



دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی
مازندران



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
مرکز مدیریت بیماریهای واگیر

پیشگیری و مدیریت مقاومت ناقلین و آفات مهم بهداشتی به حشره کش ها

کمیته عملیاتی مقاومت به حشره کش ها

مترجمین:

دکتر مرتضی زعیم

دکتر احمد علی عنایتی

دکتر احمد رئیسی

پیشگیری و مدیریت مقاومت
ناقلین و آفات مهم بهداشتی
به حشره کش ها

مترجمین:

دکتر مرتضی زعیم
دکتر احمد علی عنایتی
دکتر احمد رئیسی

عنوان و نام پدیدآور	: پیشگیری و مدیریت مقاومت ناقلین و آفات مهم بهداشتی به حشره کش ها/ [کمیته عملیاتی مقاومت به حشره کش ها]؛ مترجمین مرتضی زعیم، احمدعلی عنایتی، احمد رئیسی؛ [برای] مرکز مدیریت بیماریهای واگیر وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران.
مشخصات نشر	: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۷۴ ص: ۱۴/۵×۲۱/۵ س.م.
شابک	: 978-622-021017-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Prevention and management of insecticide resistance in vectors and pests of public health importance
موضوع	: حشره های ناقل بیماری - مبارزه Insects as carriers of disease - Control
موضوع	: حشره کش ها-Insecticides
موضوع	: حشره های مضر - مبارزه Insect pests - Control
شناسه افزوده	: زعیم، مرتضی، ۱۳۲۹-، مترجم
شناسه افزوده	: عنایتی، احمدعلی، ۱۳۴۶ -، مترجم
شناسه افزوده	: رئیسی، احمد، ۱۳۳۸- مترجم
شناسه افزوده	: کمیته عملیاتی مقاومت به حشره کش ها
شناسه افزوده	: Insecticide Resistance Action Committee
شناسه افزوده	: ایران، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز مدیریت بیماریهای واگیر
شناسه افزوده	: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان مازندران
شناسه افزوده	: Mazandaran University of Medical Sciences
رده بندی کنگره	: ۵/۶۳۹RA
رده بندی دیویی	: ۴۳۲/۶۱۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۸۱۵۷۸

پیشگیری و مدیریت مقاومت ناقلین و آفات مهم بهداشتی به حشره کش ها

مترجمین: دکتر مرتضی زعیم - دکتر احمدعلی عنایتی - دکتر احمد رئیسی

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۹

مشخصات ظاهری: ۷۴ ص

قطع: رقعی

شمارگان: ۱۰۰۰

شابک: ۷-۱۰۱۷-۰۲-۶۲۲-۹۷۸

نشر: نوروزی، با همکاری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی

مازندران

قیمت: رایگان

فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمین	۷
۱- مقدمه و اهداف	۹
۱-۱- بیماری‌های ناقل زاد - یک مشکل عمده بهداشتی.....	۹
۲-۱- کنترل ناقل - یک مؤلفه اصلی در مدیریت بیماری‌های ناقل زاد.....	۹
۳-۱- نیاز به کنترل شیمیایی.....	۱۰
۴-۱- خطر مقاومت به حشره‌کش‌ها.....	۱۱
۵-۱- تعداد محدود حشره‌کش‌های مؤثر	۱۲
۶-۱- نیاز به نگرانی در مورد بروز مقاومت	۱۳
۷-۱- مخاطبان و اهداف این کتاب راهنما.....	۱۴
۲- مقاومت چیست و چگونه بروز می‌نماید؟	۱۵
۱-۲- تعریف عملی مقاومت	۱۵
۲-۲- مکانیسم‌های مقاومت	۱۶
۳-۲- مقاومت متقاطع	۲۰
۴-۲- مقاومت چندگانه.....	۲۰
۵-۲- پایه ژنتیک مقاومت.....	۲۱
۶-۲- عوامل اصلی تأثیرگذار بر بروز مقاومت.....	۲۳
۳- رویکردهای مختلف مدیریت مقاومت	۲۶
۱-۳- رویکردهای مدیریت مقاومت	۲۶
۲-۳- مدیریت مقاومت و نحوه اثر	۲۸
۳-۳- سیستم طبقه‌بندی نحوه اثر - کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش.....	۲۹
۴-۳- خلاصه مطالب	۳۱
۴- مبانی مدیریت مقاومت	۳۳
۱-۴- دروس آموخته شده از کشاورزی.....	۳۳
۲-۴- تاکتیک‌های مدیریت مقاومت.....	۳۴

۳-۴- اجرا.....	۳۶
۴-۴- پایش عملکرد حشره کش.....	۳۷
۴-۵- در صورت یافتن مقاومت چه باید کرد.....	۳۷
۴-۶- مدیریت موفقیت آمیز مقاومت در بخش کشاورزی.....	۳۹
۴-۷- خلاصه مطالب.....	۴۱
۵- اقتصاد مدیریت مقاومت.....	۴۲
۵-۱- اقتصاد کوتاه مدت.....	۴۲
۵-۲- اقتصاد اتخاذ استراتژی مدیریت مقاومت.....	۴۳
۵-۳- اقتصاد عدم موفقیت در مدیریت مقاومت.....	۴۴
۵-۴- عواقب طولانی مدت عدم پرداختن به مقاومت.....	۴۶
۵-۵- خلاصه مطالب.....	۴۷
۶- پایش و تشخیص مقاومت برای کنترل پشه.....	۴۸
۶-۱- اهداف پایش.....	۴۸
۶-۲- روش های پایش.....	۴۹
تفسیر نتایج.....	۵۳
۶-۳- انتخاب سایت های پایش مقاومت.....	۵۷
۷- مدیریت بلندمدت یک برنامه کنترل ناقل.....	۵۸
۷-۱- تدوین یک برنامه بلندمدت بسیار مهم است.....	۵۸
۷-۲- کنترل کیفیت سمپاشی ها.....	۵۸
۷-۳- وقتی مشکوک به مقاومت هستید چه باید کرد.....	۶۰
۷-۴- در صورت تأیید مقاومت چه باید کرد.....	۶۰
۸- داستان های موفق در مدیریت مقاومت.....	۶۳
۸-۱- برنامه کنترل آنکوسرکیازیس در غرب آفریقا.....	۶۳
۸-۲- کارآزمایی آنوفل آلبیمانوس در مکزیک.....	۶۴
۸-۳- خلاصه مطالب.....	۶۷
۹- نیازهای آینده و راه پیش رو.....	۶۸

- ۹-۱- محافظت از ابزارهای فعلی..... ۶۸
- ۹-۲- نیاز به درک خوب از مقاومت..... ۶۹
- ۹-۳- یادآوری اصول اساسی مدیریت مقاومت..... ۶۹
- ۹-۴- محدودیت‌ها در اجرای مدیریت مقاومت در برنامه‌های بهداشت..... ۷۰

پیشگفتار مترجمین

کنترل ناقلین، نقش بسیار مهمی در پیشگیری و کنترل بیماری‌های ناقل زاد ایفا می‌کند و استفاده از حشره‌کش‌ها رکن مهمی از مدیریت تلفیقی ناقلین را تشکیل می‌دهد. مقاومت ناقلین به حشره‌کش‌ها و کمبود چشمگیر ترکیبات حشره‌کش مناسب برای کنترل آن‌ها، تهدیدی جدی می‌باشد که توجه خاص و فوری مقامات بهداشتی، محققین و صنعت آفت‌کش را می‌طلبد. مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها باید جزء لاینفک برنامه‌های مبارزه با ناقلین بوده و ساختار، منابع انسانی و سایر منابع مورد لزوم، با اولویت زیاد، به آن اختصاص داده شود.

پیشرفت چشمگیر جمهوری اسلامی ایران در جهت کاهش بار مالاریا، با تهدید جدی مقاومت به حشره‌کش‌ها روبرو است. ایران همچنین با خطر روزافزون ورود و استقرار ناقلین بیماری‌های دانگ، چیکونگونیا و زیکا مواجه است که مقاومت گسترده آن‌ها به حشره‌کش‌ها خود یک چالش جهانی است. تدوین طرح ملی برای پیشگیری و مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها از اولویت بسزایی برخوردار است.

این راهنما علاوه بر ارائه اطلاعات فنی در مورد مقاومت به حشره‌کش‌ها در ناقلین بیماری‌ها، از منظر برنامه‌ای و مدیریتی نیز بلکه بیشتر به موضوع مقاومت به حشره‌کش‌ها می‌پردازد که این خود موجب تقویت دانش و نگرش مدیران حوزه کنترل بیماری‌ها نسبت به موضوع مقاومت به حشره‌کش‌ها می‌شود. با درک صحیح اساس و اهمیت مقاومت به حشره‌کش‌ها، ضرورت برنامه‌ریزی در خصوص پایش مداوم و مدیریت آن نیز بیش‌ازپیش مشخص خواهد شد.

امید است که ترجمه و نشر این کتاب گامی در جهت تقویت برنامه‌های ملی مبارزه با ناقلین و اختصاصاً جهت ارتقاء آگاهی و عمل‌کرد مدیران و

کارشناسان این حوزه و همچنین اساتید و دانشجویان و دانش‌آموختگان رشته بیولوژی و کنترل ناقلین بیماری‌ها و حشره‌شناسی پزشکی و مبارزه با ناقلین باشد.

نسخه اصلی این کتاب با حمایت مالی بنیاد بیل و ملیندا گیتس و توسط کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش‌ها به رشته تحریر در آمده است. این کمیته فنی تخصصی تحت پوشش CropLife International فعالیت می‌کند و توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت به‌عنوان یک نهاد مشاور در مورد مسائل مربوط به مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها شناخته شده است.

دکتر مرتضی زعیم

دکتر احمدعلی عنایتی

دکتر احمد رئیسی

بهار ۱۳۹۹

۱- مقدمه و اهداف

۱-۱- بیماری‌های ناقل زاد - یک مشکل عمده بهداشتی

بار اقتصادی - اجتماعی مرتبط با بیماری‌های گرمسیری مانند مالاریا، دانگ، فیلاریازیس و تریپانوزومیازیس یک مانع جدی برای توسعه در بسیاری از کشورهای گرمسیری است و بیشتر این بیماری‌ها عامل اصلی فقر می‌باشند. تخمین زده می‌شود که مالاریا به تنهایی تولید ناخالص ملی قاره آفریقا را در طی ۱۵ سال گذشته بیش از ۲۰٪ کاهش داده است. بیماری‌های ناقل زاد بخش بسیار مهمی از ناخوشی ناشی از بیماری‌های عفونی را تشکیل می‌دهند و نه تنها در مناطق گرمسیری، بلکه در بسیاری از کشورهای معتدل نیز وجود دارند. به‌عنوان مثال، پیشروی اخیر ویروس نیل غربی در آمریکای شمالی، بیماری لایم در اروپا، چیکونگونیا در اقیانوس هند و پراکندگی جهانی آندس آل‌بویکتوس ("پشه ببری") تحولات جدی و تا حد زیادی کنترل نشده است.

۱-۲- کنترل ناقل - یک مؤلفه اصلی در مدیریت بیماری‌های

ناقل زاد

هیچ دارو و یا واکسن مؤثری برای بیماری‌های مهمی مانند دانگ و بیماری شاگاس وجود ندارد. تنها راه کنترل این بیماری‌ها جلوگیری از انتقال آنها توسط حشرات ناقل است. کنترل ناقل، محافظت شخصی و مشارکت جامعه از ستون‌های استراتژی سازمان جهانی بهداشت برای کنترل بیماری منتقله از حشرات است. متأسفانه، پیشگیری دارویی همگانی از مالاریا به دلایل فنی و اقتصادی به‌ویژه در آفریقا قابل اجرا نیست. درمان مؤثر موارد مالاریا به دلیل

مقاومت در برابر دارو به طور فزاینده‌ای پیچیده و گران است. در مناطقی که دارای انتقال بالا هستند (که شامل بیشتر قسمت‌های آفریقا است)، اگر به موازات تشخیص و درمان زود هنگام، کنترل بسیار مؤثر ناقل و/یا محافظت شخصی انجام نشود، نمی‌توان بروز بیماری را کاهش داد. کنترل ناقل برای بیماری‌هایی که با استفاده از تجویز همگانی داروی پیشگیری کنترل می‌شوند نیز ممکن است مهم باشد. اگر تجویز همگانی داروی پیشگیری با مداخلات کنترل ناقل تکمیل نشود بعید به نظر می‌رسد که در بعضی نقاط، استراتژی فعلی اتحاد جهانی حذف فیلیاریس لنفاوی^۱ کاملاً موفق شود. مثال‌های بسیار دیگری که بر لزوم کنترل ناقل تأکید می‌کند می‌تواند برای بیشتر مناطق گرمسیری و همچنین کشورهای توسعه یافته ارائه شود.

۱-۳- نیاز به کنترل شیمیایی

حشره‌کش‌ها هنوز مهمترین عنصر رویکرد تلفیقی به کنترل ناقلین هستند. محدودیت اخیر در استفاده از ددت توسط کنوانسیون آلاینده‌های آلی پایدار^۲ به میزان چشمگیری اتکا مبارزه با بیماری‌های مالاریا و لیشمانیوز به حشره‌کش‌های ابقایی نظیر ددت را نشان داده است. به‌منظور کاهش این اتکا، سازمان جهانی بهداشت مدیریت تلفیقی ناقلین و آفات، شامل استفاده از روش‌های جایگزین مانند مبارزه بیولوژیک و مدیریت محیط، هر زمان و مکان که مؤثر و قابل اجرا باشند را ترویج می‌نماید. سازمان جهانی بهداشت همچنین استفاده ایمن و هدفمند از حشره‌کش‌ها را هنگامی که روش جایگزینی وجود ندارد پیشنهاد می‌کند. نمونه مثال، برنامه بسیار موفق مبارزه با بیماری شاگاس در قاره آمریکا، به طور کامل مبتنی بر سم‌پاشی

^۱ Lymphatic Filariasis

^۲ Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs)

داخلی اماکن با حشره‌کش‌های پیرتروئید بوده است. و یا آنکوسرکیاسیس (کوری رودخانه‌ای)^۳ به مدت سی سال در هشت کشور غرب آفریقا با برنامه‌های هفتگی سمپاشی لاروکش‌های کم خطر کنترل شده است. فن‌آوری‌های جدید مانند پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش، و سایر مواد آغشته به حشره‌کش، اکنون برای جلوگیری از بیماری‌هایی که در شب توسط پشه‌ها و پشه‌خاکی‌ها منتقل می‌شوند بسیار توصیه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه استفاده از حشره‌کش‌ها بر روی پشه‌بند، به جای روی دیوار، به طرز چشمگیری مقدار کل حشره‌کش مورد استفاده را برای پیشگیری از مالاریا کاهش می‌دهد، پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش تنها به دسته حشره‌کش‌های پیرتروئید مصنوعی وابسته هستند. بیشتر حشره‌کش‌های متعلق به سایر گروه‌های شیمیایی دارای تمامی خصوصیات لازم از نظر کارآیی و ایمنی برای استفاده بر روی پشه‌بند را ندارند. تلاش‌های گسترده‌ای که در حال حاضر برای کنترل مالاریا، به‌ویژه در آفریقا انجام می‌پذیرد، ممکن است با گسترش مقاومت در برابر پیرتروئیدها به خطر بیفتد.

۱-۴- خطر مقاومت به حشره‌کش‌ها

اگرچه مقادیر حشره‌کش مورد استفاده در بخش بهداشت جزء بسیار کمی از کل حشره‌کش‌های مصرفی را تشکیل می‌دهند، بسیاری از ناقلین مهم بهداشتی در برابر یک یا چند حشره‌کش مقاومت نشان داده‌اند. ظهور مقاومت روندی پیچیده و پویا است و به عوامل زیادی بستگی دارد. در بیشتر موارد، هنگامی که فراوانی حشرات مقاوم در یک جمعیت ناقل افزایش

³ Onchocerciasis (river blindness)

می‌یابد، اثربخشی حشره‌کش تا جایی کاهش می‌یابد که باید آن را جایگزین نمود. گزینه افزایش دوز در تلاش برای حفظ اثربخشی، به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی و ایمنی، افزایش هزینه‌های حشره‌کش و افزایش فراوانی ژن‌های مقاومت توصیه نمی‌شود. جایگزینی یک حشره‌کش با یک مورد جدید، دارای هزینه‌های مهم، پیامدهای تدارکاتی و جامعه‌شناختی است که بعداً در این کتاب مورد بحث قرار خواهد گرفت. علاوه بر این، کاهش قابل توجه بیماری و مرگ‌ومیر تنها در صورتی حاصل می‌شود که اثر مداخلات کنترل ناقل به طور مداوم در سطح بسیار بالا حفظ شود. تقریباً همه حشره‌کش‌های بهداشتی در کشاورزی نیز استفاده می‌شوند. هنگامی که ناقلین در داخل یا نزدیک به محصولات کشاورزی پرورش می‌یابند، می‌توانند در معرض همان حشره‌کش و یا ترکیبات مشابه قرار بگیرند و مقاوم شوند. این پدیده برای ناقلین مالاریا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر این، بسیاری از حشره‌کش‌ها نیز برای کنترل آفات خانگی به صورت شدید مورد استفاده قرار می‌گیرند و گونه‌های ناقل که در خانه در حال استراحت هستند را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این ناقلین به اصطلاح داخل دوست، به دلیل تماس نزدیکشان با انسان‌ها از خطرناکترین هستند. معمول است که یک جمعیت ناقل پشه در مرحله لاروی از طریق سمپاشی کشاورزی و دوباره در مرحله بالغ از طریق کنترل آفات خانگی، و همچنین برنامه‌های کنترل ناقلین، در معرض یک حشره‌کش مشخص (به‌عنوان مثال پیرتروئید) قرار بگیرد.

