



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور
نشریه فنی

مقاومت آفات به حشره کش ها و راهکارهای مدیریت آن

نگارنده:

هادی مصلی نژاد

شماره ثبت:

۵۷۱۱۹

۱۳۹۸

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور

مقاومت آفات به حشره کش ها و راهکارهای مدیریت آن

نگارنده:

هادی مصلی نژاد

۱۳۹۸

مخاطبان نشریه فنی: کشاورزان پیشرو، مروجین و کارشناسان ارشد مراکز آموزشی، پژوهشی
و اجرایی وابسته به وزارت جهاد کشاورزی

موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، نشریه فنی
مقاومت آفات به حشره کش ها و راهکارهای مدیریت آن

نگارنده: هادی مصلی نژاد

ناشر: موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور

سال نشر: ۱۳۹۸

شماره و تاریخ ثبت نشریه: ۵۷۱۱۹ مورخ ۹۸/۱۲/۷

نشانی مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی: تهران، بزرگراه شهید چمران، خیابان
یمن، پلاک ۱ - سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

فهرست مندرجات

| | |
|---------|---|
| ۴..... | مقدمه |
| ۵..... | مقاومت غیرقابل اجتناب است |
| ۶..... | پیامدهای مقاومت |
| ۷..... | تاریخچه مقاومت آفات به حشره کش ها |
| ۸..... | تعریف مقاومت |
| ۸..... | علل بروز مقاومت |
| ۱۰..... | سازوکارهای حشرات برای بروز مقاومت |
| ۱۲..... | اصطلاحاتی در مورد مقاومت |
| ۱۳..... | اقدامات بین المللی |
| ۱۶..... | عوامل موثر در بروز مقاومت |
| ۱۹..... | آفات مهم مقاوم به آفت کش ها |
| ۲۰..... | تشخیص مقاومت و تعیین شدت یا درجه مقاومت |
| ۲۱..... | مدیریت مقاومت |
| ۲۵..... | فهرست منابع |

آفت کش ها تنها راهکار مدیریت آفات نیستند، بلکه مبارزه شیمیایی با آفات، بیماری های گیاهی و علف های هرز در چارچوب مدیریت تلفیقی (IPM) قابل توجیه و پذیرش است. این به معنی استفاده صحیح، منطقی و اصولی از آفت کش ها به عنوان ابزاری قدرتمند در کنار سایر روش هاست (Stenberg, 2017). گزارش های جهانی ثابت کرده است که مصرف بی رویه و غیر منطقی و تکیه محض به آفت کش ها، باعث ایجاد بحران های زیست محیطی، اعم از آلودگی های آب و خاک، کاهش تنوع زیستی (از بین رفتن برخی گونه های گیاهی و جانوری)، نابودی دشمنان طبیعی آفات و افزایش باقیمانده آفت کش ها در محصولات کشاورزی می شود (Matthews, 2015).

یکی از مهم ترین چالش ها و پیامدهای مصرف بی رویه و غیرمنطقی آفت کش ها که تولید محصولات کشاورزی را تهدید می کند، بروز مقاومت آفات به آفت کش هاست. حشرات و کنه ها به عنوان یکی از قدیمی ترین و موفق ترین جانوران کره زمین، سازوکارهای مختلفی برای زندهمانی و کنار آمدن با شرایط نامناسب محیطی دارند (Sheikh et al., 2017). یکی از شرایط نامناسب محیطی، قرار گرفتن در معرض آفت کش ها است که اگر به صورت بی رویه و غیر اصولی، استمرار داشته باشد، این موجودات قادر خواهند بود که ترکیبات فوق را به مواد بی اثر تبدیل کنند و به دنبال آن کارایی آفت کش کاهش خواهد یافت.

حال که صحبت از کاهش کارایی آفت کش ها شد، لازم است این نکته مهم نیز یادآوری شود که عوامل مختلفی در کارایی آفت کش ها موثر هستند، مثل شناخت دقیق و صحیح آفت، زمان و نحوه سمپاشی، استفاده از سمپاش

مناسب و کالیبره کردن آن، استفاده از دز صحیح و فرمولاسیون مناسب و حتی کیفیت آب مورد استفاده. بنابراین ضروری است قبل از ربط دادن ناکارآمدی آفتکش ها به مسئله مقاومت، همه عوامل تاثیرگذار در مبارزه شیمیایی، در نظر گرفته شده و رعایت شوند. چون اگر این عوامل رعایت نشوند و خودسرانه اقدام به مصرف زیادتر آفت کش ها شود، نه تنها مشکل حل نمی شود بلکه زمینه ساز بروز سریعتر مقاومت و مشکلات جدی تر در مزرعه خواهند شد.

با توجه به اهمیت موضوع مقاومت آفات به حشره کش ها که متأسفانه در کشور تاحدودی مغفول مانده است و لزوم ارتقاء دانش و آگاهی کارشناسان، کشاورزان پیشرو و دیگر علاقه مندان، در این نشریه فنی، جنبه های مختلف مقاومت آفات به حشره کش ها، بیان می شود.

مقاومت غیر قابل اجتناب است

به طور کلی، بروز مقاومت به آفت کش ها پدیده ای غیر قابل اجتناب بوده و مسئله ای جهانی است که تولید محصولات کشاورزی در سراسر دنیا را تهدید می کند (Whalon et al., 2008). پدیده مقاومت نه تنها در مورد حشرات و کنه های آفت نسبت به حشره/کنه کش ها رخ می دهد، بلکه در حوزه بیماری های گیاهی، مقاومت قارچ های بیماری زا به قارچ کش ها و همچنین در مورد مقاومت علف های هرز به علف کش ها نیز وجود داشته و از چالش ها و معضلات این حوزه ها محسوب می شوند. در حقیقت، تازمانی که آفت کش ها مصرف می شوند، بروز پدیده مقاومت را می توان انتظار داشت (Urech et al., 1997). علاوه بر کشاورزی، در پزشکی نیز مهم بوده و مقاومت باکتری های بیمارگر به آنتی بیوتیک ها (مقاومت میکروبی) و

همچنین مقاومت سلول های سرطانی به داروها نیز از مهم ترین چالش های حوزه پزشکی قلمداد می شوند.

