بیشتر موارد این امکان وجود دارد که برای ضدعفونی خاک، متیل بروماید را با تکنیک‌های موجود و متناسب با شرایط محلی جایگزین نمائیم. در موارد معدودی لازم است که جایگزین‌ها بیشتر توسعه پیدا کنند. با وجود این اگر بخواهیم سطوح معمول بهره‌وری حفظ شود، استفاده تلفیقی از چند تکنیک جایگزین ضروری می‌باشد.

کنترل تلفیقی آفات (IPM)، یک روش موثر و مناسب برای محیط زیست جهت کنترل آفات و بیماری‌های می‌باشد. IPM از تلفیق منطقی عملیات کنترل آفات و تکنیک‌های مناسب برای دستیابی به یک راه حل مفید جهت کنترل عوامل خسارت‌زا استفاده می‌کند. با وجود این، لازم است که IPM، مدیریت موثر و ایمن آفات را برای مکانها و موقعیتهای خاص فراهم نماید.

جایگزین‌های غیرشیمیایی

از روش‌های غیرشیمیایی نیز می‌توان برای ممانعت از کاربرد متیل بروماید استفاده نمود. ضدعفونی بوسیله متیل بروماید گاهی اوقات می‌تواند با تلفیق چند روش از روش‌های غیرشیمیایی جایگزین گردد. در بعضی

¹ Global warming potential

موارد، ممکن است برای کنترل موثر آفات جایگزین‌های شیمیایی لزوماً با جایگزین‌های غیرشیمیایی ترکیب گردند. تکنیک‌هایی که تاکنون استفاده شده یا در حال توسعه می‌باشند عبارتند از:

روشهای مبارزه زراعی

- **کشت بدون خاک و بسترهای مصنوعی برای رشد گیاه** (جایگزین‌های خاک) نظیر پرلیت در گلخانه و مزارع دارای شرایط اقلیمی و اقتصادی مناسب.
- **جایگزین‌های طبیعی** نظیر سنگریزه‌های کوچک و فرآورده‌های زاید.
- **تناوب زراعی** یعنی کاشت محصولات بصورت متوالی که از طریق کاشتن گیاهان غیرمیزبان، میزبان نامناسب یا گیاهان تله برای پاتوژن‌های هدف اجرا می‌گردد. این روش تحت تاثیر عواملی از قبیل دسترسی کم به زمین، وجود آفات مقاوم، وجود امکان برای کاشت محصولات تناوبی نامناسب، فقدان و یا کمبود تجهیزات، تخصص و نیز برخی از عوامل اجتماعی و اقتصادی محدود می‌گردد.
- **رهاکردن زمین به حالت آیش** بمنظور کاهش جمعیت آفات خاک، از طریق از فراهم نمودن میزبان و یا بستر مناسب برای رشد آفات صورت می‌گیرد. اجرای این روش در مناطقی که ارزش زمین کشاورزی بالا بوده و زمین محدود باشد، همچنین هنگامی که عوامل خسارتزا بتوانند در دوره‌های طولانی آیش دوام بیاورند، محدودیت دارد.
- **کاشت محصولاتی** که بتوان آنها را در زمانی تولید نمود و فروخت که تراکم یا فعالیت آفات پایین باشد.
- **شخم عمیق** برای کاهش مایه تلقیح پاتوژن از طریق دفن کردن اندام‌های تکثیری و تحریک فعالیت میکروبی برای تجزیه بقایای گیاهی.
- **غرقاب کردن و مدیریت آب** جهت تولید متابولیت‌های سمی برای آفات خاکزی.
- **استفاده از محصولات پوششی**، بصورت کاشت محصولات غیرتجاری و برگرداندن آنها به خاک به صورت بقایای سبز یا خشک، تا فعالیت میکروارگانسیم‌های آنتاگونیست آفات خاکزی تحریک گردد. محصولات پوششی نباید با محصول تجاری رقابت نمایند.
- **استفاده از مالچ‌های زنده**، که بصورت استفاده از محصولات پوششی رشد کرده به همراه محصول اصلی می‌باشد. این روش به منظور متوقف کردن رشد علف‌های هرز و کاهش فعالیت حشرات آفت بدون کاهش بازده محصول اصلی انجام می‌گردد.
- **بیوفومیگاسیون** که شامل شخم و زیر خاک بردن محصولات خاص بویژه خانواده براسیکاسه (چلیپائیان) می‌باشد که فومیگانت‌های طبیعی از خود منتشر نموده و موجب مرگ آفات و یا کنترل آنها می‌شوند. (تکنیکی که می‌تواند همراه با آفتاب‌دهی مورد استفاده قرار گیرد).
- **کوددهی و تغذیه گیاه**، که اگر به دقت انجام شود، می‌تواند رشد و نمو پاتوژن‌ها و شدت خسارت ناشی از آنها را کاهش دهد.

- **ارقام مقاوم** که از طریق اصلاح نبات توسعه می‌یابند، این ارقام نسبت به آفات و پاتوژن‌های خاکزی مقاوم یا متحمل می‌باشند. ارقام مقاوم برای بیشتر گونه‌های زراعی در دسترس هستند و می‌توانند با سیستم‌های تناوب زراعی تلفیق گردند تا پاتوژن‌ها را بهتر کنترل نمایند. با وجود این توسعه ارقام مقاوم نسبت به مجموعه پاتوژن‌ها کار پیچیده و مشکلی است. ارقام مقاوم جزء مهمی از یک سیستم IPM می‌باشد.
- **پیوند زدن** روشی است که در آن از پایه‌های مقاوم برای تولید محصولات یکساله یا چندساله حساس نسبت به پاتوژن‌های خاکزی استفاده می‌شود. این روش در کنترل پاتوژن‌های خاکزی محصولاتی مثل کدوئیان، گوجه‌فرنگی، مرکبات، انگور و درختان میوه موثر شناخته شده است.

روش‌های کنترل بیولوژیکی

بسیاری از موجودات، آنتاگونیست آفات و پاتوژن‌های گیاهی می‌باشند. آنها می‌توانند عوامل خسارت‌زای خاکزی را خیلی خوب کنترل نمایند. دامنهٔ فعالیت و دامنه میزبانی این آنتاگونیست‌ها بسیار کم است به این دلیل از آنها باید به عنوان بخشی از یک سیستم IPM استفاده شود.

