

اکولوژی (بوم شناسی) و مدیریت شب پره پشت الماسی:

مشکلات، پیشرفت و چشم اندازها

چکیده

رشد چشمگیر کشاورزی و تولید بیشتر محصولات نباتی و دانه های روغنی طی دو دهه گذشته، وضعیت آفات شب پره پشت الماسی (DBM)، *Plutella xylostella* L. را افزایش داده است و در حال حاضر برآورد شده است که سالانه 4 تا 5 میلیارد دلار برای اقتصاد جهانی هزینه در بر داشته باشد. درک ما از برخی از جنبه های اساسی بیولوژی و اکولوژی DBM، به ویژه در مورد روابط گیاهان میزبان، تعاملات تریتروفیک و مهاجرت به طور قابل توجهی بهبود یافته است، اما دانش ما از جنبه های دیگر مانند توزیع جهانی و فراوانی نسبی آن، به طرز شگفت آوری محدود باقی مانده است. کنترل بیولوژیکی هنوز هم تقریباً به طور انحصاری روی تعدادی از انواع پارازیتوئیدهای (انگلهای) هیمانوپتران متمرکز است. اگرچه اینها می توانند بسیار مؤثر باشند، اما حشره کش ها همچنان اساس مدیریت را تشکیل می دهند؛ استفاده نامناسب از آنها پارازیتوئیدها را مختل می کند و باعث مقاومت در برابر محصولات موجود می شود. درک اکولوژیکی بهبود یافته و در دسترس بودن مجموعه ای از حشره کش های انتخابی بسیار مؤثر در طول دهه 1990، پایه و اساس رویکردهای مدیریت یکپارچه آفات پایدار و از نظر اقتصادی مقاوم (IPM) را فراهم کرد. با این حال، رجوع مکرر به برنامه های حشره کش برنامه ریزی شده منجر به مقاومت در برابر این ترکیبات اخیراً معرفی شده و خرابی برنامه های IPM شده است. در حال حاضر، فناوری های اثبات شده ای برای مدیریت پایدار DBM وجود دارند، اما غلبه بر موانع اتخاذ پایدار آنها همچنان به عنوان یک چالش بزرگ باقی مانده است.

کلمات کلیدی: *Plutella xylostella*، مدیریت یکپارچه آفات، کنترل بیولوژیکی، روابط گیاه میزبان، مقاومت در برابر داروی حشره کش، محصولات Bt-Brassica

مقدمه

هنوز بیست سال نشده است که Shelton و Talekar (168)، بررسی های برجسته خود در مورد شب پره پشت الماسی (DBM)، *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) را منتشر کرده اند، در حال حاضر به طور قابل توجهی در مورد جنبه های بسیار زیادی از زیست شناسی (34، 147، 155، 161)، بوم شناسی (125، 129) و ژنتیک (12) آن آگاهی داریم. با وجود این پیشرفت ها، DBM وضعیت خود به عنوان مخرب ترین عضو مجتمع آفات حشرات که به مزارع نباتی کلزا (*Brassica*) در مناطق مختلف جهان حمله می کنند (34، 147، 155، 161، 165، 167) را حفظ کرده است و در صورت تناوب این حملات، به طور فزاینده یک تهدید مهم برای تولید کلزا محسوب خواهد شد (45).

بین سال های 1993 و 2009، در سطح جهانی محصولات نباتی *Brassica* تا 39 درصد افزایش یافته است و در سال 2009 تخمین زده شده است که 3.4 میلیون هکتار در سراسر جهان (38) رشد داشته باشد. همزمان با این تغییر، شیوه های کشاورزی افزایش یافت و به دنبال آن محصول کلم نیز 27 درصد رشد داشته اس و اکنون نباتات برزیکا بیش از 26 میلیارد دلار برای اقتصاد جهانی کمک کرده است (38). در همان دوره، سطح زیر کشت گیاهان روغنی کاشته شده 59٪ افزایش یافت، و در سال 2009 بیش از 31 میلیون هکتار در سطح جهان کشت شد (38)، و این غالباً در مناطقی بود که قبلاً در آنجا این محصول کشت نشده بود. این تغییرات منجر به تغییرات قابل توجهی در بسیاری از مناظر محلی شده است (45) و چالش های تجدید نظر شده ای را برای مدیریت DBM (143) فراهم آورده است.

Shelton و Talekar (168) بر اهمیت اقدامات کارگاه های بین المللی در مورد DBM که در سالهای 1985 و 1990 برگزار شد (165، 167)، تأکید کردند. چهار کارگاه اضافی که بین سالهای 1996 و 2011 تشکیل شد و

هر یک اقدامات ارزشمندی درمورد تحقیقات معاصر DBM انجام دادند (34، 147، 155، 161). با توجه به این بدنه کار، از بسیاری از نشریات موجود در مقالات دانشگاهی و از تغییراتی که از سال 1993 در تولید محصولات زراعی برزیکا رخ داده است، موقع آن رسیده است که دانش خود در مورد اکولوژی و مدیریت DBM را مورد بررسی قرار داده و آن را در متن فعلی قرار دهیم.