پیامدهای مقاومت

مقاومت آفات به آفت کش ها پیامدهای مختلف اقتصادی و اکولوژیک را در پی دارد که در اینجا به چند مورد مهم از آنها اشاره می شود. تهدید سلامت محصول و مصرف کنندگان: فرض کنید پدیده مقاومت آفات به حشره کش در مزرعه یا باغ اتفاق افتاده باشد. کشاورز به دلیل عدم آگاهی از بروز مقاومت و برای مهار جمعیت آفت، اولین اقدامی که انجام می دهند، بالابردن دز مصرف حشره کش و یا افزایش تعداد دفعات سمپاشی است که قطعاً اثرات مخرب زیست محیطی و بهداشتی (باقیمانده آفت کشها در محصولات کشاورزی) را در پی خواهد داشت که همگی تهدیدی برای سلامت مصرف کنندگان است. بنابراین توجه به موضوع مقاومت آفات، نقش مهمی در فرایند "تولید محصول سالم" و همین طور "کاهش مصرف آفت کش ها" دارد.

تهدید امنیت غذایی: در پدیده مقاومت چون کارایی آفت کش ها روی آفات هدف کاهش می یابد، در نتیجه شاهد افزایش خسارت به محصولات کشاورزی و کاهش عملکرد و برداشت محصول هستیم که تهدید جدی برای امنیت غذایی کشور است. با توجه به اینکه ایجاد امنیت غذایی در کنار تولید و توسعه پایدار محصولات کشاورزی از مهم ترین مأموریت ها و وظایف محوله وزارت متبوع است، بنابراین برای رسیدن به اهداف امنیت غذایی در

کشور، توجه و پژوهش در زمینه مقاومت آفات می تواند کارساز و راهگشا باشد.

پيامد اقتصادی: در پدیده مقاومت، چون آفت به آسانی کنترل نمی شود بدیهی است که کشاورز اقدام به سمپاشی های مجدد و یا بالابردن دز مصرف آن می کند که نه تنها کارآیی ندارد بلکه از لحاظ اقتصادی نیز به ضرر کشاورز تمام می شود، بنابراین هزینه های تولید افزایش می یابد.

تاریخچه مقاومت آفات به حشره کش ها

اولین بار حشره شناس آمریکایی به نام ملاندر (Melander A. L.) در سال ۱۹۱۴ میلادی، با انتشار مقاله ای تحت عنوان "آیا حشرات در برابر سمپاشی مقاوم می شوند؟" عدم تاثیر کنترل شیمیایی آفت سپردار سان ژوزه با استفاده از سولفور آهک (محلول کالیفرنی) در باغ های سیب ایالت واشنگتن آمریکا را گزارش کرد (Melander, 1914). در سال های بعد یعنی در سال ۱۹۱۶ و ۱۹۱۷ مقاومت سپردار کالیفرنیایی و کرم سیب، به ترتیب به سیانید هیدروژن و آرسنات سرب نیز گزارش شد. اما موج شدید بروز مقاومت آفات به حشره کش ها، بعد از جنگ جهانی دوم و همزمان با کاربرد گسترده و غیرمنطقی ددت و ترکیبات فسفره رخ داد. دهه های ۱۹۴۰ تا ۱۹۶۰ میلادی که از یک طرف به خاطر تاثیرات شگرفی که آفت کش ها در کنترل آفات داشتند، "عصر معجزه آسای آفت کش ها" لقب گرفت و از طرف دیگر به خاطر اثرات زیان بار آنها بر محیط زیست، "عصر تاریک و سیاه آفت کش ها" نام گرفت. تا اینکه خانم راشل کارسون در سال ۱۹۶۲ با تالیف

کتاب "بهار خاموش" جامعه جهانی را با خطرات متعدد ناشی از استفاده های بی رویه از آفت کش های شیمیایی آگاه کرد و همگان را به تحول و بازنگری در دیدگاه ها به دنیای طبیعت دعوت کرد. تلاش های او، سرانجام باعث ممنوع شدن مصرف ددت در سال های بعد شد و بدین ترتیب در اوایل دهه ۱۹۷۰ مفهوم مدیریت تلفیقی آفات (IPM) شکل گرفت و از آن پس مقاومت بندپایان به آفت کش ها، به موضوع مورد علاقه محققان حشره شناس تبدیل شد (Mota-Sanchez et al., 2008).