جایگزینهای غیر شیمیایی	
عملیات زراعی	کاربرد مواد آلی
کنترل بیولوژیکی	روشهای فیزیکی

استفاده از تقویت کننده‌های خاک اضافه کردن مواد آلی مثل کمپوست‌ها، کودهای حیوانی و فرآورده‌های جانبی صنایع کشاورزی، جنگلی و صنایع غذایی می‌تواند به مدیریت آفات و بیماری‌های خاکزی کمک کرده و خواص فیزیکی خاک را بهبود بخشد. با وجود این، کارآیی این مواد به خواص فیزیکی و شیمیایی و در دسترس بودن آنها بستگی دارد. روش‌های کنترل فیزیکی روش‌های فیزیکی برای کنترل آفات خاکزی همگی برپایه استفاده از گرما استوار می‌باشد. این روش‌ها عبارتند از:

- **آفتاب‌دهی خاک** شامل پوشاندن خاک مرطوب با پوشش نازک و شفاف پلاستیکی و عبور گرمای خورشید و ورود آن به خاک و ایجاد یک دمای کشنده برای بعضی آفات می‌باشد. آفتاب‌دهی در بیش از ۴۰ کشور دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در خاکهای سنگین و یا مناطق نیمه‌خشکی که در آنجا تابش خورشید شدید بوده و بارندگی کم است، بیشترین تاثیر را می‌گذارد. آفتاب‌دهی خاک، طیف وسیعی از آفات را کنترل می‌نماید، اما چند آفت مهم وجود دارد که به طور کامل کنترل نمی‌شوند. بنابراین آفتاب‌دهی باید به عنوان بخشی از یک سیستم IPM بکار برود تا بیشتر موثر واقع گردد.

- **بخار آب** دمای خاک را تا حد ۸۰ - ۷۰ درجه سانتیگراد بالا برده و موجب پاستوریزه شدن آن می‌شود. بخار آب داغ مانند گاز متیل‌بروماید آفات خاکزی را به طور موثر کاهش می‌دهد و به طور وسیع برای ضدعفونی زمین‌های بزرگ، مزارع کوچک و گلخانه‌ها استفاده می‌شود. بالا بودن هزینه‌های مربوط به تامین انرژی، نیاز به سرمایه‌گذاری عمده و نیز نامناسب بودن بعضی از انواع خاکها از عوامل محدود کننده این روش محسوب می‌شوند.
- **تیمار آب داغ** می‌تواند برای کنترل علفهای هرز و آفات استفاده شود.
- **مالچ‌های پلاستیکی** با عبور انتخابی طول موج، به تشعشعات گرما دهنده اجازه عبور می‌دهند تا خاک را گرم کنند، اما مانع عبور طول موج‌های فتوسنتزی می‌گردند، بنابراین از رشد علفهای هرز جلوگیری می‌نمایند.

جایگزین‌های شیمیایی

تعدادی از مواد شیمیایی را می‌توان به عنوان جایگزین‌های متیل‌بروماید معرفی نمود که از بعضی از آنها می‌توان به آسانی استفاده کرد. هیچ جایگزین شیمیایی تاکنون به تنهایی توانایی کنترل طیف وسیعی از آفات کنترل شونده بوسیله متیل‌بروماید را نداشته است. بنابراین کاربرد ترکیبی مواد شیمیایی و یا استفاده از تکنیک‌های کنترلی دیگر ضروری می‌باشد. سمیت و ایمن بودن آنها اهمیت خاصی دارد، زیرا درآینده مسائل مربوط به سلامت انسان و محیط زیست احتمالاً استفاده از هرگونه آفتکشی را محدود خواهد نمود.

مواد شیمیایی موجود برای جایگزینی گاز متیل‌بروماید عبارتند از:

- **کلروپیکرین** به طور مناسب تعدادی از آفات را که شامل بیشتر قارچهای خاکزی، آفات ریشه و عوامل خسارتزای انباری میوه می‌باشد، کنترل می‌کند. باوجود این نماتدها و علفهای هرز را کنترل نمی‌نماید. همچنین برای کنترل طیف وسیع‌تری از آفات، آن را با آفتکش‌های دیگر (مانند ۱، ۳، دی کلروپروپین) یا روش‌های دیگر (مانند روش آفتاب‌دهی) می‌توان تلفیق نمود.
- **۳،۱ - دی کلروپروپین (D-1,3)** کنترل موثری را روی نماتدها و حشرات نشان داده است. همچنین توانایی متوقف کردن رشد برخی علفهای هرز و قارچهای بیماریزا را دارد. تحقیق برای توسعه تیمارهای ترکیبی با آفتکش‌های دیگر برای کنترل مناسب طیف وسیعی از آفات در حال انجام می‌باشد. **D-1,3** مشکلاتی برای سلامت انسان و محیط زیست به بار می‌آورد و هوا و آبهای زیرزمینی را آلوده می‌کند.
- **متمام سدیم**، کنترل موثری روی بعضی از علفهای هرز و پاتوژن‌های خاکزی (در درجه اول قارچها) و تعداد محدودی از گونه‌های نماتد پارازیت نشان می‌دهد. مطالعات اخیر نشان داده که این ماده به خاطر توزیع غیر یکنواخت در خاک، موجب کنترل پایدار آفات نمی‌شود.

- **دازومت** علفهای هرز، نماتدها و قارچها را کنترل می‌کند. به خاطر انتشار ناهمگن در خاک، آفات را به طور فراگیر کنترل نمی‌نماید.
- **ترکیبی از فومیگانتهای خاک** ممکن است مثل متیل بروماید بتواند طیف وسیعی از آفات را کنترل نماید، بنابراین راه حل کوتاه مدت تری را ارائه می‌دهد. با وجود این، ترکیبات فرموله شده نیاز به آزمایش و ثبت دارند.

مواد شیمیایی دیگر

تقریباً همانقدر که متیل بروماید می‌تواند آفات را کنترل کند، ترکیبی از چند ماده شیمیایی غیرفومیگانته (مثل علفکش‌ها، قارچکش‌ها، نماتدکش‌ها و حشره‌کش‌ها) یا ترکیب آنها با فومیگانته‌ها یا با روش‌های غیرشیمیایی نیز می‌تواند آفات خاصی را کنترل نماید.