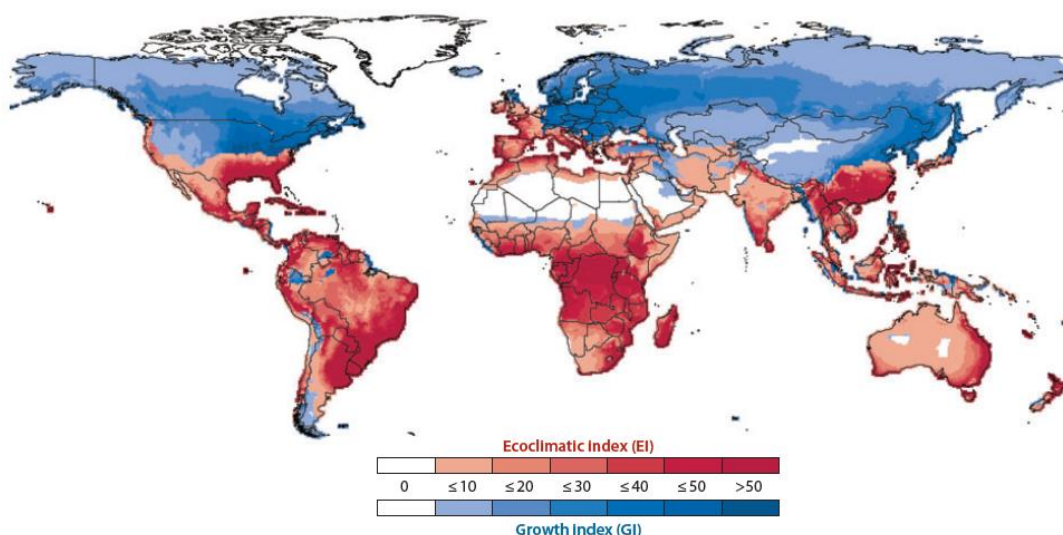
توزیع DBM، مدیریت فعلی و هزینه های اقتصادی

علیرغم وضعیت آفات DBM و ادعاهایی در مورد اینکه این گسترده ترین توزیع از تمام پولک بالان (Lepidoptera) است (168)، درک فعلی ما از توزیع جهانی و فراوانی نسبی آن محدود است (187). نقشه توزیع اصلی (25) ترکیبی از سوابق توزیع ناقص است، و این نسخه اخیراً توسط نسخه ای جایگزین شده است که کشورهایی را که گزارش DBM در آن گزارش شده است را ثبت می کند (16).

Zalucki و Furlong (187) یک مدل بیوشیمیایی را برای DBM توسعه داده و مورد تأیید قرار دادند که توزیع اصلی آن را پیش بینی می کند که این در طول سال و همچنین مناطقی که می تواند آفت فصلی باشد، ادامه می یابد (شکل 1). این مدل همچنین فنولوژی (پدیده شناسی) فصلی متغیر نشان داده شده توسط DBM در سراسر دامنه وسیع مربوط به آن را پیش بینی می نماید (189) و تأثیرات محدودکننده جمعیت باران زیاد و دمای شدید (82) که می تواند از مقاومت در طول سال جلوگیری کند را نشان می دهد (55، 58). علاوه بر این، این مناطقی را مشخص می کند که از نظر فصلی برای رشد جمعیت DBM مناسب هستند، مناطقی که در آن شیوع آفات می تواند به دنبال هجوم DBM افزایش یابد (31).

با وجود تلاش قابل توجه برای توسعه رویکردهای یکپارچه برای مدیریت DBM (39، 51)، اکثریت قریب به اتفاق محصولات برزیکا به صورت پیشگیری با حشره کش ها می باشند (51). این شیوه در کشورهای گرمسیری بسیار کاربرد دارد جاهایی که محصولات غیر منتخب، اغلب مخلوط می شوند، و این شیوه معمولاً 1 تا 2 بار در هفته بر روی آنها اعمال می شود (5، 51، 96)؛ با این حال، استفاده بیش از حد از حشره کش ها در برابر DBM محدود به

جهان در حال توسعه یا مناطق استوایی نمی شود (95). چنین شیوه هایی باعث افزایش انتخاب مقاومت حشره کش (81)، نابود کردن دشمنان طبیعی (44) و آلوده کردن محیط می شود. آنها همچنین گران قیمت هستند، و یک مطالعه جدید (189) تخمین زده است که کنترل سالانه DBM در محصولات گیاهی برزیکا به تنهایی 1.4 میلیارد دلار در سراسر جهان هزینه در بر دارد، در صورت ضرر در بازده به 2.7 میلیارد دلار افزایش می یابد و در صورت ضرر و زیان DBM و هزینه های کنترل به 4-5 میلیارد دلار نیز می رسد تا صنعت کلزا در سراسر جهان افزایش یابد.