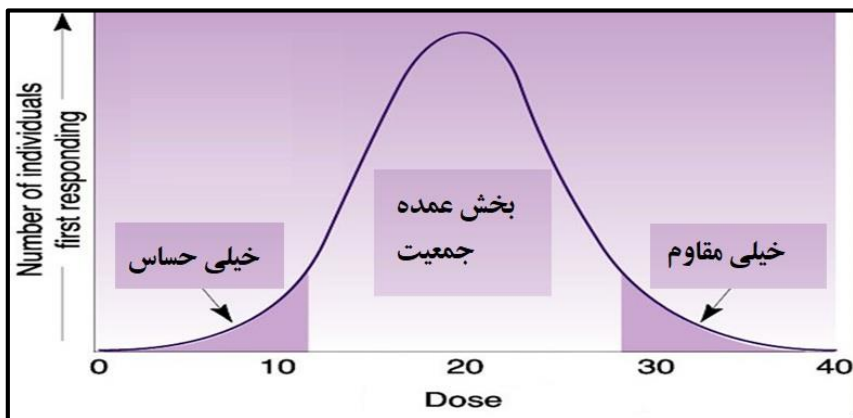
تعریف مقاومت: کامل ترین و کاربردی ترین تعریف، توسط کمیته بین المللی ایراک (IRAC) (کمیته اقدام علیه مقاومت به حشره کش ها^۱) ارائه شده است. طبق این تعریف، مقاومت یک تغییر ژنتیکی قابل وراثت است که به صورت تغییر در حساسیت جمعیت آفت نسبت به حشره کش بروز کرده و منجر به فقدان یا کاهش نتیجه گیری در مبارزه شیمیایی در مزرعه می شود (Sparks and Nauen, 2015).

علل بروز مقاومت

پایه و اساس بروز مقاومت آفات به حشره کش ها، وجود اختلاف های ژنتیکی بین افراد یک جمعیت است. در حقیقت، افرادی از جمعیت یک حشره، که دارای ژن مقاومت هستند، با فراوانی بسیار کم در طبیعت وجود دارند (شکل ۱). با سمپاشی های بی رویه، افراد حساس به حشره کش ها به سرعت از بین می روند و این افراد مقاوم در مزرعه باقی مانده و طی نسل های

^۱ Insecticide Resistance Action Committee (www.ircac-org.com)

آتی، فراوانی آنها زیاد شده و در نهایت جمعیت مقاوم ایجاد خواهد شد که دیگر به حشره کش حساس نیست. به همین دلیل می گوئیم که مقاومت، یک پدیده پیش سازگاری^۲ است. از طرف دیگر، ژن های مقاومت چون برای حشره در محیط جدید (تحت فشار حشره کش) مفید بوده و باعث بقاء آن می شوند، بنابراین مقاومت مثال بارزی برای پدیده تکامل در مقیاس کوچک^۳ قلمداد می شود (Ffrench-Constant, 2013).



شکل ۱. منحنی توزیع فراوانی افراد یک جمعیت حشره فرضی، از لحاظ حساسیت به یک حشره کش معین. توضیح اینکه به دلیل وجود اختلاف های ژنتیکی، همه افراد از نظر حساسیت به آفت کش، یکسان نیستند.

^۲ pre-adaptive phenomenon
^۳ micro-evolution

سازوکارهای حشرات برای بروز مقاومت (مکانیسم های مقاومت)

یکی از مهم ترین موضوعات، پی بردن به مکانیسم مقاومت یا سازو کارهای بروز مقاومت در آفات است که در حقیقت همان چگونگی بی اثر شدن ترکیبات در حشرات مقاوم می باشد. پی بردن به مکانیسم مقاومت، پایه و اساسی برای درمان مسئله، یعنی مدیریت مقاومت است. بدون دانستن مکانیسم مقاومت، نمی توان توصیه مناسب و کارآمدی برای مدیریت مقاومت ارائه داد. دقیقاً مشابه این است که کسی یک بیماری، مثلاً سردرد داشته باشد ولی علت آنرا نداند. بنابراین اولین کاری که پزشک انجام می دهد، یافتن علت سردرد خواهد بود.

مکانیسم های بروز مقاومت در آفات متعدد هستند، اما مهم ترین آنها به چهار دسته تقسیم می شوند: ۱) بیوشیمیایی (متابولیک)، ۲) غیر حساس شدن نقطه هدف، ۳) کاهش نفوذ آفت کش به بدن حشره ۴) مقاومت رفتاری. از میان این چهار دسته، مکانیسم های اول و دوم از بقیه شایع تر و مهم ترند. ۱) مقاومت متابولیک^۴: که عبارتست از دخالت داشتن آنزیم های مختلف که در تجزیه و متابولیسم حشره کش ها نقش دارند و باعث می شوند که مولکول حشره کش به طریقی، به نقطه هدف نرسد. مقاومت اگر بر پایه ی متابولیسی باشد یا به دلیل تولید بیش از حد آنزیم^۵ است یا تغییر در خواص کاتالیتیکی آنزیم (تغییر کیفی در خواص سم زدایی آنزیم) و در مواردی ممکن است هردو اتفاق بیفتد (Li et al., 2007). بنابراین تغییرات کمی و کیفی که در آنزیم ها به وجود می آید، در مقاوم شدن حشره نقش ایفا می کنند.

^۴ metabolic resistance
^۵ over-production

در این خصوص، سه گروه از آنزیم‌ها مهم هستند الف) اکسیدازها ب) استرازها و ج) گلوکاتایون اس ترانسفرازها. که در زیر به اختصار به آنها می‌پردازیم.

الف) اکسیدازها: یک خانواده بسیار بزرگ از آنزیم‌ها هستند که مهم‌ترین آنها cytochrome P450 monooxygenase = CYP450 می‌باشد. بیش از ۶۰۰ ژن از CYP450 در حشرات شناسائی شده‌اند که در خانواده‌های مختلف طبقه بندی می‌شوند. اکسیدازها گستره وسیعی از حشره کش و کنه کش‌ها، با ساختمان‌های شیمیایی مختلف را قادرند تجزیه کنند (Munro et al., 2018).

ب) استرازها: این آنزیم‌ها باعث تجزیه ترکیبات دارای پیوند استری می‌شوند. حشره کش‌های فسفره، کاربامات و پایرتروئیدها، توسط این آنزیم‌ها تجزیه و خنثی می‌شوند و در نتیجه مقاومت به آنها ایجاد می‌شود (Montella et al., 2012).