با وجود این، بسیاری از آفات خاکزی نسبت به این ترکیبات مقاوم شده و میکروفلور خاک نیز گاهی اوقات آنها را تجزیه می‌کند. بعلاوه ممکن است استفاده از آنها بدلیل مضر بودن برای سلامت انسان و محیط زیست در آینده محدود گردد.

اولویت‌های آینده

لازم است که جایگزین‌های مناسب برای ضدعفونی خاک، غیرسمی، مقرون به صرفه و برای محیط زیست بی‌خطر باشند. روی تغییر سیستم‌های IPM موجود و مطابقت دادن سیستم‌های زراعی با اکوسیستم‌های محلی باید تاکید شود. تلاش جهت تبدیل تکنولوژی و مدیریت صحیح جایگزین‌های موجود باید صورت گیرد.

نمونه‌هایی از جایگزین‌های تجاری استفاده شده برای ضد عفونی خاک

منبع - MBTOC, 1997

نمونه‌هایی از کشورها یا مناطقی که روش جایگزین در آن استفاده می شود	روش جایگزین	محصول
کشورهای عضو ماده ۵، کشورهای غیر عضو ماده ۵	ارقام مقاوم	کدوئیان
کشورهای غیر عضو ماده ۵، مصر، اردن، مراکش، سوریه، تونس	پیوند زدن	
مصر، اروپا، اردن، لبنان، مراکش، ایالات متحده	کشت بدون خاک	
کلمبیا، اروپا	بخار	گل‌های شاخه‌بریده
کشورهای غیر عضو ماده ۵، لبنان، مراکش	آفتاب‌دهی	
برزیل، کانادا، اروپا، تانزانیا، ایالات متحده	بسترهای کشت	
اندونزی، مالزی، هلند، انگلستان	بسترهای کشت	توت فرنگی
مصر، اردن، لبنان، مراکش، هلند، اسپانیا، تونس	متمام سدیم	
کشورهای عضو ماده ۵، ژاپن، اسپانیا، ایالات متحده	ارقام مقاوم	گوجه‌فرنگی
ژاپن، مراکش	آفتاب دهی	گوجه‌فرنگی و فلفل (گلخانه‌ای)
بلژیک، کانادا، دانمارک، مراکش، هلند، اسپانیا، انگلستان، ایالات متحده	بسترهای کشت	
اسرائیل، ژاپن، اردن، ایالات متحده	آفتاب دهی	گوجه‌فرنگی و فلفل (مزرعه‌ای)
برزیل، آفریقای جنوبی، ایالات متحده	کشت بدون خاک	گیاهچه‌های توتون
برزیل، هندوستان، ژاپن، مالزی، آفریقای جنوبی، تایلند، ایالات متحده	دازومت	

جایگزین‌های متیل بروماید در بخش ضد عفونی مواد فاسدشدنی^۲
مواد فاسد نشدنی و پایدار، کالاهایی نظیر دانه‌های غلات، دانه‌های روغنی، میوه‌های خشک‌شده، آجیل‌ها و الوارها هستند که به دلیل کم بودن میزان رطوبتشان می‌توان آنها را برای دوره‌های طولانی مدت انبار نمود. با

^۲- Durables

وجود این، اگر مواد پایدار در زمان برداشت، آلوده به آفات شوند، این آفات می‌توانند در انبار یا در طول مرحله حمل و نقل زنده بمانند. همچنین، حشرات و کنه‌ها می‌توانند در انبار روی مواد پایدار تولیدمثل نمایند، حتی اگر در زمان برداشت وجود نداشته باشند. مدیریت آفات برای به حداقل رساندن خسارات و پیشگیری از انتشار آنها در بین کشورها از اهمیت خاصی برخوردار است.

ضدعفونی با مواد تدخینی، موثرترین روش کنترل آفات در مواد پایدار و فاسد نشدنی می‌باشد. دو فومیگانتی که به طور رایج استفاده می‌شوند عبارتند از فسفین و متیل بروماید.

برآورد می‌شود که حدود ۱۲ درصد استفاده سالانه (غیرصنعتی) جهانی متیل بروماید، مربوط به تیمار مواد پایدار می‌باشد. متیل بروماید تیمار مناسبی برای برخی کالاهای صادراتی و وارداتی می‌باشد و آلودگی را تا سطح بین المللی قابل قبولی کاهش می‌دهد. سریع عمل می‌کند (در بیشتر موارد، ۲۴ ساعت)، بیشتر آفات را کنترل می‌نماید و در دمای پایین (پنج درجه سانتیگراد) موثر می‌باشد.

تعدادی جایگزین قابل دسترس وجود دارد که برای مواد پایدار، به طور تجاری استفاده می‌شود. در بین جایگزین‌های فراوان متیل بروماید، فسفین یکی از کاربردی‌ترین جایگزین‌ها می‌باشد. عمدتاً برای غلات و بقولات استفاده می‌شود. با وجود این یک سری محدودیت تکنیکی دارد که جایگزینی کامل آن را غیرممکن می‌سازد. کاهش و کنارگذاشتن مصرف متیل بروماید، از طریق اعمال سیستم‌های IPM بهتر بدست می‌آید. اما این سیستم‌ها نیاز به مطابقت با شرایط محلی دارند. جزئیات بیشتر در مورد جایگزین‌های بالقوه موجود در ذیل آورده شده است:

روش‌های کنترل فیزیکی

- **تیمارهای سرمای** عمدتاً برای جلوگیری از تکثیر یا حمله مجدد آفات استفاده می‌شود اما وقتی این تیمارها به عنوان جایگزین متیل بروماید پیشنهاد می‌شوند که انجام ضدعفونی غیرشیمیایی بصورت خفیف مورد نیاز باشد.
- **تیمارهای حرارتی** قادرند مانند متیل بروماید و فومیگانت‌های سریع‌العمل دیگر آفات را با سرعت کنترل نمایند. این تیمارها شامل حرارت دادن کالاها تا دمای ۷۰-۵۰ درجه سانتیگراد و سرد کردن سریع آنها می‌باشند. هزینه این روشها زیاد می‌باشد.
- **اشعه‌دهی کالاها** با اشعه‌های گاما، اشعه ایکس و یا با الکترون‌های فعال شده، یکی از روشهای موثر کنترل آفات می‌باشد و در بعضی از موارد مورد استفاده قرار گرفته است. به لحاظ عدم توافقات بین‌المللی از توسعه بیشتر این روش جلوگیری می‌شود. عدم پذیرش مصرف‌کنندگان برای محصولات غذایی اشعه داده شده و نیز هزینه بالای آن از عوامل محدود کننده کاربرد آن محسوب می‌شود.
- **رعایت بهداشت و انجام عملیات محافظتی** شامل عملیاتی مثل پاکسازی، حذف باقیمانده‌های مواد غذایی و بقایای گیاهی است. هدف از رعایت بهداشت، جلوگیری از تکثیر آفات و کاهش نیاز برای کنترل آفات از طریق حذف یا دور نگهداشتن آنها از کالاها می‌باشد.

روش‌های کنترل شیمیایی

استفاده از فومیگانت‌ها و گازهای دیگر

- **فسفین** یک فومیگانت بسیار سمی است که در غلظت‌های پایین استفاده می‌شود. بخوبی داخل مواد نفوذ می‌کند، بقایای کمی دارد و برای ضدعفونی بیشتر مواد پایدار و فاسد نشدنی مناسب و موثر می‌باشد. این گاز نسبت به متیل بروماید، به زمان در معرض قرارگیری طولانی‌تری نیاز دارد. در دمای پائین خیلی اثر ندارد و مقاومت بعضی از آفات نسبت به آن افزایش می‌یابد. با انجام درز گیری مناسب و افزایش دوره تیمار می‌توان بر مقاومت آفات غلبه نمود.
- **اتیل فرمات**، استفاده از اتیل فرمات به میوه‌های خشک‌شده و غلات فرآوری‌شده در برخی کشورها محدود می‌شود.
- **کربن بی‌سولفید**، قبلاً به‌طور وسیعی استفاده می‌شد، اما به خاطر احتمال خطر آتش‌سوزی در بیشتر قسمت‌های دنیا ممنوع شده است.
- **کربونیل سولفید**، حشره کشی است که تاکنون به عنوان یک فومیگانت به ثبت نرسیده است.
- **ازن**، تاحدی پتانسیل یک فومیگانت را دارد اما تحقیقات بیشتری مورد نیاز می‌باشد.
- **متیل ایزوتیوسیانات (MITC)** به عنوان یک فومیگانت و محافظ غلات در دست مطالعه و تحقیق می‌باشد.
- **سولفوریل فلوراید**، عمدتاً علیه موریانه بکار برده می‌شود و برای استفاده روی مواد غذایی به ثبت نرسیده است.
- **اتیلن اکساید**، زمانی به طور وسیع روی مواد غذایی استفاده می‌شد اما در بسیاری از کشورها دیگر از آن استفاده نمی‌شود، زیرا بقایای آن سرطانزا می‌باشد.
- **استفاده از تیمار اتمسفر کنترل شده و اصلاح شده** بر پایه دی‌اکسید کربن و نیتروژن، می‌تواند موجب کنترل موثر آفات شود. محدودیت این تیمار، زمان طولانی در معرض قرارگیری خصوصاً در دماهای پایین (برای مثال ۸-۴ هفته در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد) و نیاز به انجام درزگیری دقیق می‌باشد.

استفاده از حشره‌کش‌های تماسی

- حشره‌کش‌های تماسی می‌توانند موجب کنترل آفات شوند. این مواد روی کالاهای تجاری، بقایای شیمیایی از خود بجا می‌گذارند بنابراین از کاربرد آنها در ضدعفونی محصولات فرآوری‌شده ممانعت بعمل می‌آید. همچنین مقاومت آفات نسبت به حشره‌کش‌های تماسی رو به افزایش می‌باشد.
- **ترکیبات ارگانوفسفاتی** به طور وسیع برای محافظت غلات استفاده می‌شوند. سرعت تجزیه این مواد شیمیایی تا حد زیادی به دما و رطوبت بستگی دارد.

- **پیرتروئیدهای سنتتیک (مصنوعی)** حشره‌کش‌هایی هستند که روی غلات کاملاً پایدارند و می‌توانند تا مدت طولانی موثر باشند.
- **مشتقات گیاهی.** بسیاری از این ترکیبات در کشورهای در حال توسعه مورد مصرف قرار می‌گیرند، اما در کشورهای توسعه یافته، شرکتهای تولیدکننده، انگیزه کمتری برای به ثبت رساندن آنها دارند.
- **تنظیم‌کننده‌های رشد حشرات (IGRs)** برای محافظت از کالاهای زراعی استفاده می‌شوند. این مواد از طریق دخالت در چرخه زندگی آفات عمل می‌کنند و بطور معمول قادر به کنترل آفات بالغ نمی‌باشند. دوام آنها روی مواد غذایی ممکن است کاربرد برخی از آنها را محدود نماید.
- **گردهای خنثی** می‌توانند کنترل موثر، ارزان، غیرسمی و پایداری را در غلات داشته باشند. خاک دیاتومه، یکی از گردهای خنثی است که چندین سال به عنوان بخشی از یک سیستم IPM در انبارهای غلات، به طور وسیعی استفاده می‌شده است. مشکل عمده کاربرد آنها، بقایای قابل مشاهده و گرد و غبار ایجادشده در محیط کار می‌باشد.

روش‌های کنترل بیولوژیکی

- **کنترل بیولوژیک** بوسیله حشرات یا پارازیت‌ها می‌تواند یک روش موثر کنترل آفات باشد. با وجود این لازم است قوانینی وضع شود که حشرات مفید به عنوان یک منبع آلوده کننده در نظر گرفته نشوند.
- **پاتوژن‌های حشرات** مثل باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوآها، نماتدها و قارچ‌ها نیز می‌توانند برای کمک به کنترل آفات استفاده شوند. برخی از این پاتوژن‌ها به عنوان محافظ محصولات انباری به ثبت رسیده‌اند اما بسیاری از آنها تحت آزمایشات مزرعه‌ای قرار دارند.
- **فرمون‌ها**، مواد شیمیایی هستند که توسط حشرات برای کنترل رفتار حشرات دیگر همان گونه ترشح می‌شوند. ممکن است آفات را از طریق فرمون‌های سنتتیک و تحریک یا ممانعت از الگوهای رفتاری خاص، خصوصاً جفتگیری بتوان کنترل نمود.