شکل 1: پیش بینی توزیع جهانی شب پره پشت الماسی (DBM) بر اساس یک مدل بیولوژیکی معتبر (187). مناطقی که به رنگ قرمز نشان داده شده اند، شاخص اکوکلیماتیک (EI) مثبت می باشند و DBM می تواند در تمام طول سال ادامه یابد؛ سایه قرمز توزیع اصلی DBM را مشخص می کند. مناطق آبی رنگ، مناطقی از جهان را نشان می دهد که در آن EI صفر است اما در آن شاخص رشد سالانه (GI) مثبت می باشد؛ در این مناطق DBM نمی تواند در طول سال دوام داشته باشد اما به دنبال هجوم پروانه ها از جاهای دیگر می تواند به یک آفت فصلی تبدیل شود.

بیولوژی و اکولوژی DBM: پیشرفت ها از سال 1993

دشمنان طبیعی DBM

طیف گسترده ای از دشمنان طبیعی، از جمله پارازیتوئیدها، بندپایان غارتگر، ویروس ها، میکروسپوریدها، قارچ های بیماری زا و باکتری ها به DBM حمله می کنند. تحقیقات اساسی و کاربردی قابل توجهی در طی دو دهه گذشته روی این ارگانیسم ها به ویژه در برنامه های کنترل بیولوژیکی کلاسیک با استفاده از انگلهای هیمانوپتران (129) متمرکز شده است.

پارازیتوئیدهای هایمانوپتران. کنترل بیولوژیکی کلاسیک برای DBM از سال 1936 آغاز شد، زمانی که پارازیتوئید لارو -شفیره *Diadegma semiclausum* (Hellen) (پرده بالان: Ichneumonidae) و پارازیتوئید مگس *Diadromus collaris* (Gravenhorst) (پرده بالان: Ichneumonidae) با موفقیت در نیوزیلند از انگلستان (168) معرفی شد و منجر به معرفی بیشتر هر دو گونه از نیوزیلند به اندونزی (180)، استرالیا (186) و مالزی (104) شد. به دنبال واردات *D. semiclausum* از اندونزی، پارازیتوئید در تایوان (169) مستقر شد و مواد اولیه لازم را برای معرفی موفقیت آمیز بعدی در فیلیپین (177)، هند (21)، لائوس، ویتنام، چین (166) و کنیا فراهم کرد. در سال 2005، *D. semiclausum* از مالزی با موفقیت در مناطق مرتفع تایلند (174) مستقر شد. از این رو، منشاء جمعیت *D. semiclausum* که در سراسر آسیا، استرالیا و بخش هایی از آفریقا مستقر شد، کاملاً واضح و مستند است و در نهایت از انگلستان سرچشمه می گیرد. به طور مشابه، زنبور پارازیتوئید *Cotesia (=plutellae) vestalis* (هالیدی (پرده بالان: Braconidae) بیش از 20 مقدمه کنترل بیولوژیکی کلاسیک را به خود اختصاص داده است که بسیاری از آنها موفق بوده اند (28، 166). علاوه بر این، به نظر می رسد که این پارازیتوئید دارای توزیع طبیعی وسیع تری نسبت به *D. semiclausum* است و برای حمله به DBM در بسیاری از مناطق بدون هیچ سوابق مقدماتی ثبت شده است [به عنوان مثال، مالزی (104)، تایوان (166)، ویتنام (166)، چین (87) و ژاپن (3)]. پارازیتوئید لارو-شفیره *Oomyzus sokolowksii* Kurdjumov (پرده بالان:

Eulophidae) نیز در کشورهایی که بدون سابقه مقدماتی ثبت شده است [به عنوان مثال: استرالیا (46)، ژاپن (166)، آفریقای جنوبی (71)، و کره شمالی (39)]؛ با این حال، به عمد وارد چین و تایوان شده است (166). به طور مشابه، پارازیتوئیدهای شفیره *D. collaris* و *Diadromus subtilicornis* (گریون هرست) (پرده بالان: Ichneumonidae) توزیع طبیعی گسترده ای دارند (28). از زمان انتشار اولیه *D. collaris* در نیوزلند، این در بسیاری از کشورها معرفی شده است (28)، اما *D. sub-tilicornis* هرگز برای کنترل بیولوژیکی معرفی نشده است (28).

موفقیت برنامه های کنترل بیولوژیکی کلاسیک اغلب با استفاده گسترده از حشره کش های طیف گسترده و یا معرفی گونه ها در آب و هوای نامساعد کاهش می یابد یا مانع آن می شود (166). به طور کلی، تا زمانی که استفاده از حشره کش ها با طیف گسترده محدود شود، *D. semiclausum* و *D. collaris* در آب و هوای خنک و معتدل مانند مناطق کوهستانی مناطق استوایی مستقر می شوند و *C. vestalis* و *O. sokolowskii* در آب و هوای گرم از جمله مناطق دشتی مناطق گرمسیری، از جمله مناطق دشتی مناطق استوایی عملکرد بهتری دارند (34، 147، 155، 161، 165، 167).