ج) گلوکاتایون اس ترانسفرازها: خانواده متنوعی از آنزیم‌ها هستند. جزو آنزیم‌های متابولیک فاز ۲ سم زدایی قرار می‌گیرند که واکنش مزدوج شدن گلوکاتایون احیا شده را با ترکیبات الکترون دوست مختلف، کاتالیز می‌کنند. به عبارت دیگر ترکیبات چربی دوست، مانند حشره کش‌ها را با گلوکاتایون که آب دوست هستند، ترکیب نموده که در نهایت از طریق سیستم دفعی، به بیرون رانده می‌شود (Pavliidi et al., 2018).

۲) مقاومت در اثر غیر حساس شدن نقطه هدف:^۶

حشره کش ها در بدن حشرات، دارای نقطه هدف معینی هستند که معمولا ساختار پروتئینی دارند. جهش در ژن این نقاط هدف، منجر به تغییر در ساختار پروتئین شده به طوری که باعث می شود مولکول حشره کش نتواند با نقطه هدف خود پیوند برقرار کند (Ffrench-Constant et al., 2016). این امر در نهایت باعث کاهش حساسیت حشره به حشره کش می شود. مثلا جهش در ژن کانال سدیم که نقطه هدف پایرتروئیدها می باشد، باعث مقاومت آفات به پایرتروئیدها می شود که به نام Kdr^۷ معروف است.

۳) مقاومت در اثر کاهش نفوذ کوتیکولی:^۸ که در آن کوتیکول جلد بدن حشره، ضخیم شده و باعث کاهش نفوذ ترکیبات به داخل بدن می شود.

۴) مقاومت رفتاری:^۹ در این نوع مقاومت، حشره به طریقی وجود آفت کش را توسط اندام های حسی خود، احساس می کند و با تغییر رفتار خود، از سمیت حشره کش در امان می ماند.

اصطلاحاتی در مورد مقاومت

- مقاومت تقاطعی^{۱۰}: موقعی است که یک حشره مقاوم، به یک ترکیب جدید که قبلا با آن روبرو نشده نیز مقاومت نشان می دهد. این پدیده، دامنه ترکیبات موثر قابل استفاده برای مدیریت آفت را محدود می کند. مثلا، وقتی

^۶ target-site resistance

^۷ Knockdown resistance

^۸ reduced penetration

^۹ behavioural resistance

^{۱۰} cross- resistance

مکانیسم مقاومت از نوع متابولیک هست، کار بسیار مشکل خواهد بود. چون آنزیم های سم زدای غیر اختصاصی، مثل CYP450 می توانند انواع ترکیبات را تجزیه کنند. مثلا، مقاومت تقاطعی بین ایمیدا کلوپراید و پی متروزین در سفیدبالک های گلخانه (*Trialeurodes vaporariorum*) و بمبزی (*Bemisia tabaci*) گزارش شده است.

-مقاومت چندگانه^{۱۱}: اوج فاجعه است چون حشره، دو یا چند مکانیسم مقاومت را هم زمان نشان می دهد. مثلا گزارش شده است که شته سبز هلو (*Myzus persicae*) هم تولید بیش از حد استراز و هم غیر حساس شدن نقطه هدف (آنزیم استیل کلین استراز) را بروز داده است.

-مقاومت تقاطعی منفی^{۱۲}: وضعیتی است که در آن یک جمعیت حشره که یک حشره کش مقاوم شده، به یک ترکیب دیگر، حساسیت بیشتری نشان می دهد. مثلا در کرم غوزه پنبه، جمعیت های مقاوم به پایرتروئیدها (مثل فن والریت)، حساسیت بیشتری به حشره کش ایندوکساکارب نشان می دهند.

اقدامات بین المللی

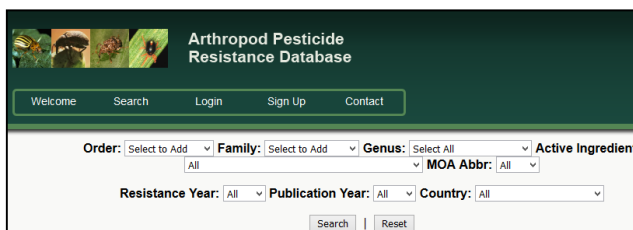
از آنجایی که مقاومت آفات به آفت کش ها یک مشکل جهانی است که همه کشورها درگیر آن هستند، بنابراین اقدامات بین المللی متعددی به منظور مدیریت این مسئله انجام شده است که در این بخش به برخی از مهم ترین آنها که بیشتر به حوزه کشاورزی مربوط می شود، اشاره می شود. لازم به

^{۱۱} multiple resistance

^{۱۲} negative cross- resistance

ذکر است که در حوزه پزشکی و در خصوص مقاومت آفات بهداشتی نیز، سازمان جهانی بهداشت (WHO) اقدامات موثری انجام داده است.

۱) بانک اطلاعاتی مقاومت بندپایان به آفت کش ها (Arthropod Pesticide Resistance Database)



The screenshot shows the homepage of the Arthropod Pesticide Resistance Database. At the top, there are four small images of insects. Below them is the title 'Arthropod Pesticide Resistance Database'. A navigation bar contains links for 'Welcome', 'Search', 'Login', 'Sign Up', and 'Contact'. The main search area includes several dropdown menus: 'Order: Select to Add', 'Family: Select to Add', 'Genus: Select All', 'MOA Abbr: All', 'Active Ingredient: All', 'Resistance Year: All', 'Publication Year: All', and 'Country: All'. There are 'Search' and 'Reset' buttons at the bottom of the search area.

شکل ۲. نمایش پایگاه اینترنتی مقاومت بندپایان به آفت کش ها که نشان دهنده امکان جستجو بر اساس نیاز پژوهشگران می باشد.