اولویت‌های آینده

نیاز به مطابقت دادن تکنولوژی‌های موجود جهت استفاده در مناطق دیگری غیر از مناطق مبداء و نیز آموزش افراد در کشورهای در حال توسعه برای کاربرد تکنولوژی‌های جایگزین ثبت شده برای مواد پایدار وجود دارد. تحقیق روی جایگزین‌ها برای تیمار مواد پایدار، در درجه اول باید روی موارد زیر متمرکز گردد:

- استراتژی‌های IPM
- روش‌های کنترل فیزیکی که سریع عمل می‌کنند و اثرات منفی کمی روی مواد دارند.
- بررسی و ثبت سریع جایگزین‌های جدیدی که بتوان آنها را بدون تاخیر مطابقت داد.
- ابزارهای مورد نیاز برای کاهش تلفات گاز متیل پروماید.

نمونه‌هایی از جایگزین‌های تجاری استفاده شده برای مواد فاسد نشدنی

منبع - MBTOC, 1997

محصول فاسد نشدنی	روش جایگزین	نمونه‌هایی از کشورها یا مناطقی که روش جایگزین در آن استفاده می شود
لفل سیاه	فسفین	مالزی
غلات انبار شده	فسفین	کشورهای عضو ماده ۲ و کشورهای عضو ماده ۵
غلات انبار شده، بقولات	دی‌اکسید کربن	اندونزی
غلات	اتم‌سفر کنترل شده	چین
غلات صادراتی، آجیل، بقولات	فسفین	تایلند، انگلستان
توتون	فسفین	فیلیپین، اندونزی، زیمبابوه
وسایل چوبی، منسوجات، صنایع دستی، فرآورده‌های مصنوعی	گرما با رطوبت پایدار تیمار گرمایی برای کنترل آفت Khapra	انگلستان، آلمان، اتریش تائید شده توسط مسولان قرنطینه ایالات متحده

جایگزین‌های متیل‌بروماید در بخش ضد عفونی مواد فاسد نشدنی^۳

مواد فاسد نشدنی، کالاهایی مثل میوه‌ها و سبزیجات تازه، گل‌های شاخه‌بریده، گیاهان زینتی، محصولات پیازی و ریشه‌ای تازه هستند که سریعاً دچار فساد و پوسیدگی می‌شوند. صادرات محصولات فاسد نشدنی نیاز به عاری بودن آنها از آفات و بیماری‌های قرنطینه‌ای دارد و ضدعفونی آنها عمدتاً با متیل‌بروماید خالص صورت می‌گیرد. در حدود ۹ درصد مصرف جهانی متیل‌بروماید، برای ضدعفونی این نوع از محصولات منظور می‌گردد. بیشتر موارد تیمار مواد فاسد نشدنی برای نیل به اهداف قرنطینه‌ای و بهداشت گیاهی می‌باشد. عمده تیمارها در مبادی ورود کشور واردکننده برای پیشگیری از ورود آفات انجام می‌شود. در صورتی که کشور واردکننده ضروری بداند، تیمار محموله پیش از صادر شدن در کشور صادرکننده انجام می‌شود، این در صورتی است که یک خطر جدی برای کشاورزی کشور وارد کننده وجود داشته باشد. بطور معمول، متیل‌برومایدی که برای تیمارهای قرنطینه‌ای استفاده می‌گردد، از کنترل پروتکل مونترال معاف می‌باشد.

جایگزین‌های مناسب برای بعضی از موارد مشخص و مصوب شده است که ۹۷ مورد از آنها توسط تعداد زیادی از کشورهای عضو مورد استفاده قرار می‌گیرند. با وجود این، جایگزین‌های معرفی شده برای مواد فاسد نشدنی، باید مختص یک کالا یا یک آفت باشند و کاربرد بعضی از آنها ممکن است مشکل‌تر و گران‌تر از متیل‌بروماید باشد. علاوه بر این، جایگزین‌های خیلی کمی برای تیمار کالاها در نقطه ورود وجود دارد. از آنجائیکه در بخش قرنطینه از متیل‌بروماید استفاده زیادی بعمل می‌آید لازم است تحقیقات بیشتری در خصوص تعیین جایگزین‌های مناسب صورت گیرد.

یکی از محدودیت‌های موجود برای توسعه جایگزین‌ها، لزوم موثر بودن آنها روی تعدادی از آفات و کیفیت کالاها در هر کشور می‌باشد که این موضوع، انتقال تکنولوژی بین کشورها را مشکل می‌سازد. تحقیقات و آزمایشات پرهزینه و طولانی مدتی اغلب برای کسب موافقت رسمی از مسئولان قرنطینه مورد نیاز است.

³ - Perishables

فقط تیمار کالاهای مهم نیست، بلکه بازرسی و صدور گواهی برای نمونه‌های از کالا، قبل از صدور و پس از ورود نیز مورد نیاز می‌باشد. این کار، یک روش پردردسر است اما هزینه آن را می‌توان با استفاده از سیستم‌های بازرسی اتوماتیکی که اکنون در حال توسعه می‌باشد، کاهش داد.

جایگزین‌ها برای کالاهای فاسدشدنی را می‌توان به آنهایی که قبل از برداشت و آنهایی که بعد از برداشت مورد استفاده قرار می‌گیرند، تقسیم نمود.