اگرچه جانوران بومی هیموپترا انگلی و معرفی شده در حمله به DBM در بسیاری از نقاط جهان به خوبی ثبت شده است (28)، اما عدم شناسایی قابل توجهی از گونه ها وجود دارد و داده های قبل از سال 1950 غالباً غیرقابل اطمینان هستند. اخیراً، وضعیت گونه های *Diadegma* در حمله به DBM روشن شده است (6)، اما شناخت *C. vestalis* Haliday به عنوان مترادف برتر *C. plutellae* Kurdjumov (145) برای نفوذ در مقالات زمان می برد. شواهدی وجود دارد که تفاوت های بیولوژیکی مشخصی بین برخی از جمعیت *C. vestalis* وجود دارد، اما وجود گونه های کریپتیک مورد تردید نیست (120). روش های مولکولی که می توانند به طور قابل اعتماد میزبان ها و پارازیتوئیدهای نابالغ (172) را شناسایی کنند و از نظر بیولوژیکی آنها را از هم جدا نمایند اما از نظر مورفولوژی این جمعیت قابل شناسایی می باشد (181) که ممکن است به دلیل تأثیرات بنیانگذار و یا تغییراتی که در جمعیت

معرفی شده پس از استقرار ایجاد شده است، باشد، که این ابزاری را فراهم می آورد که می تواند موفقیت برنامه های کنترل بیولوژیکی آینده را بهبود ببخشد.

در سراسر جهان، مجموعه انگل واره که به DBM حمله می کند، تقریباً برابر با 60 گونه است (28)، که به طور قابل توجهی کمتر از آنچه قبلاً نشان داده شده بود، است (168). با این حال، فقط حدود دوجین گونه غالباً بازبایی شده است؛ وضعیت طبقه بندی و توزیع های تأیید شده آنها در جدول 1 خلاصه شده است. اگرچه انگل تخم مرغ برای حمله به DBM در بسیاری از مناطق جهان ثبت شده است (به عنوان مثال ، 83 ، 87) ، اما به نظر می رسد که در مقالات کمتر به آن پرداخته شده است (28). این امر به دلیل بیولوژی، نمونه برداری در مناطق کشاورزی که میزان استفاده از سموم دفع آفات زیاد است، یا یک منطقه مصنوعی مورد بررسی و روش های جمع آوری نیاز به تحقیق و بررسی دارد.

بندپایان غارتگر (درنده). تمرکز روی پارازیتوئیدها بدان معنی است که سایر دشمنان طبیعی ، به ویژه بندپایان درنده، توجه کمتری را به خود جلب کرده اند، اگرچه از نظر اکولوژی دشواری ارزیابی درنده ها در درک محدود نقش آنها در سرکوب جمعیت DBM نقش دارد (47). در مطالعات جامع در مورد جدول زندگی، هارکورت (55) به مرگ و میر ناشی از این درندگان هیچ اشاره ای نکرده است و نتیجه گرفته است که بارندگی، انگل ناشی از Diadegma insulare (کرستون)، و کاهش باروری جانور ماده از مهمترین عوامل مؤثر بر جمعیت DBM در انتاریوی کانادا است. این یافته ها با توجه به اینکه مطالعات جدید نشان داده اند که درندگان می توانند به طور قابل توجهی بر جمعیت DBM در اکوسیستم زراعی برزیکا در ایالات متحده (101)، استرالیا (43، 44)، چین (86) و کره شمالی (39) تأثیر بگذارند، کمی تعجب آور است. در استرالیا همانند انتاریو، لاروهای حیوانات تازه متولد شده بیشتر مرگ و میر را متحمل می شوند، اما بخش اعظم این می تواند به شکار فصلی (43 ، 44) نسبت داده شود، نشان می دهد که تقسیم منابع بین شکارچیان و انگل های اصلی، D. semiclausum که به لاروهای بزرگتر حمله می کند، می تواند شکارگری درون راسته ای را به حداقل برساند. Harvey و Eubanks (56) نشان دادند که جمعیت میدانی

Solenopsis invicta می تواند برای سرکوب جمعیت DBM دستکاری شود، اما سایر مطالعات میدانی تجربی در مورد شکار DBM نادر است؛ اکثر مطالعات از گونه های شکارچی استفاده می کنند که هیچ اثر بخشی درستی در برابر DBM در آزمایشگاه یا آزمایش های میدانی محصور یا شکارچیان خوراک DBM در آزمایشگاه ندارد (47). علیرغم کمبود نسبی داده ها در مقایسه با پارازیتوئیدها، شکارچیان می توانند عامل مهمی در مرگ و میر در جمعیت DBM (39، 43، 44) باشند و اتخاذ شیوه های مدیریت آفات که از آنها محافظت می کند، می تواند مرگ و میر آفات را به طرز چشمگیری افزایش دهد (39، 44). در حال حاضر، تأثیر مجموع شکارچی های بومی بر جمعیت DBM در بسیاری از اکوسیستم های برزیکا ناشناخته است، اما به احتمال زیاد آنها یک منبع طبیعی استفاده نشده را نشان می دهند و این نیاز به تحقیقات بیشتری دارند.