۱-۵- تعداد محدود حشره‌کش‌های مؤثر

اگرچه یک لیست نسبتاً طولانی از محصولات حشره‌کش بهداشتی وجود دارد که می‌تواند برای کنترل ناقلین بالغ مورد استفاده قرار گیرد، اما این

محصولات همگی اعضای تعداد معدودی از گروه‌های شیمیایی و با مکانیزم‌های اثر خاص هستند. این لیست با توجه به شباهت‌ها در مکانیزم‌های اثر در بعضی از این گروه‌های شیمیایی و پدیده مقاومت متقاطع، کوتاه می‌شود. مقاومت متقاطع روشن می‌کند که چرا، در برخی شرایط، جمعیت ناقل می‌تواند خیلی سریع در برابر حشره‌کش‌های تازه بکار گرفته شده مقاوم شود. علاوه بر این، در برخی شرایط، مقاومت پس از قطع استفاده منظم از یک حشره‌کش می‌تواند برای مدت زمان طولانی در جمعیت ناقل باقی بماند. در این موارد، مقاومت در برابر حشره‌کش‌های جدید به دلیل استفاده قبلی از سایر حشره‌کش‌ها از گذشته به ارث می‌رسد. چنین شرایطی: الف) درک اینکه حشره‌کش‌ها بر روی کدام اهداف عمل می‌کنند و ب) شناسایی دقیق مکانیسم‌های مقاومتی که در یک جمعیت ناقل ظاهر می‌شود، اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

۱-۶- نیاز به نگرانی در مورد بروز مقاومت

اگرچه هیچ راه‌حل کوتاه‌مدت معجزه‌آسایی برای مشکلات مقاومت ناقلین به حشره‌کش‌ها وجود ندارد، اما برای مدیران برنامه مهم است که موضوعات مقاومت را بهتر بشناسند و شیوه‌های خوب کنترل شیمیایی ناقل را ترویج نمایند. حشره‌کش‌های بهداشتی باید به گونه‌ای استفاده شوند که ایمن، مؤثر و مقرون به صرفه باشند، ضمن آنکه مسئله مقاومت به حشره‌کش باید مدنظر باشد. این یکی از شرایطی است که برنامه‌های کنترل ناقلین باید آن را برآورده کنند تا برنامه مؤثر و پایدار باشد. رابطه بین مقاومت ناقلین و استفاده از حشره‌کش‌های کشاورزی قبلاً اشاره شده است. کاملاً واضح است که همکاری نزدیک‌تری بین متخصصین مقاومت به حشره‌کش‌ها در بخش کشاورزی و بهداشت ضروری است. به همین ترتیب، سازمان‌های بهداشتی

می‌توانند به طور قطع از تجربیات گسترده حاصل شده توسط بخش کشاورزی در ترویج اصول مدیریت تلفیقی آفات و همچنین تهیه و انتشار دستورالعمل‌های ساده و عملی برای مدیریت مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها بهره‌مند شوند.

۱-۷- مخاطبان و اهداف این کتاب راهنما

مخاطبان این راهنما در درجه اول کارشناسان بهداشت، مدیران و سیاست‌گذاران برنامه‌های مبارزه با پشه‌ها و دیگر ناقلین بیماری‌ها هستند. اطلاع‌رسانی صحیح به این مخاطبین، در مورد موضوعات مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها، باعث تقویت درک آن‌ها از ضرورت جلوگیری از بروز مقاومت خواهد شد، و آگاهی آنان را از لزوم اتخاذ و اجرای رویکردهای مبارزه تلفیقی با ناقلین افزایش می‌دهد. در عین حال، سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان جهانی بهداشت و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و همچنین مؤسسات دانشگاهی، با همکاری سازمان‌های کشاورزی دولتی و تجاری و تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان حشره‌کش‌ها باید منابع را برای توسعه بیشتر و ترویج اصول مدیریت تلفیقی ناقلین، که شامل مدیریت مقاومت است، بسیج کنند. تمرکز اصلی این تلاش‌ها باید در انتشار و تبادل اطلاعات، تدوین مواد آموزشی، آموزش و ظرفیت‌سازی باشد.

اهداف این کتاب راهنما عبارتند از:

- ارائه اطلاعات پایه در مورد مکانیسم‌های مقاومت؛
- درک بهتر از عواملی که ممکن است منجر به ظهور مقاومت در ناقلین شود؛ و
- ارائه اصول اولیه برای جلوگیری از بروز مقاومت.

۲- مقاومت چیست و چگونه بروز می‌نماید؟

۲-۱- تعریف عملی مقاومت

تعاریف زیادی در مورد مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها وجود دارد - با این حال تعریفی که توسط کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش‌ها^۴ ترویج می‌شود احتمالاً مرتبط‌ترین آن‌ها به مدیریت تلفیقی ناقلین است. این کمیته مقاومت را به عنوان انتخاب ویژگی وراثتی در جمعیت حشره‌کش‌ها تعریف می‌کند که منجر به شکست مکرر یک حشره‌کش، برای احراز سطح کنترل موردنظر، علی‌رغم استفاده از آن مطابق توصیه برچسب می‌شود. بر اساس این تعریف، تغییر در سطح حساسیت ناقل در مطالعات آزمایشگاهی لزوماً مقاومت تلقی نمی‌شود مگر آنکه این اختلاف منجر به تغییر در عملکرد میدانی حشره‌کش شود.

علاوه بر استفاده از چنین تعریف عملی، لازم است هنگام در نظر گرفتن مقاومت و مدیریت آن نیز بدانیم که مقاومت مفهومی است که برای جمعیت‌هایی اعمال می‌شود که تا حدودی از بقیه گونه ناقل موردنظر جدا باشند. به علاوه، مقاومت یک واژه نسبی است که نسبت به جامعه نرمال حساس تعریف می‌شود. مقاومت به این معنی نیست که کنترل جمعیت مقاوم و یا جلوگیری از انتقال بیماری غیرممکن است، و یا کنترل کل گونه غیرممکن بشود. بنابراین یک گزارش واحد از مقاومت در برابر حشره‌کش به این معنی نیست که این ترکیب دیگر در همان منطقه و یا در مناطق دیگر دنیا مفید نیست. این نکته آخر مشابه وضعیت غرب آفریقا است که در آن، با وجود فرکانس بسیار بالای یک نوع خاص از مقاومت در برابر پیرتروئیدها در بین پشه‌ها، هنوز هم می‌توان با استفاده از پشه‌بندهای آغشته به

⁴ Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)

پیرتروئیدها از انتقال مالاریا جلوگیری کرد.

۲-۲- مکانیسم‌های مقاومت

مکانیسم‌های مختلفی که حشرات را قادر می‌سازد در برابر عمل حشره‌کش‌ها مقاومت کنند، را می‌توان به چهار دسته مجزا تقسیم نمود:

۲-۲-۱- مقاومت متابولیک

مقاومت متابولیک رایج‌ترین مکانیسم مقاومت در حشرات است. این مکانیسم مبتنی بر سیستم‌های آنزیمی است که همه حشرات برای کمک به سم‌زدایی مواد خارجی طبیعی از آن‌ها استفاده می‌کنند. سه دسته از آنزیم‌ها به طور معمول این عملکرد را انجام می‌دهند: استرازها، مونواکسیژنازها و گلوتاتیون-اس-ترانسفرازها^۵. این سیستم‌های آنزیمی اغلب در سویه‌های حشرات مقاوم تقویت می‌شوند و آن‌ها را قادر می‌سازند تا قبل از اینکه حشره‌کش بتواند اثر سمی خود را ایجاد کند آن‌ها را شکسته یا تجزیه کنند. یکی از متداول‌ترین مکانیسم‌های مقاومت متابولیک، افزایش سطح یا فعالیت آنزیم‌هایی استراز است که موجب هیدرولیز کردن پیوندهای استر یا مهار حشره‌کش‌ها می‌شوند. تقریباً کلیه سویه‌های کولکس کوینکو فاسیاتوس^۶ مقاوم در برابر طیف گسترده‌ای از حشره‌کش‌های ارگانوفسفات دارای چندین نسخه از یک ژن برای استرازها هستند، که آن‌ها را قادر می‌سازد تا بیش از حد از این نوع آنزیم تولید کنند. در مقابل، گونه‌هایی از آنوفل‌های مقاوم در برابر مالاتیون، با سطوح غیر افزایش یافته از یک فرم متفاوت استراز یافت شده‌اند که بطور مشخص باعث تجزیه مالاتیون با سرعت بسیار سریع‌تر از نمونه‌های طبیعی می‌شوند. بنابراین مقاومت متابولیک می‌تواند از مقاومت‌های خاص به یک

^۵ Esterases, Monooxygenases and Glutathione-S-transferases

^۶ *Culex quinquefasciatus*

ترکیب تا مقاومت عمومی به طیف وسیعی از ترکیب‌ها متغیر باشد و بر طیف گسترده‌ای از ترکیبات تأثیر بگذارد. همچنین، سطح مقاومت می‌تواند از کم تا بسیار زیاد و از ترکیبی به ترکیب دیگر متغیر باشد. مکانیسم‌های مقاومت متابولیک در جمعیت ناقلین برای کلیه کلاس‌های اصلی حشره‌کش‌ها از جمله ارگانوفسفاتها، کارباماتها، پیرتروئیدها و ددت مشخص شده است (شکل شماره ۱).

۲-۲-۲- مقاومت محل اثر

دومین مکانیسم متداول مقاومت در حشرات، مقاومت محل اثر^۷ است. حشره‌کش‌ها به طور معمول بر یک سایت خاص در حشرات اثر می‌کنند. این نقطه معمولاً درون سیستم عصبی است (در مورد حشره‌کش‌های ارگانوفسفاتها، کاربامات و پیرتروئید). این نقطه در گونه‌های مقاوم به شکلی تغییر می‌یابد که حشره‌کش دیگر نمی‌تواند بطور مؤثر به آن متصل شود و در نتیجه این حشرات تحت تأثیر حشره‌کش قرار نگرفته و یا نسبت به حشرات حساس کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، نقطه اثر حشره‌کش‌های ارگانوفسفاتها و کاربامات آنزیم استیل کولین استراز (AChE) در سیناپس‌های سلول‌های عصبی است. تاکنون چندین شکل جهش‌یافته از AChE (همچنین به آن MACE، استیل کولین استراز تغییر یافته نیز گفته می‌شود) مشخص شده‌اند که منجر به کاهش حساسیت به مهار توسط این حشره‌کش‌ها می‌شود. مقاومت در برابر ارگانوفسفاتها در کولکس پی پینز به طور معمول از این مکانیسم نتیجه می‌شود. به طور مشابه، یک جهش (معروف به *kdr*) در توالی اسیدآمینو در کانال‌های سدیم وابسته به ولتاژ سلول‌های عصبی منجر به کاهش حساسیت کانال‌ها به اتصال ددت و حشره‌کش‌های پیرتروئید می‌شود. به عنوان مثال مقاومت در برابر

⁷ Target-site resistance

پیرتروئیدهای ایجاد شده به وسیله جهش‌های kdr در آنوفل گامبیه در غرب، مرکز و شرق آفریقا ایجاد شده است.

۲-۳- کاهش نفوذ

در برخی از انواع حشرات مقاوم تغییراتی در کوتیکول و یا پوشش دستگاه گوارش حشره به وجود می‌آید که مانع و یا باعث کند شدن جذب یا نفوذ حشره‌کش‌ها می‌شود. این مکانیسم مقاومت می‌تواند طیف گسترده‌ای از حشره‌کش‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. مکانیسم‌های کاهش نفوذ در مگس خانگی شناسایی شده‌اند ولی در هیچ یک از حشرات ناقل دیگر دیده نشده است. این مکانیسم مقاومت یک عامل کمک کننده به حساب می‌آید و به تنهایی یک مکانیسم قدرتمند در نظر گرفته نمی‌شود.

۲-۴- مقاومت رفتاری

مقاومت رفتاری هرگونه تغییر در رفتار حشرات را توصیف می‌کند که به جلوگیری از اثرات کشنده حشره‌کش‌ها کمک می‌کند. مقاومت پشه‌ها به حشره‌کش همیشه مبتنی بر مکانیسم‌های بیوشیمیایی مانند سم‌زدایی متابولیک یا جهش محل اثر نیست، بلکه ممکن است با تغییرات رفتاری و در پاسخ به برنامه‌های طولانی مدت سمپاشی حشره‌کش‌ها باشد. اهمیت مقاومت رفتاری به اندازه مقاومت فیزیولوژیک نیست اما ممکن است یک عامل مؤثر در نظر گرفته شود که منجر به جلوگیری از دوز کشنده یک حشره‌کش شود. یک پاسخ رفتاری، وابسته یا مستقل از یک محرک است. اگر پشه‌ها از محل سمپاشی شده به دلیل احساس وجود حشره‌کش پرهیز کنند، یک تغییر رفتاری وابسته به محرک است، در حالی که اشغال انتخابی و پایدار یک منطقه سمپاشی نشده می‌تواند پاسخ مستقل از یک محرک تلقی شود.

Biochemical mechanism of resistance					
	Metabolic			Target-site	
	Esterases	Monoxygenases	GSH S-transferases	<i>kdr</i>	MACE
Pyrethroids	●	●		○	
DDT		●	●	○	
Carbamates	●				●
Organophosphates	●	●			●

شکل ۱. مکانیسم‌های مهم بیوشیمیایی مقاومت در برابر کلاس‌های اصلی حشره‌کش‌ها در پشه‌های بالغ (اندازه دایره تأثیر نسبی مکانیسم بر مقاومت را نشان می‌دهد)

۲-۳- مقاومت متقاطع

مقاومت متقاطع هنگامی اتفاق می‌افتد که یک مکانیسم مقاومت، که به حشرات امکان می‌دهد تا نسبت به یک حشره‌کش مقاوم باشند، در مقابل سایر ترکیبات همان کلاس هم مقاوم بوده و ممکن است به کلاس‌های شیمیایی دیگر نیز (بسته به مکانیسم) مقاومت نشان دهد. پدیده مقاومت متقاطع در جمعیت‌های ناقل نسبتاً شایع است. به‌عنوان مثال، حشره‌کش‌های ددت و پیرتروئید از نظر شیمیایی بی‌ارتباط هستند اما هر دو بر محل اثر یکسان (کانال سدیم) اثر می‌کنند. استفاده گذشته از ددت منجر به بروز مقاومت در چندین گونه از حشرات در برابر ددت توسط جهش *Kdr* در محل اثر شده است. در جائیکه این جهش‌ها در جمعیت حفظ شده است، حشرات علاوه بر ددت نسبت به همه پیرتروئیدها نیز مقاوم می‌شوند. همچنین اگر مقاومت ناشی از تغییر در AChE باشد، مقاومت متقاطع می‌تواند بین حشره‌کش‌های اورگانوفسفات و کاربامات اتفاق بیفتد (شکل ۱).

۲-۴- مقاومت چندگانه

مقاومت چندگانه یک پدیده شایع است و هنگامی رخ می‌دهد که چندین مکانیسم مقاومت مختلف به طور همزمان در حشرات مقاوم وجود داشته باشد. مکانیسم‌های مختلف مقاومت ممکن است موجب ایجاد مقاومت در برابر کلاس‌های مختلف حشره‌کش‌ها شوند. همچنین در طول زمان بطور معمول با تغییر فرآیندهای انتخاب، سهم مکانیسم‌های مختلف مقاومت تغییر می‌کند.

۲-۵- پایه ژنتیک مقاومت

استفاده از حشره‌کش‌ها به خودی خود مقاومت ایجاد نمی‌کند. مقاومت در شرایطی رخ می‌دهد که جهش‌های ژنتیکی که به طور طبیعی اتفاق می‌افتند موجب مقاومت و زنده ماندن تعداد کمی از جمعیت (به طور معمول حدود ۱ در ۱۰۰۰۰۰ فرد) شود. اگر این مزیت با استفاده مداوم از همان حشره‌کش حفظ شود، حشرات مقاوم تولیدمثل می‌کنند و تغییرات ژنتیکی که باعث مقاومت می‌شود از والدین به فرزندان منتقل می‌شود، تا در نهایت تعداد آنها در جمعیت زیاد شود. این فرآیند "انتخاب" همان روشی است که باعث سایر تحولات تکاملی می‌شود. اگر ژن ارائه دهنده مقاومت بسیار نادر یا در فرکانس پایین باشد، این روند طولانی‌تر خواهد بود. مقاومت نباید با تحمل اشتباه گرفته شود، که می‌تواند پس از قرار گرفتن در معرض دوزهای زیر کشنده حشره‌کش رخ دهد، و به فرزندان منتقل نشود.