جایگزین‌های غیر شیمیایی			جایگزین‌های شیمیایی
تیمارهای سرما/گرما	اشعه‌دهی	حذف فیزیکی	ضد عفونی با SO ₂ , PH ₃ , HCN
اتمسفر	میکروویو	روش‌های تلفیقی	محلول سمی برای غوطه‌وری

جایگزین‌های قبل از برداشت

جایگزین‌های قبل از برداشت برای ایجاد امنیت در مقابل آفات در پاسخ به نیازهای قرنطینه‌ای قبل از برداشت می‌باشد که استفاده از تیمارهای بیشتر را غیرضروری می‌سازد. آنها شامل موارد زیر هستند:

- **سیستم‌های Approach** که شامل کاهش جمعیت آفات در هر مرحله از تولید و بسته بندی کالا است و نیاز به مدیریت قابل ملاحظه‌ای دارد.
- **عملیات زراعی** نظیر کاشت محصولات مقاوم به آفات، برداشت آنها در هنگام غیرفعال بودن آفات و اضافه کردن عوامل بیولوژیکی و میکروبی برای کنترل آفات.
- **کشت در نواحی و دوره‌های عاری از آفت** بوسیله بعضی از کشورها به عنوان یک تیمار پذیرفته شده است. صدور گواهی برای نواحی عاری از آفت نیاز به ارائه مجوز از طریق مونیتورینگ، گزارش‌دهی و اجرا دارد. این سیستم در ایالات متحده، ژاپن و نیوزلند اجرا می‌شود.

تیمار پس از برداشت

جایگزین‌های غیر شیمیایی

جایگزین‌های غیر شیمیایی، از نظر زیست محیطی ایمن هستند و عموماً توسط مصرف‌کنندگان قابل قبول می‌باشند. با وجود این، استفاده از آنها به تخصص بالایی برای دستیابی به کنترل رضایت بخش آفات بدون وارد آمدن هیچ صدمه‌ای به کالا نیاز دارد.

- **تیمار سرما**، (بین ۱- تا ۲+ درجه سانتیگراد) معمولاً برای میوه‌های ضد عفونی شده مبتلا به آفات گرمسیری بکار می‌رود. جزئیات آن توسط افراد واردکننده، تعیین می‌شود.
- **تیمار گرما**، (۴۰-۵۰ درجه سانتیگراد) برای کنترل آفات موجود در داخل یا روی محصولات گرمسیری و نیمه گرمسیری استفاده می‌شود. در این روش از هوای گرم خشک یا مرطوب و غوطه

ور نمودن در آب داغ استفاده می شود. برای بیشتر کالاهای فاسدشدنی مناسب نیست و نیاز به انرژی زیادی دارد.

- **اتمسفر کنترل شده^۴ (CA)** ضدعفونی با اتسمفر کنترل شده شامل محصولات انباری و ساختمان‌هایی است که در آنها، فقدان اکسیژن باعث کشته شدن آفات می‌گردد. دی‌اکسیدکربن و نیتروژن برای جایگزینی اکسیژن استفاده می‌شوند. چون این تیمار چندین هفته یا ماه طول می‌کشد، تنها برای آن دسته از مواد فاسدشدنی مناسب است که مثل سیب و گلابی بتوان آنها را در انبار نگهداری کرد. تا کنون در نمونه‌های کمی از محموله‌های تجارتي از این روش برای کنترل آفات قرنطینه‌ای استفاده شده است.
- **ضدعفونی با اتسمفر اصلاح شده^۵** شامل بسته‌بندی مواد فاسدشدنی در پوشش‌های ضد هوا و در نتیجه کشتن هرگونه آفت موجود در آن می‌باشد. کاربرد تجاری این روش در حال توسعه می‌باشد. تنها برای کنترل آفات روی آن دسته از مواد فاسدشدنی نظیر توت فرنگی موثر خواهد بود که بتوان آنها را بمدت چندین روز در انبار نگهداری کرد.
- **اشعه‌دهی** توسط برخی کشورها روی مواد غذایی مثل سبزیجات و میوه‌های تازه، تصویب شده است. با وجود این تمایل بیشتر برای اشعه‌دهی جهت ضدعفونی به پذیرش مصرف‌کننده، صنایع و قانونگذاری بستگی دارد.
- **کنترل آفات با میکروویو** در مراحل اولیه توسعه قرار دارد. ممکن است برای محموله‌های کوچک محصولات کشاورزی در بخش قرنطینه استفاده شود. با وجود این اثر میکروویوها روی کیفیت کالا باید بررسی گردد.
- **حذف فیزیکی** آفات از سطح میوه‌ها می‌تواند بوسیله آب تحت فشار، عبور دادن جریان هوا روی میوه یا مکش آفات با استفاده از سیستم‌های خلا بدست آید. این روش‌ها استفاده‌های تجاری محدودی دارد.
- **تلفیق چند روش کنترل** می‌تواند محدودیت‌های کاربرد انفرادی تیمارها را جبران نماید. کارآیی این تلفیق‌ها، نیاز به اثبات و تصویب شدن دارد.

جایگزین‌های شیمیایی

استفاده از مواد شیمیایی برای عموم مردم، مقبولیت کمتری پیدا کرده است. مساله باقیمانده شیمیایی، مسائل زیست محیطی و بی‌خطر بودن آن بعد از تیمار باید در نظر گرفته شود.

- **فومیگاسیون** خصوصاً برای کنترل آفات داخل کالا مفید می‌باشد. جایگزین‌های متیل‌پروماید شامل سولفوردی‌اکسید، متیل و اتیل فرمات و اسپری‌های آئروسول با استفاده از فرآورده‌های گیاهی طبیعی مثل پایرتروئیدها می‌باشد. بدلائل امنیتی ثبت فومیگانت‌های جدید یک کار پرهزینه و طولانی می‌باشد.

⁴ - Controlled Atmosphere

⁵ - Modified Atmosphere

- **غوطه‌ور نمودن داخل مواد شیمیایی**، این مواد، محلول‌های بسیار رقیق آفت‌کش هستند که کالاهای تجاری بعد از برداشت در آنها غوطه‌ور می‌گردند. برای کنترل آفاتی استفاده می‌شوند که درون کالای فاسدشدنی یا روی آن قرار دارند. استفاده از محلول آفتکش‌ها ممکن است مشکلاتی را برای سلامت بشر و محیط زیست ایجاد نماید.