پاتوژن ها (بیماری زا). DBM توسط طیف وسیعی از پاتوژنها مورد حمله قرار می گیرد که از این مورد باکتری *Bacillus thuringiensis*، که باعث تغییر در مدیریت DBM (129) شده است، مورد استثنا قرار گرفته است و مهمترین آنها قارچ ها، ویروس ها و نماتودها می باشد. پاتوژنهای قارچی مورد مطالعه DBM شامل *Zoopthora* *Paecilomyces* (*Isaria farinose* و *Metarhizium anisopliae*، *Beauveria bassiana*، *radicans* (129) *farinosus*) می باشد و کارهای چشمگیری در زمینه بیماریزایی، زیست شناسی و بوم شناسی آنها انجام شده است (41، 42، 129). اپیزوتیک های طبیعی *Z. radicans* می توانند باعث تصادم جمعیت DBM شوند؛ زیست شناسی و زیست محیطی پاتوژن به خوبی درک شده است (41، 42) و روشهای عملی برای انتشار آن توسعه یافته است (40، 179). با این حال، بخش عمده ای از کارها در مورد قارچ های بیماریزای حشره ای به صورت آزمایشگاهی باقی می ماند و اگر چه برخی از محصولات برای استفاده در مزرعه در دسترس هستند، اما هنوز هم بخشی از برنامه های IPM اتخاذ شده را تشکیل نمی دهند. به طور مشابه، گرانولوز، هسته پولیدروز و سایپروویروس ها از DBM جدا می شوند (51). اگرچه ویروس گرانولوز *PlxyGV* در آزمایش های تجربی عملکرد خوبی داشته است، محصولات تجاری خارج از چین در دسترس نیستند و ویروس ها بخشی از هیچ برنامه فعلی

IPM نمی باشند (51). در نهایت، نماتودهای بیماری زای حشره (Steinernema sp. و Heterorhabditis sp.) برای کنترل میکروبی DBM مورد بررسی قرار گرفته و تکنیک های کاربردی با حجم بسیار کم در آزمایشات امیدوار کننده می باشند (94). باین حال، استفاده میدانی باز با حساسیت به اشعه ماورای بنفش و رطوبت نسبی بالا محدود است (51).

جدول 1: عمده انگل های اصلی DBM و توزیع های مورد تأیید در سراسر جهان

گونه ها (نوع اصلی) { مترادف }	منشأ	سوابق توزیع مورد تأیید ^a
پارازیتوئیدهای لاروی اولیه		
Diadegma sem/claHsum (هلن) [آنگیتا] Angitia cerophaga Diadegma ؛Gravenhorst eucerphaga Hortsmann Diadegma xylostellae {Kusigemati	پالارکتریک	اروپا: انگلیس ، فرانسه ، اتریش ، هلند ، صربستان ، رومانی ، بلغارستان ، ترکیه ، فنلاند ، روسیه؛ آسیا: ازبکستان ، نپال ، ایران ، تایوان ، اندونزی ، مالزی ، تایلند ، چین ، هند؛ آفریقا: مصر ، کنیا؛ استرالیا و اقیانوسیه: استرالیا ، نیوزیلند ، پاپوا گینه نو
Diadegma fenestrale (Holmgren) Diadegma varuna } [Limneria] Diadegma niponica ؛Gupta {Kusigemati	پالارکتریک	اروپا: انگلیس ، فرانسه ، آلمان ، رومانی ، یونان ، لهستان ، فنلاند ، روسیه؛ آسیا: ژاپن ، هند
(Holmgren) Diadegma mollipla [Limneria]	افروتروپیک	آفریقا: اریتره ، کنیا ، مالاوی ، تانزانیا ، آفریقای جنوبی ، جزیره رئونیون ، موریس
(Cresson) Diadegma insulare Limneria } [Mesoleptus] {polynesialis Cameron	شمالگانی / نوتروپیک	آمریکای شمالی: کانادا ، ایالات متحده ، مکزیک؛ آمریکای جنوبی: هندوراس ، ونزوئلا؛ کارائیب: پورتوریکو ، کوبا ، جامائیکا ، جمهوری دومینیکن
(Brethes) Diadegma leontinae [Limnerium]	نوتروپیک	آمریکای جنوبی: برزیل ، اروگوئه ، آرژانتین ، شیلی
Diadegma novaezealandiae Quicke و Fitton ،Azidah	استرالیا	استرالیا و اقیانوسیه: نیوزیلند
دیدادگما رپی (کامرون) [بوسمینیا]	استرالیا	استرالیا و اقیانوسیه: استرالیا
Cotesia vestalis Haliday Cotesia plutellae } [Apanteles]	پالارکتریک	اروپا: فرانسه ، اتریش ، فنلاند ، صربستان ، بلغارستان ، روسیه ، اوکراین ، ترکیه؛ آسیا: ژاپن ،