ژن مقاومت می‌تواند از غالب تا نیمه غالب تا مغلوب باشد. اگر غالب یا نیمه غالب باشد، فقط یکی از والدین باید صفت را داشته باشند که بطور کامل یا جزئی در فرزندان بیان شود. اگر ژن مغلوب باشد، هر دو والدین باید این ویژگی را داشته باشند. خوشبختانه اکثر مکانیسم‌های مقاومت (به‌عنوان مثال *kdr*) توسط ژن‌های مغلوب یا نیمه غالب کنترل می‌شوند که این امر احتمال مدیریت جمعیت‌های مقاوم را افزایش می‌دهد. اگر مقاومت از نظر ژنتیکی غالب باشد، می‌تواند به سرعت در بین جمعیت برقرار شود و مدیریت آن دشوار است (شکل ۲).

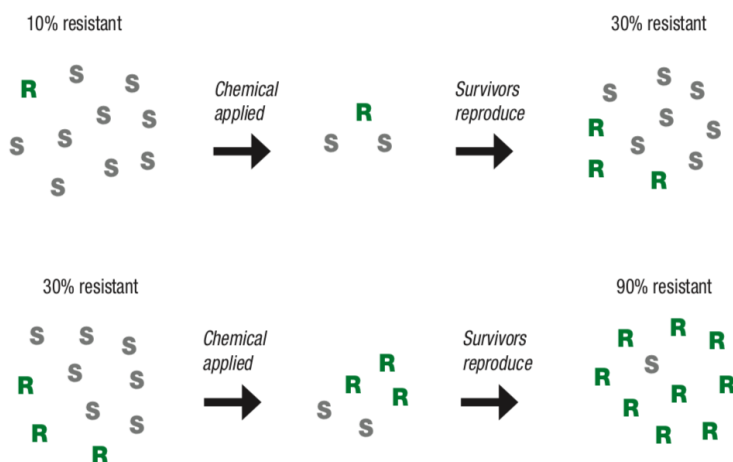
۲-۵-۱- هزینه سازش

جمعیت‌های حشراتی که هرگز در معرض حشره‌کش‌ها قرار نگرفته‌اند معمولاً کاملاً حساس و ژن‌های مقاومت در آن جمعیت بسیار نادر هستند. این

معمولاً به دلیل "هزینه سازش" است، بدین معنی که حشرات دارای ژن مقاومت فاقد بعضی از سایر خصوصیات و یا کیفیت هستند که به حشرات حساس در شرایط عدم وجود حشره‌کش مزیت می‌بخشند. تفاوت در تعداد فرزندان، طول عمر یا توانمندی کلی، اغلب در حشرات مقاوم قابل اندازه‌گیری است. شواهد آزمایشگاهی و میدانی خوبی وجود دارد که نشان می‌دهد عدم وجود فشار انتخاب (به شکل سمپاشی حشره‌کش) در بیشتر موارد علیه مقاومت عمل می‌کند. اگر فشار انتخاب حشره‌کش حفظ نشود، کلنی‌های مقاوم آزمایشگاهی اغلب به حساسیت بازمی‌گردند. به همین ترتیب هنگامی که مقاومت در شرایط میدانی انتخاب شد، اغلب با تغییر رژیم سمپاشی حشره‌کش‌ها، حساسیت به سرعت برمی‌گردد. نمونه خوبی از این اتفاق در آنوفل عربینسیس در سودان رخ داده است، جایی که مقاومت اختصاصی به حشره‌کش مالاتیون در اوایل دهه ۱۹۸۰ از طریق سمپاشی منازل برای مبارزه با مالاریا انتخاب شد. بروز مقاومت باعث شد تا حشره‌کش فنیتروتیون جایگزین و حساسیت به مالاتیون به سرعت در طی چند سال بعد، برگردد.

این بازگشت به حساسیت است که فرض اساسی در پشت هر استراتژی مؤثر مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها است. با این حال، نرخ برگشت به طور بالقوه متغیر است و ممکن است بسیار کند باشد، به‌ویژه هنگامی که سال‌ها از یک حشره‌کش استفاده بشود. اگر هزینه سازش برای مقاومت وجود نداشته باشد، دلیلی وجود ندارد که ژن‌های مقاومت در جمعیت از بین بروند و حساسیت کامل باز گردد. به‌عنوان مثال، از ددت برای کنترل مالاریا در طی یک دوره ۲۰ ساله تا دهه ۱۹۶۰ در سریلانکا برای کنترل آنوفل کولسیفاسیس و آنوفل سوپیکتوس استفاده شد. در اوایل دهه ۱۹۷۰ با ممنوع کردن استفاده از ددت، این حشره‌کش با مالاتیون در سریلانکا

جایگزین شد. پایش منظم متعاقب آن نشان داده است که مقاومت به ددت بسیار آهسته به سمت حساسیت برگشته است. حدود ۸۰٪ از جمعیت پشه بالغ در دهه ۱۹۷۰ در مقایسه با حدود ۵۰٪ در دهه ۱۹۹۰ مقاوم بودند. این نرخ برگشت به وضوح برای ایجاد هرگونه استراتژی مؤثر برای مدیریت مقاومت در مورد بازگرداندن ددت بسیار کند است.



شکل ۲. سناریوی ممکن برای بروز مقاومت

۲-۶- عوامل اصلی تأثیرگذار بر بروز مقاومت

۲-۶-۱- دفعات سمپاشی

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بروز مقاومت آنست که هر چند وقت یکبار از یک حشره‌کش یا روش کنترل استفاده می‌شود. با هر بار استفاده، مزیتی به حشرات مقاوم در بین جمعیت داده می‌شود. سرعت افزایش مقاومت در یک جمعیت، در صورت وجود هزینه کمتر سازش، سریع‌تر خواهد بود.

۲-۶-۲- مقدار مصرف و ماندگاری اثر

مدت اثر یا ماندگاری یک حشره‌کش تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی شیمیایی حشره‌کش، نوع فرمولاسیون و میزان کاربرد آن است. محصولاتی که تأثیر ماندگار را ایجاد می‌کنند، همانند سمپاشی‌های متعدد، فشار مداوم انتخاب را فراهم می‌آورند. به‌عنوان مثال، اثر ابقایی یک مه‌پاشی بر علیه پشه‌ها برای مدت زمان بسیار کوتاهی است و انتخاب افراد مقاوم بر علیه یک نسل انجام می‌پذیرد. حال آنکه در سمپاشی ابقایی اماکن و یا با کاربرد پشه‌بندهای آغشته به سم اثر ابقایی برای ماه‌ها و یا سال‌ها باقی می‌ماند و انتخاب روی نسل‌های مختلف یک جمعیت صورت می‌پذیرد. بنابراین مهم است که همیشه توصیه‌های سازمان جهانی بهداشت و یا تولیدکننده حشره‌کش را رعایت نموده و از دوز کامل توصیه شده آنها استفاده شود.

۲-۶-۳- میزان تولیدمثل

سرعت بروز مقاومت در حشراتی که چرخه زندگی آنان کوتاه و میزان تولیدمثل زیادی دارند به احتمال زیاد نسبت به گونه‌هایی که میزان تولیدمثل کمتری دارند بیشتر می‌باشد، زیرا نسل‌ها و حشرات بیشتری ممکن است به سرعت در معرض حشره‌کش قرار گیرند. پشه‌ها، با یک چرخه زندگی نسبتاً کوتاه و باروری زیاد (ماده‌ها چند صد تخم در طول عمر تولیدمثل خود می‌گذارند) دارای سابقه مقاومت به حشره‌کش‌ها هستند. در مقابل، مگس‌های تسمه تسمه به طور معمول به حشره‌کش‌ها مقاوم نمی‌شوند زیرا دارای چرخه عمر طولانی‌تر و تولیدمثل نسبتاً کم (ماده‌ها در کل کمتر از ۱۰ لارو تولید می‌کنند) هستند.

۲-۶-۴- جدایی جمعیت

در مبارزه با ناقلین بیماری‌ها هدف اغلب از بین بردن تمام و یا بیشتر جمعیت ناقل است، اما هرچه فشار انتخاب به یک جمعیت بیشتر وارد شود، مقاومت سریع‌تر بروز می‌نماید. مهاجرت افراد واجد آلل‌های حساس به حشره‌کش، از مناطق سمپاشی نشده به مناطق سمپاشی شده، باعث رقیق شدن و رقابت با افراد با آلل‌های مقاوم می‌گردد. بنابراین، قدم اولیه در برنامه‌های کنترل ناقلین باید شناسایی منبع ناقلین و برآورد اهمیت مهاجرت حشرات از مناطق سمپاشی نشده باشد. به‌عنوان مثال، جزیره‌ای که کل منطقه آن مورد سمپاشی قرار می‌گیرد، در معرض خطر بسیار زیاد بروز مقاومت می‌باشد. آگاهی و هماهنگی با سایر برنامه‌های کنترل ناقلین و با فعالیت‌های کشاورزی جهت در نظر گرفتن تأثیر کل این عملیات بر روی جمعیت ناقل هدف ضروری است.

۳- رویکردهای مختلف مدیریت مقاومت

۳-۱- رویکردهای مدیریت مقاومت

با استفاده از روش‌های مبتنی بر حشره‌کش، همراه با سایر روش‌های کنترل غیر شیمیایی ناقل (مدیریت تلفیقی ناقلین و آفات؛ به فصل‌های ۴-۲ و ۹-۳ نیز توجه کنید)، می‌توان مقاومت را مدیریت نمود. در عمل، بسیاری از برنامه‌های کنترل تلفیقی تحت شرایط آزمایشی به‌خوبی کار می‌کنند، اما وقتی در مقیاس وسیع‌تر در برنامه‌های کنترل بلندمدت قرار می‌گیرند، عملیاتی نمی‌شوند. از نظر عملیاتی، ساده‌ترین شکل مدیریت مقاومت به احتمال زیاد مبتنی بر حشره‌کش است و این می‌تواند اشکال مختلفی به خود بگیرد.

۳-۱-۱- چرخش

استراتژی‌های چرخش مبتنی بر چرخش دو کلاس، یا ترجیحاً کلاس‌های بیشتر حشره‌کش، با مکانیزم‌های مختلف اثر در طول زمان است. فرض این رویکرد بر آن است که اگر مقاومت در برابر هر یک از حشره‌کش‌ها نادر باشد، مقاومت چندگانه بسیار نادر خواهد بود. از این رو، با استفاده از کلاس دوم حشره‌کش هرگونه مقاومت در برابر حشره‌کش اول کاهش می‌یابد. دوره زمانی برای چرخش باید به اندازه کافی کوتاه باشد تا مقاومت در صورت ایجاد، دوباره به سرعت برگردد. اگرچه در اکثر برنامه‌های کنترل بیماری‌های ناقل زاد چرخش سالانه حشره‌کش‌ها عملی است، اما چرخش چندین کلاس از حشره‌کش‌ها (با مکانیزم‌های مختلف اثر) در یک فصل رشد در بسیاری از سیستم‌های کشت زراعی انجام می‌شود.

۳-۱-۲- مخلوط

استفاده از مخلوط آنتی‌بیوتیک‌ها برای جلوگیری از ایجاد مقاومت رایج است. یک بار دیگر، فرض بر آن است که اگر مقاومت در برابر هر دو ترکیب حشره‌کش در یک مخلوط نادر باشد، مقاومت چندگانه در برابر هر دو بسیار نادر خواهد بود. البته بعید به نظر می‌رسد که این رویکرد، در صورتیکه مقاومت به یکی از حشره‌کش‌های بکاررفته در این مخلوط در سطح قابل تشخیص باشد، موفق گردد. مخلوط کردن سموم، در مخزن سمپاش، یک روش ساده برای مدیریت مقاومت است که می‌تواند مزایای دیگری از لحاظ افزایش طیف فعالیت، به‌ویژه در سیستم‌های کشاورزی، داشته باشد. با این حال، برای آنکه استراتژی مخلوط در عمل به‌خوبی کار کند، باید هر دو حشره‌کش در حداکثر دوز عملیاتی مجاز خود بکار رفته، و اثر و ماندگاری آن دو باید کم و بیش مشابه باشد. مخلوط کردن سموم در مخزن سمپاش به ندرت در برنامه‌های کنترل ناقلین به دلیل هزینه، ایمنی و تعداد محدودی از ترکیبات توصیه شده، بکار رفته است. با این حال، این نباید مانع تحقیقات بیشتر در مورد استفاده از مخلوط‌ها به‌عنوان ابزاری برای مدیریت مقاومت در جمعیت ناقلین در آینده شود.

۳-۱-۳- موزائیک در مقیاس کوچک

سمپاشی حشره‌کش‌های مختلف، بر علیه یک حشره، در مکان‌های مجزا از هم، یک رویکرد "موزائیک" برای مدیریت مقاومت است. برای مثال، با استفاده از دو حشره‌کش در خانه‌های مختلف در یک روستا می‌توان روش موزائیک در مقیاس کوچک را در برنامه‌های کنترل ناقل عملی نمود. این امر پتانسیل تماس حشرات یک نسل را با هر دو حشره‌کش فراهم می‌آورد و میزان انتخاب مقاومت را در جمعیت کاهش می‌دهد - مشروط بر اینکه

مقاومت چند گانه در جمعیت ناقل بسیار نادر باشد. اگر از چنین روش موزائیک در مقیاس کوچک استفاده شود، ثبت دقیق که در هر خانه از کدام حشره‌کش استفاده شده است، ضروری است. در حال حاضر تحقیقات در حال بررسی آغشته کردن پشه‌بند با دو حشره‌کش با مکانیزم‌های اثر متفاوت است. این روش همانند اثر سمپاشی منازل با ترکیبات مختلف است ولی در یک مقیاس کوچک‌تر.

۳-۲- مدیریت مقاومت و نحوه اثر

به‌منظور تدوین و اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت مقاومت (چرخش، اختلاط، موزائیک)، آگاهی از نحوه اثر و یا کلاس شیمیایی محصولات حشره‌کش موجود ضروری است. اگرچه قوانین به طور کلی الزام به درج نام شیمیایی خاص و رایج در برچسب‌های محصول دارند، اما کلاس شیمیایی و نحوه اثر معمولاً ارائه نمی‌شود. به طور معمول این اطلاعات در بولتن‌های فنی تجاری ارائه می‌شوند. یک روش برای تعیین نحوه اثر، جستجوی نام شیمیایی در طبقه‌بندی نحوه اثر متعلق به کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش (IRAC MOA) است که می‌توانید در وب‌سایت (www.ircac-online.org) پیدا کنید. جزئیات بیشتر در بخش ۳.۳ در زیر آورده شده است.

اگرچه ترکیبات موجود در کلاس شیمیایی مشابه (مانند کارباماتها، ارگانوفسفاتها یا پیرتروئیدها) نحوه اثر یکسان دارند ولی ممکن است محصولات تجاری مختلفی در یک کلاس شیمیایی واحد وجود داشته باشد. برای مثال تمام پیرتروئیدها دارای نحوه اثر مشابه هستند و چرخش یک پیرتروئید با پیرتروئیدی دیگر جمعیت را با یک نحوه اثر واحد مواجه می‌نماید و این عمل هیچ ارزشی در مدیریت مقاومت ندارد. در حقیقت، انتخاب مقاومت افزایش می‌یابد. از لحاظ تئوری، چرخش با محصولات داخل

یک کلاس شیمیایی یا با نحوه اثر واحد می‌تواند در شرایطی اتفاق بیفتد که یک ترکیب واحد تحت تأثیر مکانیسم مقاومت سایر اعضا آن کلاس قرار نگیرد. ولی این شرایط رایج نیست و نیاز به درک دقیق مکانیسم‌های مقاومت دارد. بنابراین تقریباً همیشه بهتر است بدون توجه به مکانیسم مقاومت، نسبت به چرخش حشره‌کش‌ها با نحوه اثر متفاوت مبادرت کرد.

حشره‌کش‌ها در هر دو مرحله لارو و بالغ بر علیه تعدادی از دوبالان ناقل و مهم بهداشتی بکار می‌روند. در جایی که این روش معمول است، باید یک سیستم چرخشی ایجاد شود تا از مواجهه هر دو مرحله زندگی با حشره‌کش‌هایی با نحوه اثر مشابه جلوگیری شود.