این بانک اطلاعاتی با هدف دریافت و ثبت گزارش های مقاومت بندپایان به آفت کش ها از سراسر دنیا، به آدرس <http://www.pesticideresistance.org> توسط دانشگاه ایالتی میشیگان آمریکا با همت پروفسور والون (Whalon, ME) راه اندازی شده است. این پایگاه اینترنتی، قابلیت جستجو بر اساس جنس، گونه، خانواده آفت، حشره/کنه کش و حتی کشور مورد نظر را دارا بوده و می توان خروجی های ارزشمندی را از آن استخراج کرد (شکل ۲). روند افزایشی تعداد آفات مقاوم را می توان از این پایگاه استخراج کرد به طوری که تا سال ۲۰۰۷ میلادی، تعداد آفات مقاوم ۷۷۰۰ مورد (۵۵۰ گونه حشره) بوده، که این آمار در سال

۲۰۱۰ به ۹۷۰۰ (۵۷۰ گونه حشره) رسیده است. از لحاظ رده بندی آفات مقاوم، راسته دوبالان ۳۲ درصد، بال پولکداران ۱۷ درصد، کنه ها ۱۴ درصد، سخت بالپوشان ۱۴ درصد، جوربالان ۱۳ درصد و بقیه حشرات نیز ۱۰ درصد کل گونه های مقاوم را تشکیل می دهند.

۲) تاسیس کمیته بین المللی ایراک (IRAC)

ایراک یا کمیته اقدام در برابر مقاومت به حشره کش ها، سازمانی است غیر دولتی متشکل از متخصصین صنعت آفت کش ها در دنیا (شرکت های بایرکراپ ساینس، سینجنتا، داو آگروساینس) که در سال ۱۹۸۴ تاسیس شد و هدف آن برنامه ریزی و سیاستگذاری در زمینه مدیریت مقاومت به حشره کش هاست.

این سازمان با تشکیل کارگروه های تخصصی شامل آفات کشاورزی، بهداشتی و آفات گیاهان تراریخته، کار خود را انجام می دهد. دلیل اینکه این سازمان توسط شرکت های تولید کننده آفت کش ها تاسیس و پایه گذاری شد این است که عدم کارایی آفت کش های تولیدی، قبل از هر چیز از لحاظ اقتصادی به ضرر آنها خواهد شد و لذا افزایش عمر فروش اقتصادی محصولات برای آنها بسیار مهم است و از دغدغه های اصلی به حساب می آید. یکی از مهم ترین اقدامات این سازمان، تقسیم بندی جدید حشره کش ها بر اساس نحوه عمل آنها^{۱۳} می باشد که مهم ترین استفاده کاربردی این تقسیم بندی در مدیریت مقاومت می باشد (Sparks and Nauen, 2015) از

^{۱۳} mode of action

دیگر اقدامات این سازمان، تدوین استانداردهای زیست سنجی^{۱۴} برای آفات مختلف است تا پژوهشگران سراسر دنیا، بتوانند از آنها استفاده کنند. همه مطالب این سازمان غیر دولتی در پایگاه اینترنتی www.irac-online.org قابل دسترسی می باشد.

عوامل موثر در بروز مقاومت

فاکتورهایی که در این خصوص موثر هستند، به سه گروه (۱) عوامل بیولوژیک، (۲) عوامل ژنتیکی و (۳) عوامل اجرایی تقسیم می شوند (Georghiou and Taylor, 1977).

(۱) عوامل بیولوژیک: عواملی هستند که مربوط به زیست شناسی و چرخه زندگی حشره می باشند. مثل تعداد نسل در سال، نحوه تولید مثل، ظرفیت تولید مثلی و طول دوره فعال زندگی و دامنه میزبانی.

۱-۱) تعداد نسل: سرعت بروز مقاومت در حشرات و کنه های چند نسلی بیشتر از تک نسلی است.

۱-۲) ظرفیت تولید مثلی: حشراتی که ظرفیت تولید مثلی (زادآوری) بیشتری دارند، مثلا تعداد تخم های زیادتری می گذارند، جمعیت بیشتری تولید می کنند، بنابراین امکان ایجاد تغییرات ژنتیکی منجر به بروز مقاومت بیشتر خواهد بود.

^{۱۴} تحت عنوان "test methods" در پایگاه مربوطه معرفی شده است.

۳-۱) نحوه تولید مثل: حشرات به روش های مختلف جنسی و غیر جنسی تولید مثل می کنند که بعضی از این روش ها نقش به سزایی در روند بروز مقاومت آفت به حشره/کنه کش ها دارند. مثلاً سیستم تولید مثلی هاپلو-دپلوئید^{۱۵} که در تریپس ها و سفیدبالک ها دیده می شود، افراد نر از تخم تلقیح نشده به وجود می آیند و افراد ماده از تخم تلقیح شده. نتیجه هاپلوئیدی در فرایند بروز مقاومت این است که ژن عامل مقاومت در نرها بلافاصله خود را نشان می دهد (غالیت یا مغلوبیت مهم نیست) و به سرعت در جمعیت حشره پخش می شود.

۴-۱) دامنه میزبانی حشره: هر چه آفت میزبان های بیشتری داشته باشد، دارای سیستم آنزیمی قوی تر است. بنابراین حشرات پلی فاژ دارای پتانسیل بیشتری برای بروز مقاومت هستند.