سريلانكا ، چين ، تايوان ، ويتنام ، اندونزی ، مالزی ، فيلپين ، تایلند ، میانمار ، هند ، پاکستان ؛ آفريقا: جزاير کيپ ورد ، بنين ، سنگال ، آفريقای جنوبی ، جزيره رئونیون ؛ آمریکای شمالی: ایالات متحده ؛ آمریکای جنوبی: ونزوئلا ، برزیل ؛ کارائیب: مارتینیک ، باربادوس ، جزاير لير ، سنت کیتس ، سنت لوسيا ، ترینیداد ، گوادلوپ ؛ استراليا و اقیانوسیه: استراليا ب ، هاوایی ، فیجی ^b		{(Kurdjumov)
آمریکای شمالی: کانادا ، ایالات متحده ؛ آسیا: لائوس	نیرکتیک	Microplitis plutellae Muesbeck
آفريقا: آفريقای جنوبی	افروتروپیک	} Apanteles halfordi Ullyett { Apanteles eriophyes Nixon
آمریکای جنوبی: آرژانتین ، برزیل ، ونزوئلا	نوتروپیک	Apanteles piceotrichosus Blanchrad
اروپا: فرانسه ، سوئیس ، ایتالیا ، مجارستان ، رومانی ، روسیه ؛ آسیا: پاکستان ، هند ، سريلانكا ، ژاپن ، چين ، کره شمالی. آفريقا: مصر ، جزاير کيپ ورد ، سنگال ، بنين ، کنیا ، آفريقای جنوبی ؛ آمریکای شمالی: کانادا ، ایالات متحده ؛ آمریکای جنوبی: برزیل ، شیلی ؛ کارائیب: جامائیکا ، جمهوری دومینیکن ، باربادوس ، ترینیداد ، مارتینیک ؛ استراليا و اقیانوسیه: استراليا ، فیجی ^c	پالارکتیک	Oomyzus sokolowksii [Tetrastichus] (Kurdjumov)
		پارازیتوئیدهای پوپال اولیه
اروپا: انگلیس ، هلند ، آلمان ، فرانسه ، اتریش ، صربستان ، رومانی ، بلغارستان ، ترکیه ؛ آسیا: هند ، ژاپن ، چين ، مالزی ، کره شمالی ؛ آفريقا: آفريقای جنوبی ؛ استراليا و اقیانوسیه: استراليا ، نیوزیلند ، فیجی ، جزاير کوک	پالارکتیک	(Gravenhorst) Diadromus collaris [Ischnus]
اروپا: آلمان ، لهستان ، صربستان ، رومانی ، فنلاند ، روسیه ؛ آسیا: ژاپن ؛ آمریکای شمالی: کانادا ؛ کارائیب: جمهوری دومینیکن	هولارکتیک	Diadromus subtilicornis [Ichneumon] (Gravenhorst)

a سوابق توزیع مورد تأیید از مراجع 28، 34، 147، 148، 166 گردآوری شده است: فونت منظم Delvare (28)؛ فونت ایتالیک، سوابق میدانی منتظر شده از Delvare (28)؛ فونت زیرین، سوابق منتشر شده از Delvare (28) که در آن پارازیتوئید در کشوری مستقر شده و یک برنامه کنترل بیولوژیکی کلاسیک را دنبال می نماید و هویت آن مورد شک و تردید نمی باشد.

b مطالعات اخیر نشان می دهد که *C. vestalis* به طور گسترده در استرالیا توزیع نشده است و به ندرت با آن رو به رو می شود.

c بررسی های گسترده در فیجی نشان می دهد که *Cotesia vestalis* و *Oomyzus sokolowskii* به طور مرتب از میزبان های شب پره پشت الماسی بازیابی می شوند اما نشان می دهد که *Diadromus collaris* ایجاد نشده است (5).

تعاملات گیاه میزبان DBM

اهمیت اقتصادی DBM با توجه به وضعیت آفات آن در محصولات زراعی متعلق به خانواده Brassicaceae به ویژه نوع برزیکا مشخص می شود (1). همه گیاهان بهره برداری شده از محصولات زراعی نیستند و بسیاری از گونه های غیر زراعی و علف های هرز (67، 125) اغلب هنگامی که محصولات زراعی کمیاب هستند، مهمترین ماده اصلی برای DBM و پارازیتوئیدهای مرتبط در نظر گرفته می شوند (46، 67).

گلوکوزینولاتها. گلوکوزینولاتها ترکیبات غیر فرار هستند (59، 171) که بر تعامل بین DBM و میزبان Brassicaceae آن تسلط دارند، اگر چه اگرچه سایر ترکیبات گیاهی ثانویه نیز نقش مهمی را ایفا می نمایند (118، 175). تقریباً 30 گلوکوزینولات آلیفاتیک، آروماتیک و ایندول از نوع برزیکا جدا شده اند (59، 171)؛ مکمل موجود در گیاهان تحت تأثیر شرایط محیطی قرار دارد و در میان بافت ها، مراحل آنتوژنی (رشد شناسی)، گونه ها و ارقام زراعی موجود در گونه ها متفاوت می باشد (59). گلوکوزینولاتها فعالیت بیولوژیکی محدودی دارند، اما هنگامی که بافت گیاهی آسیب دیده باشد با میکروسیناز در تماس بوده و در نتیجه به سرعت محصولات هیدرولیز سمی تولید

می کند. این محصولات شامل ایزوتیوسیانات ها می باشند که دارای طیف گسترده ای از سمیت برای حشرات از جمله DBM هستند (80). با این حال، تولید آنها در DBM توسط یک گلوکوزینولات سولفاتاز در لومن روده دور می زند که گوگرد را از مولکول های گلوکوزینولات خارج می کند، از این طریق، مانع هیدرولیز میروسیناز و جلوگیری از تشکیل محصولات سمی می شود (114). در نتیجه، DBM می تواند گلوکوزینولات ها را بدون تأثیر یا با تأثیر کم بر عملکرد لارو (80، 103) مورد استفاده قرار دهد، مشروط بر اینکه فعالیت میروسیناز افزایش نیابد (80)؛ هر دو گلوکوزینولاتهای آلیفاتیک و ایندول در واقع تغذیه لاروهای DBM را تقویت می کنند (103).