۳-۳- سیستم طبقه‌بندی نحوه اثر - کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش

کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش اخیراً با چندین سازمان دولتی همکاری کرده است تا بتواند یک سیستم جامع طبقه‌بندی نحوه اثر حشره‌کش‌ها را (در جدول ۱ نشان داده شده است و در وبسایت IRAC آدرس: www.irac-online.org در دسترس است) با هدف نهایی ارائه چنین اطلاعاتی بر روی برچسب تمام محصولات ارائه دهد. این سیستم، نحوه‌های اثر شناخته شده کنونی کلیه حشره‌کش‌ها را (مشخص شده توسط یک عدد منحصر به فرد) به همراه کلاس‌های شیمیایی مورد استفاده و نمونه‌هایی از محصولات موجود در هر کلاس را نشان می‌دهد. بنابراین با جستجوی نام شیمیایی ترکیب می‌توان نحوه اثر آن را مشخص کرد (این کار به راحتی با استفاده از ابزاری به نام eClassification در وبسایت IRAC قابل انجام است). ممکن است زیرگروه‌های شیمیایی (تعیین شده توسط یک حرف) وجود داشته باشند که دارای نحوه اثر یکسان هستند اما از نظر شیمیایی

متفاوتند و بنابراین به احتمال زیاد منجر به مقاومت متقاطع نمی‌شوند. به‌عنوان مثال، اورگانوفسفات (1A) و کاربامات‌ها (1B) نحوه اثر یکسان دارند، اما همیشه مقاومت متقاطع بین دو گروه وجود ندارد، به خصوص هنگامی که مقاومت متابولیکی درگیر است. در شرایط خاص محصولات 1A و 1B می‌توانند به‌صورت چرخشی بکار برده شوند (برخلاف محصولات در همان کلاس که نمی‌توانند). اگر چرخش بین کلاس‌ها امکان‌پذیر نباشد، به جای ادامه استفاده از همان ماده شیمیایی، چرخش زیر کلاس‌ها ترجیح داده می‌شوند.

۳-۱- توضیح برچسب IRAC برحسب نحوه اثر

پیشنهاد می‌شود که برچسب محصول، حداقل گروه شیمیایی و نوع ماده را، همان‌گونه که در مثال ذیل آمده نشان دهد - شرکت‌ها می‌توانند جزئیات بیشتر اضافه کنند.

گروه شیمیایی	1A	حشره‌کش
--------------	----	---------

برای مقاصد مدیریت مقاومت، هر محصول حشره‌کش (X) به یک گروه شیمیایی تعلق می‌گیرد (به‌عنوان مثال اورگانوفسفات). تعداد مشخصی از حشرات ممکن است حاوی افرادی باشند که به طور طبیعی در برابر X مقاوم هستند (و سایر حشره‌کش‌های گروه اورگانوفسفات) و در صورت استفاده مکرر از چنین حشره‌کش‌ها، این افراد به نوع غالب تبدیل می‌شوند. سرانجام ممکن است این حشرات مقاوم توسط X (یا هر نوع حشره‌کش اورگانوفسفات) کنترل نشوند و برای توصیه‌های مدیریت محلی مقاومت باید با کارشناسان محلی و توزیع‌کنندگان تجاری مشورت شود. اگرچه طرح طبقه‌بندی نشان داده شده در جدول ۱ مبتنی بر نحوه اثر است، اما همانطور که در فصل ۲ بیان شده است، مقاومت در حشرات و هیبره‌ها، به ترتیب، در

برابر حشره‌کش‌ها و کنه‌کش‌ها، همچنین می‌تواند ناشی از افزایش متابولیسم، کاهش نفوذ و یا تغییرات رفتاری باشد. این‌ها به طبقه‌بندی محل اثر مربوط نمی‌شوند بلکه مخصوص یک کلاس شیمیایی و گاهی یک ماده شیمیایی خاص است. با وجود این، چرخش ترکیبات از کلاس‌های مختلف شیمیایی یک روش مدیریتی مناسب برای به تأخیر انداختن مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها است:

- از استفاده مکرر از حشره‌کش‌های یک زیرگروه شیمیایی خودداری کنید.
- سایر روش‌های کنترل (شیمیایی، بیولوژیکی) را در برنامه‌های کنترل حشرات ادغام کنید.

۳-۴- خلاصه مطالب

- مدیریت موفقیت‌آمیز مقاومت به کاهش فشار انتخابی که توسط یک نحوه اثر و یا ماده شیمیایی خاص روی جمعیت اعمال می‌شود، بستگی دارد.
- فشار انتخاب می‌تواند از طریق استراتژی‌های متعددی نظیر چرخش، استفاده از مخلوط‌های حشره‌کش‌ها و کاربردهای موزائیک کاهش یابد.
- روش طبقه‌بندی IRAC یک راهنمای به روز و دقیق است که می‌تواند در تدوین دستورالعمل‌های مدیریت مقاومت استفاده شود.

جدول ۱: طبقه‌بندی نحوه اثر IRAC برای ماده فعال مورد استفاده در کنترل ناقلین

Primary target site of action	Group	Subgroup	Chemical subgroup	Examples
Acetylcholinesterase inhibitors	1	A	carbamates	bendiocarb, propoxur
		B	organophosphates ²	fenitrothion, pirimiphos-methyl, malathion, temephos
GABA-gated chloride channel antagonists	2	B	fiproles	fipronil
Sodium channel modulators	3	B	DDT, pyrethroids and pyrethrins	allethrin, bifenthrin, lambda-cyhalothrin, alpha-cypermethrin, deltamethrin, cyfluthrin, permethrin, etofenprox, phenothrin, transfluthrin
Nicotinic acetylcholine receptor agonists	5		spinosyns	spinosad
Juvenile hormone mimics	7	A	juvenile hormone analogues	methoprene, hydroprene
		C	pyriproxyfen	pyriproxyfen
Microbial disrupters of insect midgut membranes	11	A1	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i>	
		A2	<i>Bacillus sphaericus</i>	
Inhibitors of chitin biosynthesis	15		benzoylureas	diflubenzuron, triflumuron, novaluron

توجه:

۱. شامل لاروکش و حشره‌کش بالغین. این طبقه‌بندی سالانه ویرایش و به روز می‌شود تا محصولات جدید را شامل شود. لطفاً برای لیست کامل نحوه اثر، به www.irac-online.org مراجعه کنید.
۲. همه ترکیبات موجود در اورگانوفسفات‌ها مقاومت متقاطع ندارند. مکانیسم‌های مختلف مقاومت که به محل مورد هدف مرتبط نیستند، مانند متابولیسم تقویت شده برای اورگانوفسفات‌ها معمول است (شکل ۱). بعضی از این مکانیسم‌های مقاومت متابولیک گاهی برای یک زیرگروه خاص یا ترکیبات خاص درون اورگانوفسفات‌ها اختصاص دارند. در نتیجه مثال‌های اثبات شده‌ای از مدیریت موفقیت‌آمیز مقاومت در برابر یک ترکیب خاص یا زیرگروه خاص از ترکیبات اورگانوفسفات با استفاده از ترکیبات اورگانوفسفات از زیرگروه‌های متفاوت وجود دارد.

۴- مبانی مدیریت مقاومت

۴-۱- دروس آموخته شده از کشاورزی

اساسی‌ترین درس آموخته شده در مورد مقاومت در کشاورزی و بهداشت، لزوم مدیریت دقیق فشار انتخاب است که توسط حشره‌کش روی حشره اعمال می‌شود. مقاومت در شرایطی به وجود می‌آید که جمعیت حشرات در معرض فشار بالای انتخاب، ناشی از مواجهه بیش از حد یک حشره‌کش خاص یا کلاس شیمیایی حشره‌کش قرار بگیرند. بیشتر زارعین انتخاب خود را از حشره‌کش‌ها بر اساس دلایل دیگری غیر از نگرانی‌های مربوط به مدیریت مقاومت عنوان می‌کنند. تصمیمات معمولاً براساس منافع اقتصادی (کوتاه‌مدت) است، در حالی که ایمنی کارگران، سهولت در استفاده، عرضه و نگرانی در مورد تأثیرات زیست‌محیطی نیز می‌تواند بر انتخاب محصول تأثیر بگذارد. نتیجه نهایی استفاده از چنین معیارهایی اغلب مشابه استفاده از یک محصول واحد یا کلاس شیمیایی است که بطور مداوم و به طور غیر پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که مقاومت در برابر ترکیب ایجاد می‌شود، هزینه یا مزایای مرتبط با انتخاب یک محصول جایگزین ممکن است برای کشاورز بسیار کمتر جذاب باشد. تقریباً همیشه رویکردهای پایدار برای کنترل آفات در طولانی‌مدت مقرون‌به‌صرفه تر است، اگرچه ممکن است در کوتاه‌مدت کمی گرانتر به نظر برسند. پیشگیری بهتر از درمان است و بهتر است برای به حداقل رساندن بروز مقاومت یک استراتژی داشت و نه اینکه آن را به شانس سپرد.

عوامل زیادی در سرعتی که مقاومت ایجاد می‌شود نقش دارند:

- حشرات دارای چندین نسل در سال و ظرفیت تولیدمثل بالا، خطر بیشتری را نسبت به آنهایی که تولید یک نسل در سال دارند، نشان

می‌دهند.

- شیمی حشره‌کش، نوع فرمولاسیون و الگوی استفاده از آن نیز بر میزان بروز مقاومت تأثیر می‌گذارند. به‌عنوان مثال، مقاومت به طور کلی با سرعت بیشتری نسبت به حشره‌کش‌هایی که پایداری بیشتری دارند یا نیاز به کاربرد مکرر دارند، نسبت به حشره‌کش‌هایی که پایدار نیستند و به ندرت بکار می‌روند، بروز می‌نماید.

تاریخچه مقاومت یک گونه حشره نیز نشانگر خوبی از پتانسیل بروز مشکلات مقاومت در آینده است. تاریخ نشان می‌دهد که شته‌ها، مگس‌های سفید و کنه‌ها ظرفیت بالاتری برای بروز مقاومت نسبت به سایر گروه‌های حشرات دارند. مشخصاً آنها در هر فصل، نسل‌های بسیاری دارند، از ظرفیت باروری بالایی برخوردار هستند، میزبان‌هایشان اغلب محدود بوده، در بسیاری از موقعیت‌های کشاورزی به‌صورت جمعیت‌های محلی رشد نموده و شانس اختلاط ژنتیکی در آنها کم است. در بهداشت، پشه‌ها و مگس‌ها دارای ویژگی‌های مشابهی با این آفات کشاورزی هستند و قادر به ایجاد مقاومت در برابر محصولات و کلاس‌های متداول حشره‌کش هستند.

۴-۲- تاکتیک‌های مدیریت مقاومت

۴-۲-۱- تاکتیک‌های قبل از عملیات

تجزیه و تحلیل خطر را برای تعیین خطر مقاومت آفت می‌توان انجام داد. این تجزیه و تحلیل باید براساس عوامل مختلفی از جمله نحوه اثر حشره‌کش، خصوصیات شیمیایی محصول و فرمولاسیون آن، سابقه مقاومت در آفت هدف، زیست‌شناسی آفت و الگوی استفاده پیشنهادی حشره‌کش انجام شود.

براساس نتیجه این آنالیز و میزان محافظه‌کاری در تفسیر آن، می‌توان یک استراتژی مدیریتی مناسب برای حشره‌کش تدوین کرد. اگر ارزیابی نشان می‌دهد که احتمال بروز مقاومت در آفت زیاد است، بهتر است یک برنامه مدیریتی طراحی شود که شامل روش‌های مختلف کنترل شیمیایی و غیر شیمیایی باشد. تأکید بر این نکته مهم است که برنامه‌های مدیریت مقاومت در صورت اجرا، قبل از بروز مقاومت، و یا هنگامی که فرکانس ژن مقاومت هنوز بسیار کم است، مؤثرتر هستند.

۴-۲-۲- پایش خط مبدأ

در جائیکه احتمال وقوع مقاومت وجود دارد، خوب است که بین آفت و حشره‌کش و در مراحل اولیه، به‌ویژه قبل از استفاده از یک حشره‌کش با نحوه اثر و یا شیمی جدید، رابطه دوز-پاسخ تعریف شود. سازمان جهانی بهداشت برای ایجاد یک خط مبدأ تست زیست‌سنجی (bioassay) را توسعه داده است و این باید به‌عنوان یک مرجع برای پایش‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد. پس از برقراری خط مبدأ، باید عملکرد میدانی حشره‌کش با پایش منظم بررسی شود. در صورت بروز هرگونه تغییر در عملکرد، باید آزمایشاتی انجام شود و نتیجه آن با داده‌های پایه مقایسه شود تا تأیید شود که مسئله مقاومت است و سایر عوامل در نتیجه مشاهده شده تأثیر نداشته‌اند. پس از تأیید مقاومت، باید تاکتیکی تدوین شود تا فشار انتخاب ناشی از آن حشره‌کش (یا خانواده حشره‌کش‌ها) کم و یا بطور کلی برداشته شود. این ویژگی اصلی یک استراتژی مدیریت است (برای حصول موفقیت، بهتر است که تاکتیک‌هایی که پس از شناسایی مقاومت مورد استفاده قرار می‌گیرند قبل از بروز مشکل پیاده شوند).

۴-۲-۳- اقدامات تکمیلی

استراتژی مدیریت مقاومت شامل اقدامات مکمل یا "اصلاحی" است. اقدام اصلاحی، هر فعالیت عملی است که شانس بروز مقاومت را کاهش دهد. این‌ها می‌توانند مبتنی بر اقدامات شیمیایی، مانند تغییر در الگوی استفاده باشد (به‌عنوان مثال محدود کردن تعداد سمپاشی‌ها در هر فصل یا گردش حشره‌کش با حشره‌کشی با نحوه اثر متفاوت) و یا اقدامات غیر شیمیایی مانند مدیریت محیط‌زیست (به‌عنوان مثال، حذف مکان‌های تولید پشه و یا حفظ مناطق سمپاشی نشده).

۴-۳-۱ اجرا

اطلاع‌رسانی و آموزش احتمالاً مهمترین عوامل در اجرای موفقیت‌آمیز برنامه مدیریت مقاومت هستند. برای تأثیرگذاری و اطلاع‌رسانی در این تصمیم، اطلاعات باید در دسترس افرادی باشد که حشره‌کش را انتخاب می‌کنند، تا آگاهانه تصمیم بگیرند. طرح‌های مدیریتی موفق در سیستم‌های کشاورزی اختصاصاً آن‌هایی بوده‌اند که دارای زیرساخت‌های مؤثر برای انتشار اطلاعات داشته‌اند. در مدیریت ناقلین، سازمان جهانی بهداشت، سازمان‌های دولتی و تولیدکنندگان آفت‌کش‌ها باید بتوانند پشتیبانی فنی، آموزش و اطلاعات را از طریق کارگاه‌ها، جلسات و نشریات ارائه دهند تا اطمینان حاصل شود که اپراتورها و مقامات محلی به طور کامل اصول و عملکرد مدیریت مقاومت را در رابطه با حشرات ناقل درک می‌کنند. شبکه‌ای از پرسنل آموزش دیده از شرکت‌های تولیدکننده آفت‌کش‌ها نیز باید بتواند در مورد استفاده صحیح از حشره‌کش مشاوره حرفه‌ای ارائه دهد و برنامه‌های مدیریت مقاومت را تعریف کند. تولیدکنندگان حشره‌کش‌ها باید از وجود برچسب‌های محصول به زبان‌های محلی اطمینان حاصل کنند و صرف‌نظر از روش کاربرد یا الگوی

استفاده، واضح و ساده باشد. به همین ترتیب، ادبیات حاوی اطلاعات فنی در مورد مدیریت مقاومت، همراه با نمونه‌هایی از برنامه‌های سمپاشی، نیز باید از طرف تولیدکنندگان در دسترس باشد.

۴-۴- پایش عملکرد حشره‌کش

این مرحله شامل تعدادی عناصر است:

- پیگیری اثربخشی در کار آزمایشی های استفاده تجاری.
- پیگیری گزارش در مورد عملکرد ضعیف و یا شکست در عملیات میدانی، هنگامی که سایر عواملی که ممکن است باعث عدم موفقیت و یا کاهش اثربخشی حشره‌کش شوند حذف شده است (به فصل ۷ مراجعه کنید)، مقاومت باید به‌عنوان یک دلیل احتمالی مورد بررسی قرار گیرد. به‌عنوان مثال، در مورد پشه‌ها، باید با استفاده از همان روش‌های توصیه شده سازمان جهانی بهداشت، پشه‌ها جمع‌آوری و سطح حساسیت پایه آن‌ها تعیین شود.
- در مناطقی که احتمال بروز مقاومت ناقلین در آن‌ها زیاد است ممکن است با استفاده از غلظت‌های تشخیصی، برخی پایش‌های انتخابی در طول فصل انجام پذیرد (به فصل ۶ مراجعه کنید).
- گزارش دهی: کلیه موارد مقاومت تأیید شده در این زمینه باید مستند، نقشه‌برداری شده و در اختیار مقامات محلی و سازمان جهانی بهداشت قرار گیرد.