اولویت‌های آینده

با توجه به اینکه اعمال روش‌های مذکور به تکنولوژی‌های بررسی‌شده و قابل دسترس در کشورهای توسعه یافته، بستگی دارد، لازم است که کشورهای در حال توسعه توجه خاصی به نحوه آزمایش این روشها و بودجه لازم برای تحقیق داشته باشند تا بتوانند جایگزین‌ها را با توجه به نیازهایشان تطبیق دهند و از دستورالعمل‌های بین‌المللی ضدعفونی تبعیت نمایند. کشورهای توسعه یافته باید به موضوع پیدا کردن و کاربرد جایگزین‌های متیل‌بروماید و توسعه تکنولوژی‌هایی (تیمار گرما و سرما، اتسمفر کنترل شده و اصلاح شده) که برای بسیاری از کالاها همانند تیمار قبل از برداشت ضروری می‌باشد، توجه نمایند.

نمونه‌هایی از تکنیک‌های جایگزین قرنطینه‌ای تأیید شده

منبع - MBTOC, 1997

نمونه‌هایی از کاربردهای قرنطینه‌ای توسعه یافته	روش یا تیمار
صادرات انگور و کیوی از شیلی به ژاپن	تیمار سرمایی
صادرات انبه از تاپوان به ژاپن	تیمار گرمایی
صادرات خربزه از چین به ژاپن	مناطق تائید شده یا دوره‌های عاری از آفت
صادرات موز نارس به ژاپن	سیستم‌های (IPM) Approach
صادرات گل‌های شاخه بریده خاصی از هلند به ژاپن	بازرسی و صدور گواهی
صادرات سیب از کانادا به کالیفرنیا	اتسمفر کنترل شده
صادرات گل‌های شاخه بریده از نیوزلند به ژاپن	آفتکشها، فومیگانتها، آتروسولها
صادرات آلو	اشعه‌دهی
آب صابون و پوشش واکس برای cherimoya از شیلی به ایالات متحده آمریکا	تیمارهای تلفیقی

ساختمان‌ها و وسایل حمل و نقل

فومیگاسیون بهترین روش برای حذف آفات از ساختمان‌ها و وسایل حمل و نقل می‌باشد زیرا با مواد غذایی موجود در آنها سازگار است و براحتی می‌تواند در نواحی دور و نزدیک استفاده شود. متیل‌بروماید به عنوان یک فومیگانت ساختمانی در ۳ موقعیت می‌تواند استفاده شود:
- تولید و ذخیره مواد (آسیاب‌ها، فرآوری مواد غذایی).

- ساختمان‌های غیرمرتبط با مواد غذایی (منازل، موزه‌ها) و وسایل حمل و نقل (کامیون‌ها، قطارها، کشتی‌ها و هواپیماها).

- فومیگاسیون آفاتی مثل کنه‌ها، سوسک‌ها، سوسک‌های حمام، ماهی‌نقره‌ای، موربان‌ها و جوندگان.

یک جنبه مهم جایگزینی متیل‌بروماید، مدیریت آفات با تکنیک‌هایی است که در آنها تیمار متیل‌بروماید لازم نباشد. این موضوع خصوصاً برای ساختمان‌ها و وسایل حمل و نقل اهمیت دارد.

جایگزین‌های مناسب برای کنترل آفات غیر مخرب چوب

فومیگانته‌ها

- **فسفین** و اثرات آن روی آفات بخوبی شناخته شده است. اما استفاده ساختمانی آن محدود شده است زیرا می‌تواند فلزاتی مثل مس و طلا را دچار خوردگی نماید، به تجهیزات الکتریکی آسیب وارد کند و نیز اشتعال‌زا می‌باشد.
- **سولفوریل فلوراید** جایگزینی است که نمی‌توان از آن در ساختمان‌ها و وسایل حمل و نقل مربوط به مواد غذایی استفاده نمود زیرا میزان سمیت آن هنوز مشخص نشده است.
- **سیانید هیدروژن** علیه جوندگان موثر است، اما به خاطر سمیت آن، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. قوانین سختی بر حمل و نقل آن حاکم است.

اتم‌سفر کنترل شده

اتم‌سفرهایی که از نظر اکسیژن فقیر (کمتر از ۱ درصد) و از نظر دی‌اکسیدکربن غنی می‌باشند (بیش از ۶۰ درصد) برای حشرات سمی هستند. این تکنیک هیچ باقیمانده‌ای روی مواد غذایی بجا نمی‌گذارد لذا از آن می‌توان برای ضد عفونی آردها و محصولات گیاهی خوراکی که حداقل به مدت ۱۰ روز بتوان آنها را زیرپوشش قرار داد، استفاده نمود. تجهیزات دیگری برای بهبود گردش اتم‌سفر زیر پوشش ممکن است مورد نیاز باشد.

ترکیب روش‌ها

با ترکیب روش‌ها می‌توان میزان فومیگانته مورد استفاده و در نتیجه هزینه ضد عفونی را کاهش داد. این ترکیبات احتمالی شامل ترکیب فومیگانته و دی‌اکسیدکربن، فومیگانته و گرما، فومیگانته و دی‌اکسیدکربن و گرما، و فومیگانته با فومیگانته می‌باشد. ترکیبی از فسفین و دی‌اکسیدکربن و گرما در مقیاس‌های آزمایشی تاثیر خوبی را نشان داده است. ترکیب روش‌ها خطر کمتری برای انسان و محیط زیست نسبت به کاربرد فومیگانته‌ها به تنهایی دارد.

آفت‌کش‌های غیرتدخینی

- **بخش ذرات حشره‌کش در هوا** موجب مرگ حشرات می‌گردد. از این روش می‌توان به عنوان بخشی از یک تیمار در سطوح وسیع‌تر استفاده نمود، زیرا فقط حشراتی از بین می‌روند که در تماس با ذرات سم قرار می‌گیرند.

- **کاربرد سطحی آفتکش‌های ابقایی مایع** _ کاربرد آفتکش‌هایی مثل ارگانوفسفات‌ها، کربامات‌ها و پیرتروئیدها مستقیماً روی سطحی که در آنها حشرات تولید مثل می‌کنند. این تکنیک آسان ولی وقت‌گیر بوده و روی محصولات غذایی اثرات سوء کمی دارد.
- **گردهای ابقایی** در نواحی خشک و دور از جریان هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد در طولانی مدت تاثیر گذار می‌باشند.