ایزوتیوسیاناتها جذب کننده و محرک تخمک گذاری قدرتمندی هستند (119) در حالی که گلوکوسیتولهای دست نخورده محرک قوی برای تحریک تخریب DBM می باشند (66)؛ تحقیقات اخیر نشان می دهد که گلوکوزینولاتهای غیر فرار ایندول از این نظر از اهمیت ویژه ای برخوردارند (164). موم های (wax) سطحی نیز برای تخمک گذاری DBM و برهم کنش های هم افزایی با هموژنات کلم مهم هستند و سینگرین گلوکوزینولات آلیفاتیک باعث تخمک گذاری DBM می شود (160). با توجه به ماهیت غیر فرار سینگرین، نشان داده شده است که تخریب خود به خودی گلوکوزینولات و سپس جذب آلیل ایزوتیوسیانات منتشر شده به موم، مکانیسم های احتمالی برای این اثر باشد (119). با این حال، حداقل در برخی از گونه های باربارا، گلوکوزینولاتها ممکن است در وکس (موم) سطح برگها وجود داشته باشند (7)، توضیح احتمالی در مورد جذابیت این گیاهان برای تخمک گذاری DBM ارائه داده شده است (146). میزان کل گلوکوزینولات در گیاهان می تواند در پاسخ به تغذیه توسط DBM یا با استفاده از آگزوژن از محرک های پاسخ دفاعی افزایش یابد، که منجر به تغییر در نسبت ترکیبات آلیفاتیک، آروماتیک و ایندول می شود (171). تا به امروز هیچ الگوی مشخصی پدید نیامده و تغییرات در مشخصات گلوکوزینولات در صورت بروز، به شدت به گونه های گیاهی وابسته است (171).

پاسخ گیاهان میزبان القایی: تأثیرات آن بر تخمک گذاری و عملکرد DBM. حمایت سازنده متضاد بین گیاهان میزبان می تواند منجر به تفاوت های قابل توجه در عملکرد DBM شود (110، 126، 191، 192).

گیاهخواری یا استفاده از محرکهای پاسخ دفاعی می توانند تغییراتی در گلوکوزینولات (49، 171) و پروفیل های فرار (48، 74) گیاهان میزبان DBM ایجاد کنند که می تواند هم به عنوان الگوهای اصلاح شده تخمک گذاری ما بین (91، 151) و درون (153) گیاهان ظاهر شوند و تأثیرات اضافی اما متغیر بر عملکرد DBM داشته باشند (60، 192). علیرغم توجه قابل ملاحظه در سال های اخیر، درک روابط حمایت های سازنده و القا شده به دلیل پیچیدگی آنها (191) و تأثیرات مخرب گیاه خواری بر سیستم های آزمایشی، این موضوع همچنان به عنوان یک چالش محسوب می شود (192). هنگامی که نقش آنها در حمایت های غیرمستقیم در نظر گرفته شود، پیچیدگی دفاعی ناشی از آن بیشتر می شود (48، 74) و حتی شواهدی وجود دارد که نشان می دهد تخمک گذاری DBM می تواند بین گیاهانی که دارای میزبانان خاص انگلی هستند، تمایز قایل شود (24).

وابستگی گیاه میزبان غیر Brassicaceae (تیره ای از کلم سانان). تخمک گذاری DBM در گیاهان غیر میزبان می تواند با تجربه القا شود (190) و با میزبانهای خارج از Brassicaceae همراه گردد (125). با این وجود، تغییر میزبان گزارش شده از جمعیت DBM به *Pisum sativum* L. (Fabaceae) در سال 1990 (90) باعث علاقمندی قابل ملاحظه ای شد. تجزیه و تحلیل ژنتیکی جمعیت DBM نشان داد که آللهای که بقای روی *P. sativum* را فعال می کنند ثابت نبودند (57)، که این نشان دهنده انعطاف پذیری ژنتیکی قابل توجه DBM و تغییر ناقص میزبان است.

تعاملات سه سطح غذایی (Tritrophic). *Cotesia vestalis* و *D. semiclausum* به بخارهای ساطع شده از گیاهان میزبان آلوده به DBM جذب می شوند (15، 111)، اما اولویت های متمایز برای گیاهان آلوده به گیاهان *Brassica oleracea* و *Brassica rapa* را نشان می دهند (84، 178). گیاهان *B. oleracea* و *B. rapa* مخلوط های ناپایداری را منتشر می کنند که شامل بخارهایی از برگ های سبز، ایزوتیوسیاناتها، نیتریل ها، دی متیل تری سولفید و ترپن ها می باشد (48، 74) و تغذیه DBM باعث تغییراتی در پروفیل های فرار هر گونه گیاه می شود که منجر به افزایش *C. vestalis* می شود (48، 74).