۴-۵- در صورت یافتن مقاومت چه باید کرد

سیر عملی که باید انجام شود به شرایط بستگی دارد. در صورت لزوم می‌توان تغییراتی را در استراتژی مدیریت مقاومت ایجاد کرد و ممکن است شامل

محدودیت‌های بیشتر در تناوب استفاده، چرخش با حشره‌کش‌های مختلف و یا محدودیت استفاده از حشره‌کش برای حفظ اثربخشی و کاهش سطح مقاومت باشد. این امر ممکن است استفاده مجدد از محصول در آینده را امکان‌پذیر نماید. به طور کلی، اقدامات زیر باید در نظر گرفته شود:

- از حشره‌کش‌ها به صورت بهینه و ترجیحاً در یک سیستم مدیریت تلفیقی آفات استفاده کنید.
- در صورت مشاهده مقاومت، داده‌ها را با آزمایش‌های بعدی تأیید کرده و سمپاشی نامناسب و یا سایر دلایل عدم موفقیت سمپاشی را رد کنید.
- سطح منطقه مشکل را تعیین کنید. این امر البته برای کنترل ناقلین ممکن است به دلایل زیادی مشکل باشد.
- سازمان جهانی بهداشت و مقامات منطقه‌ای را مطلع کنید.
- به تولیدکننده حشره‌کش اطلاع دهید.
- علت اصلی مقاومت را مشخص کنید.
- یک برنامه چاره‌ساز با همکاری مقامات ملی، سازمان جهانی بهداشت و تولیدکننده تهیه کنید.

در سیستم‌های کشت کشاورزی، منبع فشار انتخاب بر روی حشرات معمولاً مشخص است. ولی در مورد کنترل ناقلین این مسئله بسیار پیچیده‌تر است، زیرا منشاء فشار انتخاب نه تنها از حشره‌کشی است که برای مبارزه با بیماری به کار رفته است بلکه ممکن است از حشره‌کش‌هایی که در کشاورزی و یا برای کنترل آفات خانگی به کار رفته نیز باشد. درک مناسب از رفتار ناقل برای تعیین نسبی نقش آفت‌کش بهداشتی و کشاورزی در این امر لازم است. به عنوان مثال، در سریلانکا، آنوفل کولسیفاسیس (پشه درون زی، مزارع برنج زیستگاه لارویش نیست) تحت تأثیر حشره‌کش‌هایی که در مزارع برنج

استفاده می‌شود نیست، حال آنکه مقاومت در آنوفل سوپیکتوس و آنوفل نیجریموس (به ترتیب درون زی و برون زی، زیستگاه لاروی در مزارع برنج) عمدتاً تحت تأثیر آفت‌کش‌های کشاورزی است. در یک چنین سناریوی مدیریت مقاومت در آنوفل کولسیفاسیس می‌تواند عمدتاً در بخش بهداشت انجام شود ولی مدیریت مقاومت دو گونه دیگر نیاز به همکاری مشترک دو بخش بهداشت و کشاورزی دارد.

۴-۶- مدیریت موفقیت‌آمیز مقاومت در بخش کشاورزی

یکی از نمونه‌های موفق مدیریت مقاومت را می‌توان در مناطق عمده رشد پنبه در استرالیا یافت. با گذشت سال‌ها، کرم پنبه، *Helicoverpa armigera*، به بسیاری از حشره‌کش‌ها مقاومت پیدا کرد. یک برنامه تحقیقاتی فشرده منجر به شناسایی عوامل ایجاد مقاومت، و تدوین اصول مدیریتی شد که هر ساله توسط ادارات محلی کشاورزی مورد بازبینی و به روزرسانی قرار می‌گیرند. توصیه‌های اصلی استراتژی مدیریت مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها^۸ در زیر نشان داده شده است، و شامل اصلاحات شیمیایی و هم‌غیر شیمیایی است:

- شخم زدن بقایای پنبه و سایر گیاهان میزبان بلافاصله پس از برداشت محصول برای از بین بردن شفیره‌های زمستان‌گذران.
- استفاده از آستانه‌های توصیه شده برای کنترل لارو برای به حداقل رساندن استفاده از آفت‌کش‌ها و کاهش فشار انتخاب مقاومت.
- اجتناب از کاربرد حشره‌کش‌های با اثر طیف گسترده نظیر اورگانوفسفات و پیرتروئیدها در اوایل فصل به منظور حفظ جمعیت

^۸ www.cotton.crc.org.au

بندپایان مفید.

- چرخش گروه‌های شیمیایی، به‌منظور جلوگیری از استفاده مداوم از یک نوع خاص. از حداکثر تعداد قابل قبول دفعات سمپاشی در هر فصل، همانطور که در نمودار شماره ۱ استراتژی مدیریت مقاومت پنبه ذکر شده است پرهیز کنید.
- شکست عملیات سمپاشی را با کاربرد حشره‌کشی با همان نحوه اثر جبران نکنید مگر اینکه این شکست به‌وضوح ناشی از عواملی مانند کاربرد نامناسب یا زمان‌بندی و غیره حشره‌کش باشد.
- محدودیت‌های استفاده از حشره‌کش‌ها در محصولات غیر از پنبه به‌منظور مدیریت مقاومت را رعایت کنید.

دستورالعمل‌های مدیریت مقاومت که توسط IRAC تهیه شده است نیز در نظر دارد پایه‌های فنی کاملی را برای برنامه‌های مدیریت محلی مقاومت و مدیریت تلفیقی آفات فراهم کند. مثال خوبی از این، راهنماهایی است که برای مدیریت مقاومت در کنه‌های عنکبوتی در میوه تهیه شده است، که اکنون در برنامه‌های منطقه‌ای مدیریت تلفیقی آفات در اروپا به کار می‌رود. این دستورالعمل‌ها به دلایل مختلفی بر چرخش حشره‌کش بنا شده‌اند، از جمله هزینه و الزام مخلوط کردن حشره‌کش‌ها با اثربخشی و ماندگاری برابر - عاملی که معمولاً استفاده از مخلوط‌ها را به‌عنوان ابزاری برای مدیریت مقاومت رد می‌کند.

گروه‌بندی ترکیبات مختلف بدون مقاومت متقاطع پس از جستجوی گسترده اسناد علمی، مشاوره با کارشناسان مستقل و ترکیب تجربیات شرکت‌های دارای نماینده در IRAC پیشنهاد شدند. اصلاحات بعدی به دنبال یک برنامه تحقیقاتی تحت حمایت IRAC در دانشگاه کرنل آمریکا و پس از به بازار آمدن محصولات کنه‌کش مهارکننده انتقال الکترون در میتوکنندری (METI)

انجام شد.

اصول راهنمایی مورد استفاده در رابطه با گروه‌بندی حشره‌کش‌ها عبارتند از:

- بیش از یک ترکیب از هر گروه، نباید در همان فصل در همان محصول استفاده شود.

- از هر ترکیب فقط در هر فصل باید یک بار در هر محصول استفاده شود. اگرچه ممکن است از مخلوط‌های کنه‌کش، از گروه‌های مختلف استفاده شود، اما استفاده از مخلوط حشره‌کش‌ها از همان گروه توصیه نمی‌شود.

این اصول نسبتاً ساده از طریق خدمات مشاوره، نشریات حشره‌کش‌ها و برچسب آنها بطور مؤثر اطلاع‌رسانی شده و در تعدادی از مناطق تولید میوه در اروپا به اجرا درآمد.

۴-۷- خلاصه مطالب

- جلوگیری از مقاومت بهتر از درمان آن است.
- استراتژی‌های مدیریت مقاومت باید قبل از شروع برنامه‌های کنترل تدوین شوند.
- سمپاشی گونه هدف با دوز "صحیح" انجام پذیرد.
- از هر دو روش شیمیایی و غیر شیمیایی برای کنترل استفاده کنید.
- در صورت بروز مقاومت، اقدامات فوری برای مهار آن و کاهش فشار انتخاب ایجاد شده توسط حشره‌کش انجام دهید.

۵- اقتصاد مدیریت مقاومت

۵-۱- اقتصاد کوتاه‌مدت

انتخاب مقرون‌به‌صرفه‌ترین راه‌حل کنترل ناقل، یک فرآیند ساده نیست، حتی اگر مدیریت مقاومت مورد توجه اصلی نباشد. هزینه حشره‌کش‌ها اغلب، صرف‌نظر از تاکتیک اتخاذ شده کنترل، بیشترین هزینه مربوط به یک برنامه کنترل ناقل را در برمی‌گیرد. به همین دلیل، ملاحظات حاکم بر انتخاب حشره‌کش بیشتر اقتصادی است تا بیولوژیکی.

دامنه گسترده قیمت حشره‌کش‌های مختلف به این فرآیند کمک نمی‌کند. به‌عنوان مثال، برخی از حشره‌کش‌های کاربامات می‌توانند تا ۱۵ برابر گرانتر از ددت، به ازای هر کیلوگرم باشند. با این حال، محاسبات هزینه باید عوامل بیشتری را، تا صرفاً هزینه هر کیلوگرم فرمولاسیون حشره‌کش، در نظر بگیرد. به‌عنوان مثال برای محاسبه نیاز حشره‌کش‌های یک برنامه سمپاشی ابقایی اماکن داخلی، لازم است میزان کاربرد، اندازه خانه، تعداد خانه‌ها، غلظت فرمولاسیون، پایداری اثر و دفعات سمپاشی‌های مورد نیاز در نظر گرفته شود. هزینه‌های کوتاه‌مدت با بهینه‌سازی استراتژی انتخاب حشره‌کش و کنترل، با استفاده از درک دقیق از موقعیت محلی، با توجه به اپیدمیولوژی بیماری، زیست‌شناسی و وفور ناقل، رفتار حشره‌کش روی سطوح محلی و از همه مهمتر وضعیت مقاومت جمعیت ناقل به حداقل می‌رسد.

با این وجود واقعیت باقی‌مانده آن است که هزینه یکی از مهمترین عوامل مؤثر در انتخاب حشره‌کش است، به‌ویژه هنگامی که تصمیمات در جایی اتخاذ شود که ارزیابی تصدی و عمل‌کرد مسئولین (و چرخه برنامه‌ریزی و بودجه) نسبتاً کوتاه‌مدت باشد. مزایای آینده‌نگر حفظ حساسیت جمعیت ناقل به دلیل ملاحظات فوری بودجه و تدارکاتی پیش روی مدیران برنامه‌های کنترل

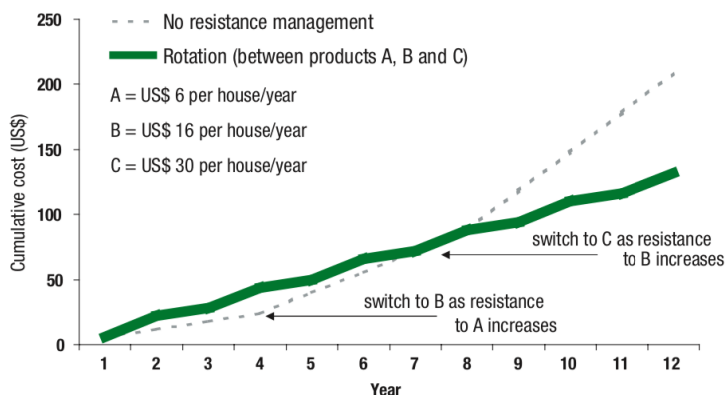
ناقل، به آسانی آشکار نمی‌شود. در شرایطی که عواقب انتخاب حشره‌کش‌های نامناسب بعید است که ظرف چند سال آشکار شود، رویکرد طولانی‌مدت در تصمیم‌گیری برای افزایش شانس موفقیت ضروری است.

۵-۲- اقتصاد اتخاذ استراتژی مدیریت مقاومت

برای مؤثر بودن، برنامه‌های مدیریت مقاومت باید منجر به کاهش استفاده حداقل یک ترکیب در کوتاه‌مدت شوند. بسته به شرایط و برنامه مدیریتی، تخمین زده شده است که با نصف کردن تعداد کاربردهای یک ترکیب یا شیمی معین (به‌عنوان مثال با کاهش منطقه تحت سمپاشی به نصف یا با نصف کردن تعداد دفعات سمپاشی در هر فصل)، عمر مؤثر آن ترکیب حداقل دو برابر خواهد شد. بدیهی است که این امر مستلزم استفاده از ترکیبات جایگزین، احتمالاً پرهزینه‌تر، برای حفظ سطح مورد نیاز کنترل حشرات است.

هرگونه مزیت بالقوه مالی کوتاه‌مدت ناشی از تکیه بر یک ترکیب یا شیمی واحد، به ناچار هنگامی که مقاومت الزام به جایگزین کردن با ترکیبات مقاومت شکن پرهزینه‌تر می‌کند، از بین می‌رود. این چرخه تا زمانی که تمام مواد شیمیایی مؤثر موجود از دست بروند ادامه خواهد یافت. اگرچه استراتژی چرخش ممکن است هزینه‌های فوری بالاتری داشته باشد، زیرا ترکیب‌های پرهزینه‌تر در مرحله اولیه در برنامه ادغام می‌شوند، چنین استراتژی برای مدت طولانی‌تری پایدار خواهد بود. هزینه‌های بلندمدت در نهایت پایین‌تر از زمانی است که هیچ استراتژی مدیریت مقاومت اتخاذ نمی‌شود، اثربخشی ترکیبات حفظ می‌شود و از پیامدهای گسترده مالی کنترل‌های مکرر ناموفق جلوگیری می‌شود. در واقع، هزینه هر حشره‌کش مورد استفاده علیه حشرات حساس امروز باید افزایش یابد تا هزینه‌های مرتبط با شکست آتی ناشی از

مقاومت را در بر بگیرد. مقایسه هزینه‌های برنامه با یا بدون مدیریت مقاومت در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. هزینه‌های برنامه فرضی با مدیریت مقاومت یا بدون آن

۵-۳- اقتصاد عدم موفقیت در مدیریت مقاومت

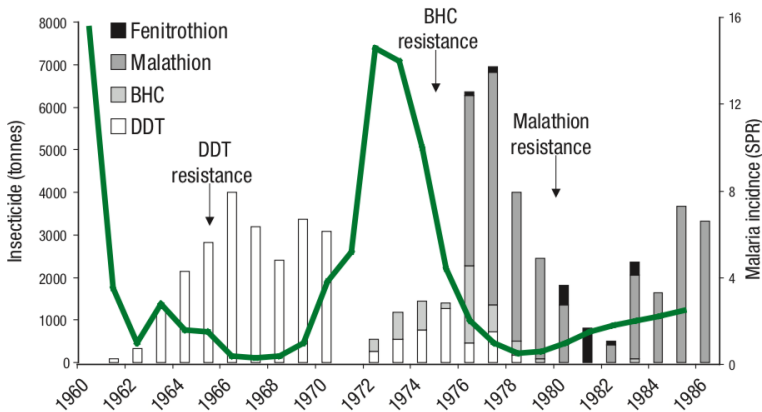
یکی از دلایل اصلی اجرای مدیریت مقاومت این است که مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها باعث کاهش کارایی کنترل حشرات می‌شود. پیامدهای اقتصادی عدم رسیدگی به این امر در بخش کشاورزی به آسانی مشاهده می‌شود، جایی که ارزش تجاری مواد غذایی محاسبات هزینه و فواید سرمایه‌گذاری را نسبتاً ساده می‌نماید. عواقب کاهش بازده یا افزایش هزینه‌های ناشی از عدم کنترل مؤثر حشرات مقاوم، فوری و آشکار است.

این امر به خوبی نشانگر عدم موفقیت صنعت پنبه در منطقه دره رود اردی استرالیا در افزایش مقاومت به ددت در *Helicoverpa armigera* در دهه ۱۹۷۰ است. در طی یک دوره ۴ ساله هزینه برنامه‌های حشره‌کشی برای کنترل این آفت بیش از ۳ برابر افزایش یافت. در نتیجه، تولید پنبه از نظر

اقتصادی قابل دوام نبود و رها شد. جالب اینجاست که فروپاشی صنعت و اثرات مخرب بر اقتصاد محلی متعاقباً تأثیر عمده‌ای در اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های مدیریت مقاومت در برابر پیرتروئیدها در صنعت پنبه استرالیا در دهه ۱۹۸۰ شد - این برنامه‌ها به میزان قابل توجهی در گسترش صنعت در این دوره زمانی کمک نمود.

همزمان با تجربه استرالیا، وضعیت کاملاً متفاوتی در صنعت پنبه تایلند به وجود آمد. برنامه‌ای برای کنترل مقاومت در برابر پیرتروئیدها در *Helicoverpa armigera* به طور مؤثر اجرا نشد و تولیدکنندگان مجبور شدند تولید پنبه را در زمانی که بازار با افزایش تقاضا روبرو بود رها نموده و صنعت پنبه کشور سقوط نماید. رویدادهای مشابه دیگر در مکزیک و تگزاس ایالات متحده رخ داده است.