۵-۱) تحرک و مهاجرت جمعیت: قابلیت پرواز و جابجایی در بیشتر حشرات وجود دارد. در نتیجه امکان جفتگیری با حشرات منطقه جدید وجود دارد و این یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در روند مقاومت آفات به حشره کش ها، می باشد که می تواند روند مقاومت را تسریع کند و یا کاهش دهد. مثلاً انتشار افراد حساس از منطقه سمپاشی نشده به منطقه سمپاشی شده، باعث کاهش فراوانی افراد مقاوم می شود (تاخیر در بروز مقاومت). برعکس انتشار افراد مقاوم از منطقه سمپاشی شده به منطقه سمپاشی نشده، باعث افزایش فراوانی افراد مقاوم می شود (تسریع در بروز مقاومت) (Labbé et al., 2005).

^{۱۵} haplo-diploid

در گلخانه ها، اگر مقاومت آفات اتفاق بیفتد، چون محیط بسته بوده و ورود افراد حساس و اختلاط آنها با افراد مقاوم کمتر است، بنابراین سرعت بروز مقاومت بیشتر است.

۲) عوامل ژنتیکی: همان طور که اشاره شد، مقاومت پایه و اساس ژنتیکی داشته و صفتی است که از یک نسل به نسل های بعد منتقل می شود. بنابراین مولفه هایی ژنتیکی زیر که در این انتقال دخالت دارند، در بروز مقاومت تاثیر گذار هستند.

۲-۱) فراوانی آلل های مقاوم: سرعت بروز مقاومت در جمعیت هایی که فراوانی اولیه آلل های مقاوم، زیادتر باشد، بیشتر خواهد بود.

۲-۲) غالب بودن آلل های مقاوم: نحوه وراثت مقاومت (ژن مقاومت غالب است یا مغلوب) در سرعت بروز مقاومت نقش مهمی دارد. ساده ترین شکل این موضوع، همان قوانین ژنتیک مندلی است که بر اساس آن، اگر ژن مقاومت غالب باشد، در نسل بعد، ۷۵ درصد افراد مقاوم خواهند بود و ۲۵ درصد افراد حساس و در صورتی که ژن مقاومت مغلوب باشد، این روند برعکس خواهد بود.

۲-۳) تعداد ژن های دخیل در مقاومت: مقاومت ممکن است تک ژنی باشد یا تحت کنترل چند ژن باشد. معمولاً وقتی مقاومت تک ژنی است، سریع تر از وقتی که چند ژن درگیر باشند، بروز پیدا می کند.

۳) عوامل اجرایی یا عملیاتی: شامل کارهایی است که در مزرعه و توسط انسان انجام می شود.

۱-۳) دوام حشره کش در مزرعه: حشره کش هایی که در مزرعه، دوام بیشتری دارند، قطعاً سرعت بروز مقاومت را بیشتر می کنند. چون آفت مدت زمانی بیشتر در معرض حشره کش قرار می گیرد.

۲-۳) دز مصرفی: اگر دز بالایی از حشره کش مصرف شود، بخش زیادی از جمعیت حساس، به سرعت حذف خواهند شد و زمینه برای رشد و تکثیر افراد مقاوم فراهم خواهد شد. در این صورت، ظهور مقاومت سریع تر خواهد بود.

۳-۳) تعداد دفعات سمپاشی: هر چه تعداد سمپاشی ها زیادتر باشد، فشار انتخابی شدیدتر شده و مثل مورد قبل جمعیت حساس سریع تر حذف می شود و لذا بروز مقاومت در آفت، شتاب بیشتری می گیرد.

آفات مهم مقاوم به آفت کش ها

بر اساس آنچه که توضیح داده شد، همه ی آفات، پتانسیل یکسانی برای بروز مقاومت به حشره/کنه کش ها ندارند. به عبارت دیگر بروز مقاومت در بعضی از آفات شایع تر و سریع تر بوده و در برخی دیگر کند تر. بر همین اساس برخی از آفات مستعد و شاخص بروز مقاومت به این قرار هستند:

الف) آفات پروانه ای شامل

۱- شب پره پشت الماسی یا بیدکلم (*Plutella xylostella*, Linnaeus)

۲- کرم غوزه پنبه (*Helicoverpa armigera* Hübner)

۳- برگخوارهای چغندر قند (*Spodoptera exigua* Hübner) و

(*S. littoralis* Boisduval)

۴- کرم سیب (*Cydia pomonella* Linnaeus)

(ب) آفات مکنده

۵- شته ها: شته سبز هلو (*Myzus persicae* Sulzer) و

شته جالیز (*Aphis gossypii* Glover)

۶- سفیدبالک ها : عسلک پنبه (*Bemisia tabaci* Gennadius)

۷- تریپس ها : تریپس غربی گل (*Frankliniella occidentalis*)

(Pergande)

(ج) کنه ها

۸- کنه تارتن دو لکه ای (*Tetranychus urticae* Koch) و کنه قرمز

اروپایی سیب (*Panonychus ulmi* Koch)

(د) آفات جونده (سخت بال پوشان)

۹- سوسک کلرادو (*Leptinotarsa decemlineata* Say)

تشخیص مقاومت و تعیین شدت یا بزرگی مقاومت

زیست سنجی^{۱۶} یکی از متداول ترین روش ها برای تشخیص مقاومت به حشره کش ها در جمعیت آفات و تعیین شدت آن است. نحوه انجام زیست سنجی

Bioassays^{۱۶}

و اصول و مبانی آن، در کتاب (حسینی نوه و قدمیاری ۱۳۹۳) آمده است. با انجام زیست سنجی روی جمعیت مزرعه ای و همین طور جمعیت حساس، پارامترهای مربوطه مثل LD50 یا LC50 محاسبه می شوند. سپس برای نشان دادن اندازه (بزرگی یا شدت) مقاومت از شاخصی به نام فاکتور مقاومت^{۱۷} استفاده می کنیم. از تقسیم کردن عدد LD50 یا LC50 مربوط به جمعیت مزرعه ای، بر عدد یادشده مربوط به جمعیت حساس، فاکتور مقاومت به دست خواهد آمد. هر قدر این عدد بزرگتر باشد، نشان دهنده شدت بیشتر مقاومت است. روش های زیست سنجی، بسته به نحوه عمل حشره کش ها و نحوه ورود آنها به بدن آفت متفاوت است. همان طور که قبلا اشاره شد، به منظور ایجاد وحدت رویه توسط پژوهشگران دنیا، که همگی به یک روش، زیست سنجی را انجام دهند، ایراک اقدام به تهیه و تدوین استانداردهای زیست سنجی برای آفات مختلف کرده است تا پژوهشگران سراسر دنیا، بتوانند از آنها استفاده کنند.