تیمارهای غیرشیمیایی

- **بهداشت** (تمیز کردن ساختمان‌ها و اشیاء) برای کنترل آفات ضروری است و مکمل همه تیمارهای ضد عفونی می‌باشد.
- **ساخت مناسب بنا و نگهداری آن** مهمترین مورد می‌باشد. ساختمان‌های مناسب می‌توانند استقرار آفات را تا حد زیادی کاهش دهند. علاوه بر این، مناسب بودن ساختمان و رعایت بهداشت در نگهداری آن، کارایی تیمارهای جایگزین را افزایش می‌دهد.
- **گردهای خنثی**، مثل سیلیکاژل روی حشرات خرنده بسیار موثر است. آنها را می‌توان روی شکاف دیوارها و در محیط نسبتاً خشک بکار برد.
- **گرمادهی بالای ۵۲ درجه سانتیگراد** برای کشتن آفات مواد غذایی به طور وسیع استفاده می‌شود. این روش هیچ باقیمانده‌ای بجا نمی‌گذارد. در بعضی موارد باید همراه با گرمادهی از مخلوط دی‌اکسید کربن و فسفین استفاده شود. یکی از محدودیت‌های این روش این است که بعضی از ساختمان‌ها نمی‌توانند دماهای بالا را تحمل کنند و لازم است تجهیزات حساس داخل ساختمان برداشته شده و جداگانه تیمار شوند.
- **استفاده از تله‌هایی** مانند صفحات چسبنده اثرات محدودی دارند و مستلزم داشتن اطلاع دقیق در مورد سیکل زندگی آفات هدف می‌باشد. این تله‌ها باید در جاهای مناسب قرار داده شده و بطور منظم کنترل شوند.

جایگزین‌های مناسب برای کنترل حشرات مخرب چوب

فومیگانت‌ها

- **سولفوریل فلوراید** به خوبی شناخته شده است و در چند کشور استفاده می‌شود. حشرات را در تمام مراحل چرخه زندگی از بین می‌برد، اما گران بوده ولیکن ممکن است در ضد عفونی موزه‌ها و کتابخانه‌ها، به متیل بروماید ترجیح داده شود.
- **فسفین**، استفاده از فسفین در این بخش محدود شده است زیرا نیاز به زمان فومیگاسیون طولانی داشته و ممکن است در وسایل الکتریکی، خوردگی ایجاد نماید.

ترکیب روش‌ها

تلفیق روش‌های مختلف، میزان فومیگانت مورد استفاده، زمان در معرض قرارگیری و تهویه را کاهش می‌دهد. تلفیق فومیگانت و دی‌اکسید کربن، فومیگانت و گرما، فومیگانت و دی‌اکسید کربن و گرما، و فومیگانت و فومیگانت از موارد رایج تلفیق روش‌ها محسوب می‌گردد.

حشره‌کش‌های غیرتدخینی

- **کاربرد سطحی و یا تزریق آفت‌کش‌های ابقایی مایع**، بمنظور کنترل‌های موضعی حشرات در نواحی قابل دسترس صورت می‌گیرد.
- **گردها** برای تیمارهای موضعی استفاده می‌شوند و برای مدت‌های طولانی موثر می‌باشند ولیکن کاربرد آنها وقت‌گیر است.
- **استفاده از مواد محافظت‌کننده چوب**، از این مواد روی چوب‌های ساختمانی استفاده می‌شود. کارایی این مواد متفاوت بوده و بعضی از آنها برای انسان و محیط زیست سمی و خطرناک می‌باشند.

روش‌های غیرشیمیایی

- **احداث ساختمانهای مناسب و حذف قسمت‌های آلوده**، طراحی مناسب ساختمان برای کاهش تکثیر آفات، ضروری می‌باشد. چوب‌های موجود در ساختمان‌های شدیداً آلوده باید با چوب‌های تیمار شده جایگزین گردند.
- **گرمادهی** (بیش از ۴۶ درجه سانتیگراد) موربانه‌های چوبخوار را می‌کشد. مطالعاتی برای افزایش دانش مرتبط با اثرات گرما روی ساختمان‌ها انجام شده است.
- **سرمادهی** (با نیتروژن مایع) می‌تواند در نواحی ایزوله شده اما قابل دسترس استفاده شود. این وجود، این تکنیک می‌تواند باعث لکه‌دار شدن و صدمه به چوب گردد.
- **برق‌دهی** (کشتن توسط جریان برق) یک تیمار لکه‌ای (علیه موربانه) است که لازم است اثرات آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.
- **گرمادهی با استفاده از امواج میکرو** می‌تواند حشرات را بکشد اما ممکن است به چوب صدمه بزند و برای تیمارهای موضعی مناسب است.

جایگزین‌های مناسب برای ضدعفونی کشتی‌ها، هواپیماها و وسایل حمل و نقل دیگر

متیل‌بروماید تنها تیماری است که برای ضد عفونی کشتی‌ها در بخش قرنطینه استفاده می‌شود. سیانید هیدروژن (HCN)، فسفین، جونده‌کش‌ها و تله‌ها می‌توانند جایگزین آن گردند. HCN و فسفین سریعاً روی جوندگان تاثیر می‌گذارند، اما مورد آخر در کنترل حشرات کند عمل نموده و گران می‌باشند که این امر می‌تواند استفاده از آن را در کشورهای در حال توسعه محدود نماید. مواد ابقایی و اسپری‌ها می‌توانند جایگزین خوبی باشند اما لازم است که آنها مثل متیل‌بروماید سریع عمل

کنند و تاثیر خوبی داشته باشند. استفاده از فسفین و جایگزین‌هایی مانند اتمسفر کنترل شده بر پایه نیتروژن، برای ضدعفونی وسایل نقلیه دیگر در حال توسعه می باشد.

اولویت‌های آینده در این بخش

فعالیت‌های آینده باید روی انتقال تکنولوژی و آموزش تطبیق جایگزین‌ها برای ساختمان‌ها و وسایل حمل و نقل متمرکز گردند. در مورد ارزیابی ترکیبات و کنترل مواد باقی مانده و مواد ناشتی، احیا و بازیافت آن باید تحقیق بیشتری انجام شود. جایگزین‌هایی مثل کنترل بیولوژیکی و اتمسفرهای اصلاح شده باید بیشتر توسعه پیدا کنند.