شرایط مشابهی در بهداشت نیز رخ داده است. به عنوان مثال ددت به صورت چشمگیری در کنترل انتقال مالاریا توسط آنوفل استیفنسی در پاکستان در اوایل دهه ۱۹۶۰ موفق بود. اگرچه مقاومت در طی ۵ سال مشاهده شد، استفاده تنها از این محصول ادامه یافت و در نتیجه کشور شاهد افزایش ۵ برابر انتقال مالاریا در طی ۵ سال آینده (شکل ۴) شد. به همین ترتیب، بازخیز مالاریا را در هند، در دهه ۱۹۷۰ را نیز می‌توان به مقاومت حشره‌کش در ناقلین نسبت داد.



شکل ۴. انواع و مقادیر حشره‌کش‌ها که سالانه برای کنترل ناقل مالاریا در پاکستان استفاده می‌شود

عواقب اقتصادی عدم کنترل مؤثر حشرات ناقل بیماری به آشکاری عواقب اقتصادی در بخش کشاورزی نیست و ممکن است این عواقب بسیار شدیدتر باشد. بیماری‌های منتقله توسط حشرات می‌توانند هم در سطح شخصی (داروها) و هم در خدمات عمومی (خدمات بالینی) و همچنین هزینه‌های غیرمستقیم از نظر ضرر تولید، تحصیلات از دست رفته، غیبت و غیره، بار اقتصادی غیرمستقیمی داشته باشند. هرچند تعیین میزان این ضررها نسبت به ضررهای محسوس (مانند کاهش بازده در کشاورزی) سخت‌تر است ولی باید در هنگام بررسی اقتصاد مدیریت مقاومت ناقل مورد توجه قرار گیرد.

۵-۴- عواقب طولانی‌مدت عدم پرداختن به مقاومت

رویکردهای واکنشی برای مدیریت مقاومت متأسفانه به‌ویژه در برنامه‌های کنترل ناقلین متداول هستند (شکل ۳ را ببینید). چنین رویکردهایی در

سال‌های اولیه حشره‌کش‌های شیمیایی امکان‌پذیر بود، اما اکنون دیگر پایدار نیستند و در نهایت می‌توانند به عدم وجود کامل حشره‌کش‌های مؤثر منجر شوند. حشره‌کش‌های مؤثر باید به‌عنوان یک منبع اقتصادی با ارزش و تجدید ناپذیر در نظر گرفته شوند که باید حفظ شوند - همانطور که حساسیت به حشره‌کش‌ها باید حفظ شود.

حشره‌کش‌های جدید، با نحوه‌های اثر لازم برای کنترل جمعیت‌های مقاوم در برابر ناقلین، در چشم‌انداز نیستند. اگرچه حشره‌کش‌ها با شیوه‌های جدید اثر اخیراً در بازارهای کشاورزی معرفی شده‌اند، اما به نظر می‌رسد تعداد کمی از این ترکیبات جدید خاصیت بیولوژیکی یا فیزیکی مورد نیاز مه‌پاشی، سمپاشی ابقایی اماکن و یا آغشته کردن پشه‌بند را داشته باشند. علاوه بر این، افزایش هزینه‌های مرتبط با دستیابی و ثبت حشره‌کش‌های جدید بدان معنی است که محصولات به طور کلی و قبل از آنکه پتانسیل آن‌ها برای بهداشت مورد توجه قرار گیرد وارد بازارهای سودآورتر کشاورزی می‌شوند.

۵-۵- خلاصه مطالب

- حساسیت حشرات و حشره‌کش‌های مؤثر، هر دو منابع با ارزش اقتصادی و تجدید ناپذیر هستند که باید حفظ شوند.
- هزینه‌های آتی از دست دادن حساسیت حشرات باید در هنگام انتخاب محصولات موردنظر قرار گیرند.
- عدم موفقیت در مدیریت مقاومت، پیامدهای مالی کاملاً مستند در هر دو بخش کشاورزی و ناقلین دارد.
- مدیریت موفقیت‌آمیز مقاومت بستگی به رویکردهای بلندمدت برای برنامه‌ریزی و بودجه دارد.

۶- پایش و تشخیص مقاومت برای کنترل پشه

۶-۱- اهداف پایش

پایش کردن سطح مقاومت ابزاری اساسی برای گرفتن تصمیمی است که می‌توان قبل از اینکه کنترل حشرات ناموفق شود و خطر انتقال بیماری افزایش یابد، حشره‌کش و کلاس آن را به نفع دیگری تغییر داد. تغییر استراتژی ممکن است نه تنها یک تغییر حشره‌کش، بلکه تغییر از مبارزه با بالغ به لارو کشی و یا اجرای سایر استراتژی‌ها باشد. پایش همچنین باید ارزیابی مقاومت متقاطع را شامل شود زیرا تغییر از یک حشره‌کش ناموفق به حشره‌کش دیگری که با حشره‌کش اولیه مقاومت متقاطع دارد اتلاف وقت و هزینه است. پایش مقاومت به حشره‌کش در برنامه‌های کنترل ناقل سه هدف مهم است:

- تهیه خط مبدأ قبل از شروع یک برنامه کنترل، و برای برنامه‌ریزی و انتخاب حشره‌کش.
- مقاومت را در مراحل اولیه تشخیص دهید تا بتوان مدیریت مقاومت را اجرا نمود. اگر مقاومت دیر و هنگامی تشخیص داده شود که کنترل ناموفق بوده است، در آن صورت فقط صورت مسئله تعریف شده نه یک استراتژی برای مدیریت.
- پایش سطح مقاومت در طول زمان و مقایسه داده‌ها با داده‌های پایه قبل از مداخله، اثرات عملیات کنترل بر مقاومت را مشخص می‌نماید.

مشکل اصلی مرتبط با بروز مقاومت عدم موفقیت در کنترل حشرات ناقل و بنابراین عدم پیشگیری از انتقال بیماری است. پایش امکان تغییر استراتژی

را فراهم می‌کند، اما در بعضی موارد مانند پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش، گزینه جایگزین وجود ندارد. خوشبختانه نشان داده شده است که با وجود فراوانی بالای پشه‌های مقاوم به پیرتروئید، هنوز هم می‌توان با استفاده از این پشه‌بندها بطور مؤثر از انتقال مالاریا پیشگیری نمود.

در حالی که پایش و ارزیابی دقیق از سطح حساسیت جمعیت ناقل برای هر برنامه اساسی است، دلایل متعددی غیر از مقاومت وجود دارد که باعث شکست برنامه کنترل شود. در بسیاری از موارد روش نامناسب سمپاشی، سمپاشی کمتر از دوز لازم، سمپاشی در زمان نامناسب روز (مه پاشی) می‌توانند باعث عدم موفقیت کنترل شوند. این موارد باید ابتدا از بین بروند. مقاومت می‌تواند بسیار موضعی باشد، بنابراین قبل از اینکه واکنش شدیدی نسبت به کشف مقاومت ایجاد شود، ابتدا توزیع آن باید مشخص شود. پایش و کشف مقاومت دارای ارزش اندکی است مگر اینکه یک استراتژی مدیریتی تعریف شده باشد و یک برنامه عملیاتی برای واکنش به آن تدوین شده باشد.

۶-۲- روش‌های پایش

۶-۲-۱- کیت سازمان جهانی بهداشت - پشه‌های بالغ

اساس این آزمایش در معرض قرار دادن پشه‌ها برای مدت معین در یک لوله پلاستیکی مخصوص که سطح درونیش با کاغذ صافی آغشته به غلظت استاندارد حشره‌کش پوشیده شده است. میزان دوز روی کاغذ (غلظت تشخیصی) ۲ برابر دوز کشنده (برای جلوگیری از گزارش‌های نادرست مقاومت در عرصه هنگامی که چنین مقاومتی وجود ندارد) مورد نیاز برای از بین بردن ۱۰۰٪ از پشه‌های ماده حساس است. این کیت یک روش تست ساده برای استفاده دارد که در آزمایشگاه و یا عرصه برای تشخیص مقاومت

در پشه‌های بالغ استفاده می‌شود.

کیت و کاغذهای آغشته با دستورالعمل کامل در مورد استفاده از آنها را می‌توان به راحتی خریداری کرد. جزئیات عرضه‌کننده را می‌توان روی سایت سازمان جهانی بهداشت^۹ یافت.

طیف وسیعی از کاغذهای آغشته شده در دسترس است و میزان دوز تشخیصی باید حداقل ۹۸ درصد مرگ‌ومیر را در یک جمعیت حساس به همراه داشته باشد. پشه‌های بالغ مورد استفاده باید ترجیحاً ۲ تا ۵ روز سن داشته و نسل اول به دست آمده از لاروهای جمع‌آوری شده از عرصه باشند، و یا به عنوان آخرین انتخاب پشه‌هایی که مستقیماً از عرصه جمع‌آوری شده باشند. استفاده از پشه‌های نسل اول از لاروهای جمع‌آوری شده از عرصه بهتر است زیرا واریانس مرتبط با وضعیت فیزیولوژیک آنها (سن، وضعیت تغذیه خون یا مرحله چرخه گونوتروفیک) را از بین می‌برد.

پشه‌ها به مدت ۱ ساعت در معرض کاغذ آغشته قرار می‌گیرند و سپس به لوله‌های نگهداری منتقل شده و تعداد مرده‌ها پس از ۲۴ ساعت بررسی می‌شود. کاغذهای استاندارد نتایجی را ارائه می‌دهند، که به شرح زیر تفسیر می‌شوند^{۱۰}:

^۹ <https://www.inreskit.usm.my>

^{۱۰} مترجمین: توجه داشته باشید که در دستورالعمل تست پشه‌ها در سال ۲۰۱۶، تغییراتی در زمان تماس و زمان نگهداری و نیز تفسیر نتایج داده شده است. به عنوان نمونه زمان تماس نگهداری طولانی تر برای حشره‌کشهای دارای اثر کشندگی کندتر در نظر گرفته شده است. همچنین در تفسیر نتایج تست، مرگ و میر کمتر از ۹۰٪ به مفهوم مقاومت و مرگ و میر بین ۹۰ تا ۹۸٪ به معنی مقاومتی که باید تأیید شود در نظر گرفته شده است. در هر صورت چنانچه مرگ و میر بین ۹۰ تا ۹۸٪ باشد باید دو بار تست به روشهای مندرج در دستورالعمل مربوطه تکرار تا وضعیت مقاومت تعیین تکلیف شود. برای مطالعه بیشتر به رفرنس ذیل مراجعه فرمایید:

- بیش از ۹۸ در صد مرده=حساس
 - مرگ‌ومیر بیش از ۸۰٪ و کمتر از ۹۸٪=مشکوک به مقاومت ولی تأیید آن لازم است
 - مرگ‌ومیر کمتر از ۸۰٪=تعدادی پشه مقاوم وجود دارد
- مثلاً وقتی مرگ‌ومیر کمتر از ۹۵٪ در یک تست با شرایط استاندارد و تعداد پشه بیشتر از ۱۰۰ عدد به دست آید، می‌توان قویاً مشکوک به مقاومت شد. توصیه می‌شود برای جزییات بیشتر روش‌های آزمایش به راهنمای سازمان جهانی بهداشت^{۱۱} مراجعه شود.
- برای حشره‌کش‌های جدید باید غلظت تشخیصی جدید مشخص شود. غلظت‌های تشخیصی توصیه شده سازمان جهانی بهداشت برای هر گروه از ناقلین (جدول ۲) به گونه‌ای انتخاب شده است که با مواجهه یک دوره زمانی استاندارد (معمولاً ۱ ساعت) و به دنبال آن ۲۴ ساعت نگهداری، می‌توان انتظار داشت که باعث ۱۰۰٪ مرگ‌ومیر افراد حساس شود. جزییات مربوط به تعیین غلظت تشخیصی در دستورالعمل سازمان جهانی بهداشت^{۱۲} آورده شده است.

¹¹ *Test procedures for insecticide resistance*
(WHO/CDS/CPC/MAL/98.12).

¹² *Guidelines for testing mosquito adulticides for indoor residual spraying and treatment of mosquito nets*
(WHO/CDS/NTD/WHOPES/GCDPP/2006.3).

جدول ۲: میزان دوز تشخیصی کاغذهای آغشته به حشره‌کش‌ها از سازمان جهانی بهداشت

Class	Insecticide	Anophelines	<i>Aedes aegypti</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i>
Organochlorines	DDT	4%	4% ^a	4% ^b
Organophosphates	Fenitrothion	1% ^c		1% ^d
	Malathion	5%	0.8%	5%
Carbamates	Bendiocarb	0.1%		
	Propoxur	0.1%	0.1%	0.1% ^e
Pyrethroids	Alpha-cypermethrin			
	Bifenthrin			
	Cyfluthrin	0.15%	0.025%	
	Deltamethrin	0.05%		
	Etofenprox	0.5%	0.03%	0.025%
	Lambda-cyhalothrin	0.05% ^e	0.25%	0.25%
	Permethrin	0.75%		
Control (blank) papers				
Control in risella oil				
Control in silicone oil				
Control in olive oil				

^a half an hour exposure^b 4-hour exposure^c 2-hour exposure for *Anopheles sacharovi*^d 0.1% for *Anopheles sacharovi*^e 2-hour exposure

غلظت‌های دیگر در صورت درخواست موجود است. لازم به ذکر است که کاغذهای آغشته کیت سازمان جهانی بهداشت برای بیشتر حشره‌کش‌ها ۱

سال عمر مفید دارند. این مدت برای پیرترویدها ۶ ماه است. توجه: کاغذها نباید چندین بار مورد استفاده قرار گیرند زیرا با هر بار تست حشره‌کش از روی سطح برداشته شده و با چند بار استفاده میزان حشره‌کش بسیار کمتر و در نتیجه مقاومت مثبت کاذب حاصل شود.

تفسیر نتایج

کیت سازمان جهانی بهداشت - پشه‌های بالغ

مرگ‌ومیر ۲۴ ساعته را برای هر آزمایش بخوانید و درصدهای آن را محاسبه کنید. اگر میزان مرگ‌ومیر در گروه‌های کنترل بیش از ۵٪ اما کمتر از ۲۰٪ باشد اصلاح مرگ‌ومیر با استفاده از فرمول Abbott انجام می‌شود:

$$\frac{(\text{درصد مرگ و میر شاهد} - \text{درصد مرگ و میر تست}) \times 100}{100 - (\text{درصد مرگ و میر شاهد})}$$

هنگامی که میزان مرگ‌ومیر در گروه کنترل بیش از ۲۰ درصد باشد، نتایج آزمایش دور انداخته می‌شوند. میانگین میزان مرگ‌ومیر در هر غلظت را در حداقل سه تکرار محاسبه کنید.

۶-۲-۲- کیت سازمان جهانی بهداشت - لاروکش‌ها (شیمیایی)

هدف این روش تعیین مقاومت در لارو پشه‌ها، بر اساس غلظت‌های تشخیصی که از خطوط دوز-پاسخ گونه‌های حساس به دست می‌آید است. این آزمایش ممکن است مقاومت در برابر حشره‌کش مورد استفاده را ارزیابی کند، اما همچنین می‌تواند برای تعیین وجود مقاومت متقاطع نیز مورد استفاده قرار گیرد.

جزئیات مربوط به روش آزمون را می‌توان در دستورالعمل سازمان جهانی

بهداشت^{۱۳} یافت. به طور خلاصه این تکنیک نیاز به آزمایش لاروهای سن ۳ و ۴ دارد که از عرصه جمع‌آوری شده‌اند. برای شروع کار از طیف وسیعی از غلظت‌ها استفاده می‌شود تا سطح تقریبی مشخص شود. سپس یک محدوده کوچکتر از ۴-۵ غلظت که منجر به مرگ ۱۰٪ و ۹۵٪ در ۲۴ یا ۴۸ ساعت می‌شود، برای تعیین مقادیر LC50 و LC90 استفاده می‌شود.

کیت سازمان جهانی بهداشت

این کیت با کلیه تجهیزات مورد نیاز از قبیل پیپت، بطری، فرم گزارش و گیره همراه است.

The range of insecticides available at present are:

Malathion	781.25 mg/l	156.25 mg/l	31.25 mg/l	6.25 mg/l
Temephos	156.25 mg/l	31.25 mg/l	6.25 mg/l	1.25 mg/l
Bromophos	31.25 mg/l	6.25 mg/l	1.25 mg/l	0.25 mg/l
Fenitrothion	31.25 mg/l	6.25 mg/l	1.25 mg/l	0.25 mg/l
Fenthion	31.25 mg/l	6.25 mg/l	1.25 mg/l	0.25 mg/l
Chlopyrifos	6.25 mg/l	1.25 mg/l	0.25 mg/l	0.05 mg/l

Control: alcohol only

The test kit stock solutions available do not include pyrethroids.

کیت سازمان جهانی بهداشت - لاروکش‌های تنظیم‌کننده رشد

آزمایشاتی که با تنظیم‌کننده‌های رشد انجام می‌شود متفاوت است زیرا مرگ‌ومیر ممکن است کندتر باشد یا تا مرحله شفیره اتفاق نیفتد. بنابراین میزان مرگ‌ومیر هر روز یا هر سه روز تا زمان تکمیل ظهور حشرات بالغ

¹³ Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides (WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.13).