علاوه بر این، روش های تشخیص مولکولی و بیوشیمیائی برای پی بردن به شدت مقاومت نیز وجود دارند که در قسمت مدیریت مقاومت (مبحث درمان) توضیح داده شده است.

مدیریت مقاومت

گزارش های جهانی بیانگر روند فزاینده تعداد آفات مقاوم می باشد، چون مقاومت آفات به حشره/کنه کش ها در اثر استفاده مکرر و بی رویه از آفت کش ها اجتناب ناپذیر است. نکته مهم در این خصوص، نحوه مدیریت

^{۱۷} resistance factor

مقاومت است. اگرچه مسئله مقاومت یک مشکل جهانی است، اما مدیریت آن محلی و منطقه ای است. به طور کلی برنامه های مدیریت مقاومت آفات بایستی در قالب IPM اجرا شود (Downes et al., 2017). بر اساس منابع علمی موجود، مقاومت آفات به حشره کش ها، قابل درمان بوده و این امکان وجود دارد که جمعیت های مقاوم، دوباره به سطح حساس خود برگردند. در برنامه های مدیریت، به دنبال کم کردن و یا به تاخیر انداختن سرعت بروز مقاومت آفات هستیم. به طور کلی برنامه های مدیریت مقاومت، در دو بعد کلی قابل انجام هستند یکی پیشگیری و دیگری درمان.

پیشگیری: هنگامی که کنترل شیمیایی در مزرعه یا باغ، با شکست مواجه می شود، به منزله این است که مقاومت با شدت قابل توجهی حادث شده است، در نتیجه مدیریت آن مشکل بوده چون خیلی دیر شده است. بنابراین اگر مقاومت قبل از اینکه به شدت در مزرعه گسترش پیدا کند شناسایی شود (تشخیص زودهنگام^{۱۸})، مدیریت آن بسیار ساده تر خواهد بود. مهم ترین اقدامات پیشگیرانه عبارتند از:

۱- انجام پایش های مزرعه ای برای تعیین حساسیت آفت به حشره کش ها به منظور شناسایی زودهنگام مقاومت می باشد. این توصیه در راستای جمله معروف "پیشگیری بهتر از درمان است" می باشد.

۲- از دیگر اقدامات پیشگیرانه، عدم تکیه به یک نوع حشره کش در برنامه های کنترل شیمیایی با آفات است. در عوض، تناوب استفاده از حشره کش هایی که نحوه عمل متفاوتی دارند^{۱۹}، بایستی به صورت یک اصل مهم در

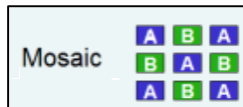
^{۱۸} early detection

^{۱۹} rotation

مدیریت شیمیائی با آفات رعایت شود. برای این منظور لازم است نحوه عمل حشره کش های مختلف را دانست. مثلا استفاده تناوبی از حشره کش های فسفره و کاربامات جایز نیست چون نحوه عمل هر دو یکسان است (بازدارنده آنزیم استیل کلین استراز). به عنوان نمونه، یک برنامه پیشنهادی در خصوص استفاده تناوبی از حشره کش ها، در مدیریت سوسک کلرادو در شکل ۳ آمده است.

یکی دیگر از روش های استفاده از حشره کش ها در مدیریت مقاومت، روش موزائیکی (شکل ۴) نامیده می شود که در آن، منطقه مورد نظر به واحدهای کوچکتر (شبه موزائیک) تقسیم شده و حشره کش هایی که نحوه عمل متفاوتی دارند در این واحدهای کوچک به صورت پراکنده، استفاده می شوند (شکل ۴).

شکل ۳. یک برنامه پیشنهادی در خصوص استفاده تناوبی از حشره کش ها، در مدیریت سوسک کلرادو برای یک دوره زمانی سه ساله. اقتباس از (Huseth et al., 2014)



شکل ۴. استفاده حشره کش های مختلف به روش موزائیک در مدیریت مقاومت

درمان

بعد از تشخیص مقاومت و دانستن اینکه آفت به چه حشره کش هایی مقاوم شده است، اولین قدم عدم استفاده از حشره کش مورد نظر است. سپس بایستی ترکیب (ات) موثر جایگزین که بتواند چنین حشره مقاومی را از پا در آورد، معرفی شود. این کار جز با یافتن مکانیسم (های) مقاومت امکان پذیر نیست. بنابراین، مهم ترین نکته در موضوع درمان، شناخت مکانیسم مقاومت می باشد تا بتوان نسخه درمان مقاومت را نوشته و ترکیبات جایگزین و سایر راهکارهای مدیریتی را توصیه کرد. همان طور که قبلا اشاره شد، دو نوع از مکانیسم های مقاومت شامل "مقاومت متابولیک" و "مقاومت ناشی از غیر حساس شدن نقطه هدف" مهم تر و شایع تر هستند که به طور خلاصه، نحوه بررسی آنها توضیح داده می شود.