ارزیابی می‌شود. نتیجه از نظر درصد لاروها که موفق به تبدیل به بالغ نمی‌شوند adult emergence inhibition بیان می‌گردد.

جزئیات مربوط به روش آزمایش را می‌توان در دستورالعمل سازمان جهانی بهداشت^{۱۴} یافت.

Methoprene	20 mg/l	4 mg/l	0.8 mg/l	0.16 mg/l	0.032 mg/l
Diflubenzuron	20 mg/l	4 mg/l	0.8 mg/l	0.16 mg/l	0.032 mg/l

Control: alcohol only

Note that there is no stock solution for pyriproxyfen.

لاروکش‌های باکتریایی

لاروکش‌های باکتریایی مانند Bti یا Bsph ممکن است در آزمایشگاه برای تعیین مقاومت و مطابق همان روشی که برای لاروکش‌های شیمیایی وجود دارد آزمایش شوند، به جز تفاوتی که در تهیه محلول مادر وجود دارد. جزئیات مربوط به روش آزمایش را می‌توان در راهنمای سازمان جهانی بهداشت^{۱۵} مشاهده نمود.

۶-۳- سایر روش‌های پایش

روش‌های آزمایش مبتنی بر سنجش‌های بیوشیمیایی یا مولکولی نیز هم اکنون برای پایش مقاومت در دسترس هستند. آنها چندین مزیت نسبت به بیواسی دارند: آنها می‌توانند مقاومت را در فرکانس بسیار کم تشخیص دهند؛ می‌توانند حضور افراد هتروزیگوت با ژن‌های مقاومت مغلوب را نشان دهند که از طریق بیواسی تشخیص داده نمی‌شوند؛ و سرانجام می‌توان از پشه‌های

¹⁴ Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides (WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.13).

¹⁵ Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. (WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.13).

بسیار کمتری نسبت به بیواسی استفاده نمود. این نکته آخر مورد توجه ویژه گونه‌هایی است که لاروها و حتی بالغ آنها معمولاً در تعداد زیادی مشاهده نمی‌شوند. این سنجش‌های بیوشیمیایی یا مولکولی وجود مکانیسم / ژن خاص مقاومت را تشخیص داده و برای برخی قادر به شناسایی ژنوتیپها (هتروزیگوت یا هموزیگوت برای مقاومت) هستند.

این سنجش‌ها یک مکمل ایده آل برای بیواسی هستند، و به‌ویژه برای پایش بر روند فرکانس ژن مقاومت در طول زمان. با این حال، آنها جایگزین بیواسی نیستند، به‌ویژه هنگامی که چندین مکانیسم مقاومت در یک حشره دخیل هستند. استفاده از آنها در حال حاضر به آزمایشگاه‌های تحقیقاتی محدود می‌شود زیرا کیت‌های تست مقاومت با استفاده از این روش‌های آزمایش هنوز ساخته نشده‌اند. توضیحات و روش‌های کامل را می‌توان راهنمای سازمان جهانی بهداشت^{۱۶} مشاهده کرد.

۶-۲-۴ - پشه‌بندها

پشه‌بند شاید به بزرگترین روش مداخله برای کنترل ناقلین مالاریا در چند سال گذشته تبدیل شده است. در حالی که فن‌آوری‌های فوق می‌توانند حساسیت پشه‌ها به حشره‌کش موجود در پشه‌بند را بررسی کنند، چندین روش آزمایش برای ارزیابی پشه‌بند وجود دارد، اما این‌ها باید به‌عنوان ارزیابی خود پشه‌بند در نظر گرفته شوند و نه به‌عنوان تست حساسیت. زیرا واریانس دوز واقعی حشره‌کش که در معرض پشه‌ها قرار دارند ممکن است بسیار زیاد باشد و نتایج حاصله نشانگر مقاومت نخواهد بود. باید دقت کرد که یک پشه‌بند با عملکرد ضعیف باعث نمی‌شود که بررسی کننده به طور خودکار

¹⁶ *Techniques to detect insecticide resistance mechanisms (field and laboratory manual)*. (WHO/CDS/CPC/MAL/98.6).

نتایج را به‌عنوان مقاومت در جمعیت پشه‌ها تفسیر کند.

۶-۳- انتخاب سایت‌های پایش مقاومت

یکی از چالش‌های پایش مقاومت، برقرار نمودن تعداد کافی پایگاه دیده‌ور است که در آنها به‌طور مداوم جمعیت هدف در طول سال‌های متمادی مورد بررسی قرار گیرند. در انتخاب این محل‌های جمع‌آوری نه تنها باید به‌وفور گونه‌های هدف بلکه سهولت دستیابی به این سایت‌ها و احتمال حفظ آنها برای چندین سال توجه شود. نقش حشره‌کش‌های کشاورزی در انتخاب مقاومت ناقلین به‌وضوح برای برخی از پشه‌های مهم ناقل مالاریا مشخص شده است. از این رو، اولویت باید، به‌ویژه در مورد ناقلین مالاریا، به مناطقی که حشره‌کش‌ها به شدت مورد استفاده قرار می‌گیرند، اعم از برای کشاورزی یا مصارف خانگی و یا هر دو، داده شود زیرا که در بسیاری از موارد، این حشره‌کش‌ها مشابه همان حشره‌کش‌هایی هستند که برای مبارزه با بیماری‌های ناقل زاد استفاده می‌شوند.

۷- مدیریت بلندمدت یک برنامه کنترل ناقل

۷-۱- تدوین یک برنامه بلندمدت بسیار مهم است

ابزاری که ما برای کنترل ناقل در اختیار داریم محدود است و در دسترس بودن مولکول‌های جدید که هیچ مقاومتی در برابر آنها وجود ندارد، در آینده نزدیک اندک خواهد بود. بنابراین هنگامی که مقاومت در برابر بیشتر حشره‌کش‌های کلیدی ایجاد شد، گزینه‌ها بسیار محدود می‌شوند. از این رو، استفاده بهینه از حشره‌کش‌ها برای هر برنامه پایدار و مؤثر کنترل ناقل اساسی است.

استراتژی فعلی در اکثر کشورها استفاده از حشره‌کش به طور مداوم تا زمان شکست آن است. نتیجه، از دست دادن مقرون به صرفه ترین ابزار و در نتیجه برنامه‌های پرهزینه‌تر و کم اثربخش‌تر در آینده خواهد بود. در عوض، کشورها باید برنامه‌هایی را بکار گیرند که از چندین ابزار استفاده می‌کنند (مدیریت تلفیقی ناقلین و آفات) و از طریق هیچ مداخله واحدی فشار زیاد برای انتخاب ایجاد نکنند. علاوه بر این، فقط تعداد معدودی از کشورها مرتباً میزان حساسیت را در جمعیت ناقل پایش می‌کنند و از این رو مطمئن نیستند که برنامه‌های آنها به همان اندازه که انتظار می‌رود مؤثر باشند.

۷-۲- کنترل کیفیت سمپاشی‌ها

در بسیاری از موارد، مقاومت را به عنوان مقصر در شکست کنترل ناقل می‌گمارند، حال آنکه دلایل زیادی برای این شکست ممکن است وجود داشته باشد که برخی از آنها در زیر ذکر شده است:

الف) سمپاشی نامناسب

- عدم آموزش پرسنل سمپاش

- نگهداری نامناسب سمپاش
- کالیبراسیون نادرست سمپاش
- عدم رعایت توصیه‌های تولیدکنندگان
- سمپاشی نادرست
- سمپاشی در زمان نامناسب

ب) پوشش ناکافی

- پذیرش محدود استراتژی کنترل توسط مردم (پشه‌بندهای آغشته به سم، مه پاشی، سمپاشی ابقایی اماکن)
- عدم دستیابی و سمپاشی کلیه مناطق زیستگاه‌های لاروی در برنامه‌های لاروکشی

- بررسی ناکافی برای شناسایی مناطق اصلی پرورش قبل از سمپاشی
- #### ج) رقت و یا میزان کاربرد نادرست

- عدم رقیق‌سازی صحیح حشره‌کش، طبق توصیه‌های برچسب، توسط کارگران سمپاش متداول است.
- عدم سمپاشی حجم صحیح حشره‌کش در هر هکتار در مورد مه پاشی و یا حجم صحیح در هر متر مربع در مورد سمپاشی ابقایی.

د) دفعات نادرست سمپاشی

- عدم هماهنگی سمپاشی‌های ابقایی با فصل انتقال.
- مه پاشی با اوج فعالیت ناقل همزمان نیست.

نکات فوق را قبل از در نظر گرفتن احتمال مقاومت به حشره‌کش باید بررسی کرد. علاوه بر این، سمپاشی نامناسب، مانند سمپاشی در زیر دوز لازم، سرعت بروز مقاومت را تسریع می‌کند زیرا جمعیت ناقل در معرض انتخاب دوزهای زیر کشنده حشره‌کش‌ها قرار می‌گیرند، از این رو تمام نکات فوق در تأخیر در مقاومت بسیار مهم هستند.

۷-۳- وقتی مشکوک به مقاومت هستید چه باید کرد

سؤال اول این است: "چرا مقاومت مشکوک است؟"

دلایل مختلفی وجود دارد:

- کاهش سطح حساسیت هنگام پایش تشخیص داده شد
- شکایت کاربران محلی
- میزان انتقال بیماری در حال افزایش است
- جمعیت بالای ناقلین در مناطق سمپاشی شده و شواهدی از پرورش وجود دارد

در بسیاری از موارد، شکست کنترل ممکن است به دلایل دیگری غیر از مقاومت، یا خود حشره‌کش باشد. بنابراین سوءظن مقاومت باید با استفاده از سنجش‌های زیستی یا سنجش‌های بیوشیمیایی تأیید شود. بررسی منطقه باید انجام شود و پشه‌ها جمع‌آوری و آزمایش شوند. اگر مقاومت تأیید شود، بررسی باید گسترش یابد تا وسعت مشکل مشخص شود.

۷-۴- در صورت تأیید مقاومت چه باید کرد

قبل از تصمیم‌گیری در مورد هر اقدامی چندین نکته وجود دارد که باید در نظر گرفته شود و این موارد به شرح زیر است:

الف) مقاومت تا چه حد گسترده است؟

مقاومت می‌تواند بسیار موضعی باشد و بنابراین تصمیماتی که لازم نیست ممکن است زود هنگام گرفته شوند. باید بررسی‌ها انجام شود تا گستردگی مقاومت تعیین شود. سپس باید نقشه‌ای برای دیدن منطقه مشکل ترسیم شود تا مداخلات مطابق آن منطقه تدوین شوند.

ب) کدام گونه مقاوم است؟

بسیار نادر است که مقاومت در همه گونه‌های منطقه بروز نماید و ممکن

است فقط یک گونه درگیر باشد. آیا گونه مقاوم یک ناقل مهم است؟ در غیر اینصورت ممکن است مشکلی پیش نیاید. علاوه بر این، زیرگونه‌ها می‌توانند خطرات متفاوتی در بروز مقاومت داشته باشند. این به طور واضح در هند و آفریقا مشخص شده است، که در آنجا برخی از گونه‌های سیلینگ ناقل مالاریا مقاوم به پیرتروئید شده‌اند حال آنکه زیرگونه‌های دارای قرابت زیاد مقاوم نشده‌اند.

(ج) میزان مقاومت و تأثیر آن بر مداخله چقدر است؟

آیا مقاومت باعث شکست کنترل می‌شود و اگر چنین است، اقدام فوری ضروری است؟ اگر اینگونه نباشد، ممکن است برنامه فعلی در کوتاه‌مدت با پایش مداوم ادامه یابد تا مشخص شود آیا سطح مقاومت افزایش می‌یابد، تا بتوان یک استراتژی مدیریت تدوین کرد. در بالا ذکر شد که مکانیسم‌های مهم مقاومت به پیرتروئیدها در ناقلین مالاریا باعث کاهش اثربخشی محافظت پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش نشده است. اگرچه ممکن است تغییر زودرس به حشره‌کش یا روش جایگزین مطلوب باشد، اما وقتی چنین جایگزینی وجود نداشته باشد یا در دسترس محلی نباشد، این کار همیشه ممکن نیست. در مورد پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش در حال حاضر به غیر از پیرتروئیدها هیچ‌گونه جایگزینی وجود ندارد.

بنابراین یک استراتژی جایگزین وجود ندارد. با این حال نشان داده شده است که پشه‌بندهای آغشته به پیرتروئیدها حتی در صورت وجود مقاومت همچنان تا حدودی باعث محافظت می‌شوند. اقدام ممکن در این شرایط انجام لاروکشی با یک ترکیب کاملاً متفاوت است، به‌عنوان مثال یک لاروکش باکتریال و یا تنظیم‌کننده رشد حشرات.

(د) مکانیسم (های) مسئول مقاومت و سطح مقاومت گونه‌های هدف را مشخص کنید.

تعویض حشره‌کش‌ها در همان گروه نحوه اثر هیچ فایده‌ای ندارد؛ حشرات هدف در بیشتر موارد مقاومت متقاطع خواهند داشت. علاوه بر این باید توجه داشت که ترکیب مورد استفاده مکانیسمی را انتخاب نکرده باشد که باعث مقاومت متقاطع به یک گروه حشره‌کش دیگر شود. شناسایی کلیه مکانیسم‌های مقاومت درگیر نشان می‌دهد که از کدام ترکیبات جایگزین باید استفاده شود. به شکل ۱ مراجعه کنید تا ببینید مقاومت متقاطع در بین کدام گروه‌های حشره‌کش و مکانیسم‌های مقاومت وجود دارد. حساسیت به این حشره‌کش‌های جایگزین نیز باید قبل از تغییر آنها بررسی شود.

ه) منشأ مقاومت و منبع فشار حشره‌کش را مشخص کنید

این مهم است که بدانیم چرا مقاومت در جمعیت حشرات به وجود آمده است. ممکن است طی سال‌ها استفاده مکرر از همان نوع حشره‌کش باشد و یا ممکن است این فشار انتخاب از استفاده حشره‌کش‌های مشابه در کشاورزی در این منطقه باشد. حتی ممکن است این مقاومت در اثر استفاده زیاد از محصولات آفت‌کش‌های خانگی باشد.

مهم است که علت را شناسایی کنیم تا در استراتژی‌های آینده، مشکلات را در نظر گرفته، و سعی شود از استفاده از حشره‌کش‌های مشابه در کشاورزی و غیره خودداری شود.

علاوه بر این، ادارات مبارزه با ناقلین باید همکاری نزدیک با بخش کشاورزی داشته باشند تا از این گونه مشکلات جلوگیری کنند.

۸- داستان‌های موفق در مدیریت مقاومت

پتانسیل مدیریت مقاومت سال‌هاست که مدل‌سازی شده است، اما تعداد محدودی داده‌های مبتنی بر مطالعات میدانی برای اثبات هر یک از استراتژی‌های مختلف برای کنترل مقاومت در حشرات ناقل بیماری وجود دارد.

۸-۱- برنامه کنترل آنکوسرکیازیس در غرب آفریقا

در غرب آفریقا، برنامه کنترل آنکوسرکیازیس که توسط سازمان جهانی بهداشت اداره می‌شد تقریباً کاملاً مبتنی بر کنترل ناقل و از طریق لاروکشی هفتگی در رودخانه‌ها، برای از بین بردن لاروهای blackfly ناقل بود. لاروکشی مداوم هفتگی، حداقل برای ۱۵ سال، در بیش از ۸ کشور حفظ شد و در نتیجه این عمل فشار انتخابی بسیار بالایی را بر روی جمعیت ناقل وارد نمود. این برنامه با سرعت با مشکل بسیار جدی مقاومت به لاروکش تمفوس روبرو شد (تمفوس تنها لاروکشی بود که در اوایل برنامه استفاده شد). برنامه پایش مقاومت را تقویت نمودند و یک برنامه مدیریت مقاومت بسیار کارآمد تدوین شد. در این برنامه، به جای استفاده مداوم از یک لاروکش اورگانوفسفات به‌صورت تنها، یک چرخش از پیش برنامه‌ریزی شده از حشره‌کش‌های غیرمرتبط، با استفاده مجدد ولی برای مدت محدود از اورگانوفسفات به همراه یک لاروکش میکروبی (*Bacillus thuringiensis israelensis*)، یک پیرتروئید و یک حشره‌کش کاربامات استفاده شد. لاروکش‌های میکروبی و شیمیایی براساس وضعیت مقاومت و روند آن، پویایی جمعیت ناقل، تأثیر بر محیط‌زیست، هزینه و فاکتورهای تدارکاتی به‌صورت استراتژیک استفاده شدند.

این استراتژی در طی ۱۷ سال اجرای خود بسیار موفقیت‌آمیز بوده است: مقاومت در برابر تمفوس، پایین آمد، تا جایی که می‌توانستند دوباره آن را در طرح چرخش وارد نمایند، و هرگز در مناطقی که قبلاً مقاومت به آن وجود نداشت بروز ننمود. هیچ مقاومتی نسبت به سایر حشره‌کش‌های مورد استفاده نیز ایجاد نشد. استفاده گسترده از لاروکش میکروبی Bti به دلیل داشتن و کاربرد همزمان چندین توکسین، امکان مدیریت مقاومت موفق را با استفاده از لارو کشی مداوم هفتگی، بدون تأثیر محسوس میان- و یا طولانی‌مدت در تعادل بیولوژیکی رودخانه‌های تحت سمپاشی فراهم آورد.

۸-۲- کارآزمایی آنوفل آلبیمانوس در مکزیک

۸-۲-۱- زمینه و اهداف

مدل‌های مدیریت مقاومت، بسته به فرضیات ارائه شده به نتایج متفاوتی می‌رسند، اگرچه آنها نشان دادند که با تاکتیک‌های مدیریت که در این کتاب در گذشته توضیح داده شده انتخاب مقاومت کند شده است اما کاملاً متوقف نشده است.

برای بررسی مستقیم استراتژی‌های موزائیک و چرخشی و مقایسه نتایج آن‌ها با استفاده درازمدت از یک حشره‌کش واحد در شرایط صحرایی، یک برنامه در مقیاس بزرگ برای چندین سال در مکزیک برپا شد که با حمایت کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش‌ها و تحت نظارت سازمان جهانی بهداشت به اجرا در آمد. مکزیک به‌عنوان منطقه مورد مطالعه صحرایی انتخاب شد زیرا آنوفل آلبیمانوس دارای سابقه مقاومت شدید به حشره‌کش‌ها از طریق سمپاشی گیاه پنبه در دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ بود. این منجر به انتخاب مکانیسم‌های مقاومت چندگانه در این ناقل شده بود. برنامه‌ای در

سال ۱۹۹۵ برای پایش دقیق سطح مقاومت پایه به مدت یک سال و سپس چندین منطقه مشابه برای سمپاشی حشره‌کش واحد (یک پیرتروئید یا ددت)؛ چرخش سالانه ارگانوفسفات، پیرتروئید، کاربامات، پیرتروئید، ارگانوفسفات و غیره؛ و یا استراتژی موزائیک در داخل یک روستا با سمپاشی ارگانوفسفات و یک پیرتروئید انتخاب شدند. این تحقیق اجازه میداد تا به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

- هنگامی که فشار انتخاب ددت از فعالیت‌های برنامه مبارزه برداشته شود، حساسیت به آن چقدر سریع برمی‌گردد؟
- هنگامی که از پیرتروئید به طور مداوم برای کنترل مالاریا استفاده می‌شود، مقاومت در برابر آن چقدر سریع به وجود می‌آید؟
- آیا میزان انتخاب مقاومت به پیرتروئید در مناطق چرخشی و موزائیک در مقایسه با مناطق استفاده واحد از آن کاهش می‌یابد؟
- آیا استراتژی‌های چرخش و موزائیک در سطح عملیاتی قابل قبول هستند؟
- آیا استراتژی‌های چرخش یا موزائیک مفیدتر هستند؟

۸-۲-۲- نتایج حاصل از کارآزمایی

پایش اولیه نشان داد که مقاومت در برابر ارگانوفسفاتها، کارباماتها و پیرتروئیدها در فرکانس پایین در جمعیت صحرایی آنوفل آلبیمانوس وجود دارد. استفاده از تکنیک‌های مختلف پایش (بیواسی، سنجش‌های بیوشیمیایی و مولکولی) نشان داد که، همانطور که انتظار می‌رود، حساسیت تست بیواسی سازمان جهانی بهداشت هنگامی که ژن‌های مقاومت در فرکانس پایین و یا بسیار کم در جمعیت هستند، بسیار کم است.

از نظر عملیاتی، اجرای هر دو استراتژی چرخش یا موزائیک هیچ مشکل

اساسی ایجاد نکرد. قابل قبول بودن سمپاشی حشره‌کش‌های مختلف توسط خانه‌وارها برای همه آن‌ها مشابه بود. این امر با در نظر گرفتن میزان پوشش سمپاشی و یا به طور مستقیم توسط پرسشنامه‌هایی که در ابتدا و انتها از خانه‌وارها تهیه شده بود مشخص می‌شد.

مقاومت به پیرتروئید در مناطقی که فقط تحت سمپاشی با این حشره‌کش قرار داشت به سرعت و به میزان قابل توجهی بالاتر از مناطق تحت پوشش چرخش و یا موزائیک افزایش یافت. با این وجود، در همه مناطق، افزایش مقاومت به پیرتروئید مشاهده شد. داده‌ها واریانس بالایی داشت که احتمالاً به دلیل تأثیر استفاده از پیرتروئید در محصولات کشت موز محلی بوده است که اثرات مفید استراتژی‌های چرخش و یا موزائیک را کم رنگ ولی منتفی نکرده است.

حساسیت به ددت در طول دوره مداخله شش ساله این آزمون صحرایی برنگشت و مقاومت در مناطق زیرپوشش ددت پایدار بود. از این رو، مانند سریلانکا، به نظر می‌رسد که این مقاومت تا سطحی انتخاب شده است که دیگر سازش منفی با آن نداشته باشد. در طی یک دوره زمانی شش ساله مداخله با تیمارهای مختلف، تفاوت عمده‌ای در عملکرد راهبردهای موزائیک و چرخش وجود ندارد. از این رو می‌توان در مورد اینکه از کدامین استراتژی در عمل استفاده نمود، بر اساس عوامل اجرایی تصمیم‌گیری کرد.

سنجش‌های بیوشیمیایی و مولکولی برای تشخیص مقاومت، اندازه‌گیری دقیق‌تری از فرکانس‌های ژن مقاومت در جمعیت صحرایی نسبت به بیواسی سنتی نشان داد. بیواسی‌های تشخیصی سازمان جهانی بهداشت (با استفاده از یک دوز واحد قوی برای تشخیص مقاومت در بیواسی)، اگرچه ساده‌ترین سیستم برای بررسی مقاومت است تصور می‌شود مقاومت را وقتی که در یک جمعیت مستقر می‌شود نشان بدهد، ولی مشکل مقاومت را کمتر از واقعیت

نشان می‌دهد.

در طول مدت مداخله، بیش از ۸۰٪ از پشه‌های حساس در تمام سطوح سمپاشی شده با تمام حشره‌کش‌ها کشته شدند.

۸-۳- خلاصه مطالب

- مدیریت مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها در ناقلین از اصولی که در سایر بخش‌ها تهیه شده پیروی می‌کند با ارزشی که چرخش حشره‌کش‌ها و یا استفاده به‌صورت موزائیک ایجاد می‌کنند.
- استفاده به‌صورت چرخش و یا موزائیک حشره‌کش‌های غیرمرتبط (نحوه اثر متفاوت) در مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها نسبت به استفاده مداوم از یک حشره‌کش تنها، مؤثرتر بوده است.
- دو کارآزمایی نشان می‌دهد که استراتژی چرخش هم از نظر فنی و هم از نظر عملیاتی برای کنترل مقاومت در برنامه‌های مدیریت ناقل قابل قبول است.

۹- نیازهای آینده و راه پیش رو

۹-۱- محافظت از ابزارهای فعلی

تقریباً تمام حشره‌کش‌ها که برای بهداشت استفاده می‌شوند، برای کشاورزی ساخته شده‌اند و برای این منظور استفاده می‌شوند. ساختن مولکول‌های جدید یک فرآیند به طور فزاینده پیچیده، طولانی و پرهزینه است که تولید آن انحصاراً برای کنترل ناقلین قابل توجه نیست، که در حال حاضر کمتر از ۱٪ از کل بازار آفت‌کش‌ها را تشکیل می‌دهد. در طول ۲۰ سال گذشته، تعداد کمی از حشره‌کش‌های جدید برای سمپاشی ابقایی اماکن داخلی تولید شده‌اند. همه این‌ها عمدتاً پیرتروئید هستند. علاوه بر این، به دلیل رویه‌های جدید ثبت مجدد و محدودیت‌های زیست‌محیطی، تعدادی از حشره‌کش‌ها به زودی توسط صنعت از بازار خارج شده و ممکن است به زودی بخش بهداشت با افزایش اتکا به تعداد محدودی حشره‌کش روبرو شود. چشم‌انداز دسترسی به حشره‌کش‌های جدید بهداشتی در سال‌های آینده بسیار محدود به نظر می‌رسد. بنابراین ضروری است که با ارتقاء اصول مدیریت تلفیقی ناقلین و آفات و با استفاده از مواد شیمیایی فقط در مواقع و جایی که واقعاً مورد نیاز هستند، اتکا به حشره‌کش‌ها را تا حد امکان کاهش داد. این امر به‌ویژه در مدیریت بیماری‌هایی مانند مالاریا و دانگ که کنترل شیمیایی یک جزء مهم مبارزه با ناقل است، صادق می‌باشد. این بیماری‌های ناقل زاد از نظر جهانی بسیار مهم هستند و ترویج روش‌ها و راهکارهای لازم برای جلوگیری از پیشرفت مقاومت یا محدود کردن افزایش و گسترش جغرافیایی پس از بروز آن، بسیار مهم است.

۹-۲- نیاز به درک خوب از مقاومت

مقاومت ناقل را تنها با پایش دقیق جمعیت ناقل در عرصه می‌توان فهمید و نهایتاً مدیریت نمود. عوامل مرتبط با ناقل برای درک ظهور، تکامل و گسترش مقاومت ضروری است. از جمله این عوامل می‌توان به پویایی جمعیت ناقل (اندازه، رشد، انزوا ...) و انتقال ژن‌های مقاومت در بین گونه‌های سیبیلینگ که معمولاً در ناقلین بیماری (به‌عنوان مثال ناقلین مالاریا) یافت می‌شوند اشاره کرد. پس از شناسایی مقاومت، لازم است مدیران برنامه اهمیت اجرایی آن (تأثیر بر اثربخشی مداخلات مداوم یا برنامه‌ریزی شده) را درک کنند. نیاز به شناسایی منشأ مقاومت نیز مهم است زیرا این امر می‌تواند ناشی از سمپاشی در غیر از بهداشت باشد (به‌عنوان مثال در کشاورزی یا کنترل آفات خانگی). مدیریت مقاومت حشره‌کشی که در نتیجه کاربرد آن در کشاورزی است بدون همکاری نزدیک و مؤثر بین دو بخش امکان‌پذیر نیست.

۹-۳- یادآوری اصول اساسی مدیریت مقاومت

- حشره‌کش‌ها را باید فقط در زمان و مکانی لازم است و هیچ مداخله کنترل مؤثر دیگری وجود ندارد استفاده کرد.
- حشره‌کش‌ها باید در دوز توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت و توسط تولیدکنندگان استفاده شوند (دستورالعمل برچسب) و از استفاده از دوزهای بالاتر که پرهزینه‌تر و بالقوه خطرناک هستند، و همچنین از دوزهای کم که به اندازه کافی کارآمد نیستند و می‌توانند باعث پیشرفت روند مقاومت شوند، پرهیز گردد.
- حشره‌کش‌های هم گروه شیمیایی که نحوه و محل اثر مشابهی

دارند، از نظر مقاومت، به‌عنوان یک محصول واحد در نظر گرفته می‌شوند.

- باید از استفاده از یک کلاس شیمیایی در هر دو مرحله لارو و بالغ پرهیز شود.
- استفاده ترکیبی از حشره‌کش‌های غیرمرتبط (به‌عنوان مثال در چرخش) باید بر استفاده مداوم از یک حشره‌کش واحد برای دوره‌های طولانی ترجیح داده شود.
- پس از شناسایی مقاومت در یک جمعیت ناقل هدف، به سرعت باید حشره‌کش غیرمرتبط دیگری به تنهایی یا ترکیبی بکار گرفته شود.
- در صورت لزوم، یک حشره‌کش هنوز می‌تواند برای مدتی استفاده شود زمانی که مقاومت در فراوانی پایین باشد، به خصوص هنگامی که مقاومت در حالت مغلوب بوده و افراد بیشتر هتروزیگوت هستند. با این وجود، وقتی جمعیت ناقل فصلی در حال گسترش است و یا در اوج جمعیت خود است (به‌عنوان مثال در آغاز و در طول فصل باران برای گونه پشه‌های گرمسیری)، ترجیحاً باید چنین حشره‌کشی با یک حشره‌کش غیرمرتبط جایگزین شود. چرخش فصلی یا سالانه حشره‌کش‌های غیرمرتبط، در مکان و زمانی که امکان‌پذیر باشد، با در نظر گرفتن دینامیزم جمعیت ناقل، گزینه خوبی است.

۹-۴- محدودیت‌ها در اجرای مدیریت مقاومت در برنامه‌های

بهداشت

در حال حاضر، در اکثر برنامه‌های کنترل ناقلین، یک تمایل واضح وجود دارد که از عملیات عمودی، به‌خوبی برنامه‌ریزی شده، به مداخلات مبتنی بر

همکاری مردم، برای مثال استفاده از پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش، تغییر کند. غلظت حشره‌کش‌ها روی این پشه‌بندها بسیار متغیر است زیرا بستگی به نحوه استفاده و شستشوی آنها دارد. کنترل این غلظت‌ها تقریباً غیرممکن است و بنابراین اجرای مدیریت مقاومت آن دشوارتر می‌شود.

بسیاری از کشورهای در حال توسعه در حال حاضر در یک فرآیند تمرکززدایی قرار دارند. در نتیجه، خدمات بهداشتی استان‌ها به طور فزاینده مسئولیت انتخاب، برنامه‌ریزی و اجرای مداخلات کنترل ناقل، از جمله انتخاب و خرید حشره‌کش‌ها را بر عهده دارند. با توجه به عدم وجود متخصصان واجد شرایط کنترل ناقلین در سطح محیطی در اکثر کشورهای آندمیک، نیاز فوری به آموزش و ظرفیت‌سازی، تدوین و انتشار دستورالعمل‌های ساده و مواد آموزشی مربوط به شیوه‌های صحیح مدیریت آفت‌کش‌ها، از جمله مدیریت مقاومت، وجود دارد.

هنگامی که یک حشره‌کش هنوز هم در جلوگیری از انتقال بیماری مؤثر است، متقاعد کردن مدیران برنامه‌های بهداشتی برای جایگزینی آن، معمولاً توسط یک محصول پرهزینه‌تر، یا تغییر استراتژی‌ها و روش‌های کنترل ناقل فقط برای جلوگیری از ایجاد مقاومت در برابر حشره‌کش دشوار است. بسیاری از برنامه‌ها ادعا می‌کنند که به دلیل منابع مالی بسیار محدودی که برای کنترل ناقل اختصاص داده شده، قادر به کنار آمدن با محدودیت‌های مالی و تدارکاتی که مربوط به تغییر حشره‌کش‌ها یا رویکردهای کنترل ناقل است نیستند. با این وجود، عواقب عدم برخورد فعال با برنامه‌های مدیریت مقاومت، احتمالاً در درازمدت بسیار پرهزینه‌تر و بالقوه فاجعه‌انگیز خواهد بود، اگر زرادخانه محدود فعلی ابزارهای کنترل ناقل به دلیل مقاومت بیش از پیش محدود شود.

۹-۵- راه پیش رو

مشکلات و محدودیت‌ها، مخالفت با پیشرفت را توجیه نمی‌کند. کشاورزی با مشکلات نسبتاً مشابه که در کنترل ناقلین وجود دارد روبرو شده است (اگرچه با محدودیت‌های متفاوت)، لیکن اقدامات اصلاحی تدوین و به اجرا گذاشته و مواد آموزشی مناسب را تهیه کرده است. بخش بهداشت باید از این تجربه بهره‌مند شود و اصول مدیریت مقاومت را به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های کنترل ناقل و سیاست‌های مدیریت ملی آفت‌کش‌ها اتخاذ کند. مؤسسات بزرگی مانند CropLife International، فدراسیون صنعت و کمیته عملیاتی مقاومت به حشره‌کش‌ها در حال همکاری با سازمان جهانی بهداشت برای ارائه کمک‌های عملی به برنامه‌های بهداشت هستند. تبادل اطلاعات و به اشتراک‌گذاری تجربه یکی از مؤلفه‌های مهم این همکاری خواهد بود. پایش مقاومت ناقلین باید تقویت شود و به سرعت و به طور گسترده‌ای از طریق وب‌سایت‌هایی که به راحتی در دسترس هستند، اطلاعات بخش‌های بهداشت و کشاورزی در یک جا منتشر شوند. برای تولیدکنندگان آفت‌کش‌ها بسیار مهم است که از وضعیت مقاومت ناقلین آگاه باشند، همانگونه که برای مدیران کنترل ناقلین ضروری است که اطلاعات بیشتری در مورد استفاده کشاورزی از حشره‌کش‌ها داشته باشند. امید است این دفترچه که برای مدیران برنامه کنترل ناقلین تدوین شده گامی مثبت در این همکاری باشد.

Prevention and management of insecticide resistance in vectors and pests of public health importance

Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)

Translated by:

Dr. Morteza Zaim

Dr. Ahmadali Enayati

Dr. Ahmad Raeisi