چگونه مقاومت ناشی از غیر حساس شدن نقطه هدف را بررسی کنیم؟ برای این منظور تعیین توالی ژن نقطه هدف حشره کش، به منظور یافتن جهش های احتمالی بایستی انجام شود.

چگونه مقاومت متابولیک را بررسی کنیم؟ برای این منظور با استفاده از روش های بیوشیمیایی، فعالیت آنزیم هایی که قبلا اشاره شد، اندازه گیری می شود.

نکته قابل توجه اینکه اگر مقاومت بر پایه غیر حساس شدن نقطه هدف باشد، به راحتی می توان آنرا مدیریت کرد. به این صورت که می توان نوع حشره

کش را عوض کرد و ترکیبی را استفاده کرد که نحوه عمل متفاوتی داشته باشد. اما اگر مقاومت بر پایه متابولیسمی (آنزیمی) باشد مدیریت آن کمی دشوارتر است چون آنزیم های سم زدای غیراختصاصی، مثل CYP می توانند انواع ترکیبات را تجزیه کنند که باعث ایجاد مقاومت تقاطعی خواهد شد. این پدیده، دامنه ترکیبات موثر قابل استفاده برای مدیریت آفت را محدودتر می کند.

در پایان لازم به اشاره است که یکی از روش های امیدبخش که احتمالاً در آینده کمک بزرگی به مدیریت مقاومت آفات خواهد کرد، فناوری خاموشی ژن است که با این روش محققان توانسته اند، نه تنها ژن های درگیر در مقاومت را شناسایی کنند، بلکه با خاموش کردن آنها، می توان حساسیت حشره به حشره کش ها را دوباره برگرداند (Kim et al., 2015).

فهرست منابع

- حسینی نوه، و؛ قدمیاری، م. ۱۳۹۳. مبانی و مفاهیم روش های آزمایشگاهی در بیوشیمی، فیزیولوژی و سم شناسی حشرات. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. ۵۷۷ صفحه.
- Downes, S., Kriticos, D., Parry, H., Paull, C., Schellhorn, N., Zalucki, M.P., 2017. A perspective on management of *Helicoverpa armigera*: transgenic Bt cotton, IPM, and landscapes. Pest Management Science 73, 485-492.

- Ffrench-Constant, R.H., 2013. The molecular genetics of insecticide resistance. *Genetics* 194, 807-815.
- Ffrench-Constant, R.H., Williamson, M.S., Davies, T.E., Bass, C., 2016. Ion channels as insecticide targets. *Journal of Neurogenetics* 30, 163-177.
- Georghiou, G.P., Taylor, C.E., 1977. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *Journal of Economic Entomology* 70, 319-323.
- Huseeth, A.S., Groves, R.L., Chapman, S.A., Alyokhin, A., Kuhar, T.P., Macrae, I.V., Szendrei, Z., Nault, B.A., 2014. Managing Colorado potato beetle insecticide resistance: new tools and strategies for the next decade of pest control in potato. *Journal of Integrated Pest Management* 5, 1-8.
- Karatolos, N., Denholm, I., Williamson, M., Nauen, R., Gorman, K., 2010. Incidence and characterisation of resistance to neonicotinoid insecticides and pymetrozine in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science* 66, 1304-1307.
- Kim, Y.H., Issa, M.S., Cooper, A.M., Zhu, K.Y., 2015. RNA interference: applications and advances in insect toxicology and insect pest management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 120, 109-117.
- Labbé, P., Lenormand, T., Raymond, M., 2005. On the worldwide spread of an insecticide resistance gene: a role for local selection. *Journal of Evolutionary Biology* 18, 1471-1484.
- Li, X., Schuler, M.A., Berenbaum, M., 2007. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. *Annual Review Entomology* 52, 231-253.
- Matthews, G., 2015. *Pesticides: health, safety and the environment*, Second Edition. John Wiley & Sons.
- Melander, A.L., 1914. Can insects become resistant to sprays ? *J. Econ. Entomol* 7, 167-173.

- Montella, I.R., Schama, R., Valle, D., 2012. The classification of esterases: an important gene family involved in insecticide resistance-A review. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 107, 437-449.
- Mota-Sanchez, D., Whalon, M.E., Hollingworth, R.M., Xue, Q., 2008. Documentation of Pesticide Resistance in Arthropods, In: Whalon, M.E., Mota-Sanchez, D., Hollingworth, R.M. (Eds.) *Global Pesticide Resistance in Arthropods*. pp. 32-39.
- Munro, A.W., McLean, K.J., Grant, J.L., Makris, T.M., 2018. Structure and function of the cytochrome P450 peroxygenase enzymes. *Biochemical Society Transactions* 46, 183-196.
- Pavlidi, N., Vontas, J., Van Leeuwen, T., 2018. The role of glutathione S-transferases (GSTs) in insecticide resistance in crop pests and disease vectors. *Current Opinion In Insect Science* 27, 97-102.
- Sheikh, A.A., Rehman, N., Kumar, R., 2017. Diverse adaptations in insects: A Review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5, 343-350.
- Sparks, T.C., Nauen, R., 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121, 122-128.
- Stenberg, J.A., 2017. A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in Plant Science* 22, 759-769.
- Urech, P.A., Staub, T., Voss, G., 1997. Resistance as a concomitant of modern crop protection. *Pesticide Science* 51, 227-234.
- Whalon, M.E., Mota-Sanchez, D., Hollingworth, R.M., 2008. *Global pesticide resistance in arthropods*. Cabi.



**Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research, Education & Extension Organization
Iranian Research Institute of Plant Protection**

Insecticide Resistance in Pests and its Management

**By:
Hadi Mosallanejad
57119
2019**