تغذیه باعث تولید بیشتر بخارهای خاص می شود و پروفیل های تغییر یافته نشانگر وضعیت آلودگی فعلی (74) و تراکم لاروهای DBM آلوده است (48)؛ آنها همچنین باعث تحریک جستجوی تغذیه پارازیتوئیدها می شوند (173). با وجود این پیشرفت ها، چیزهای زیادی در مورد نقش اجزای مختلف ترکیبات ناپایدار و مسیرهای علامت دهی گیاه وجود دارد (157) که جذب واسطه دشمنان طبیعی DBM به گیاهان آلوده خیلی کم درک می شود. به عنوان مثال، ردی و همکاران (117) گزارش دادند که بخارهای ساطع شده از برگ های سبز برای *C. vestalis* جذاب هستند، در حالی که Shiojiri و همکاران (150) اظهار داشتند که آنها جذب کننده نیستند بلکه ممکن است در توقیف پارازیتوئیدها نقش داشته باشند و Kugimiya و همکاران (74) و Ibrahim و همکاران (60)، نتایج متناقضی در مورد جذب *C. vestalis* از سوی لیمونن گزارش دادند. به طور مشابه، به نظر می رسد که متیل سالیسیلات اثرات منفی در جهت گیری *D. semiclausum* نسبت به گیاهان دارد (156)، اما این ماده در مقادیر زیادی توسط *B. oleracea* آلوده به DBM (48) تولید می شود که برای *D. semiclausum* جذاب است (15). واضح است که ترکیبات فرار به جای ترکیبات واحد، واسطه پاسخ های پارازیتوئید DBM می باشد و این نیاز به بررسی بیشتر دارد.

وضعیت تغذیه ای گیاهان میزبان می تواند به طور قابل توجهی بر ترجیحات تخمک گذاری DBM تأثیر بگذارد، و کودهای گوگردی (8، 93) و درمان هایی که نیتروژن شاخ و برگ را افزایش می دهند (162)، باعث تقویت تخمک گذاری می شوند. اگرچه گوگرد باعث بهبود عملکرد لاروی DBM بر روی گیاه زراعی برزیکا شد (93)، اما تأثیر درمان های مختلف کودهای شیمیایی بر عملکرد لارو در سایر محصولات زراعی کمتر مشخص است (163). به طور مشابه، عملکرد *D. insulare* توسط گیاه میزبان (127) DBM و رژیم های کود (128) تحت تأثیر قرار گرفت و افزایش نیتروژن شاخ و برگ باعث بهبود عملکرد *D. insulare* شد (128).

با وجود تأثیرات قابل توجه گیاه میزبان بر عملکرد و سازگاری DBM (126، 158) و پارازیتوئیدهای آن (32، 49، 127)، تأثیرات منفی قابل اندازه گیری DBM توسط *C. vestalis* بر انگلی شدن گیاه (70) یا پویایی جمعیت پارازیتوئید میزبان تأثیر نمی گذارد (69). هنوز درک زیادی در مورد این فعل و انفعالات پیچیده وجود ندارد، و

پژوهش های آتی از گیاهان میزبان غیر بومی استفاده کرده و بینش های مهم و تفسیرهای تکاملی ممکن را ارائه می دهند. در حال حاضر، این پژوهش ها با استفاده از گیاهان میزبان بومی که توضیحات تکاملی برای فعل و انفعالات تیتروفیک دارند، که باید با احتیاط زیادی با آنها برخورد شود.

جنبش محلی و مهاجرت

حرکت DBM در محصولات زراعی از طریق یک سری پروازهای کوتاه و جزئی در سایبان (تاج پوشش گیاه) محصول انجام می شود (97). در مطالعات مجدداً علامت گذاری شده، شفیره های نر و ماده از مشخصات پراکندگی مشابه برخوردار بوده و در کنار هم بیش از 95 درصد از آنها کمتر از 110 متر حرکت کرده و بیش از 99 درصد کمتر از 200 متر از نقاط رها سازی شده طی 5 تا 9 روز حرکت می کنند (97). اگرچه اکثریت قریب به اتفاق آنها به طور معمول در کنار محصول زایشی می مانند، اما می تواند حرکت قابل توجهی بین گیاهان زراعی و پوشش گیاهی شکوفه داده مجاور وجود دارد (142)، و بخش کمی از آنها (کمتر از یک درصد) ممکن است مسافت های بیشتری از محصولات سالم را به منظور سکونت در بخش های زراعی مجاور حرکت دهند (97).

حرکت طولانی تر DBM از طریق مهاجرت فعال حاصل می شود که توزیع جهانی آن (168) (شکل 1) و جمعیت های پانماکتونی که قسمت اعظمی از کره زمین را پوشش می دهد، توضیح داده شده است (33، 79). این ظرفیت مهاجرتی DBM را قادر می سازد تا از مناطقی که اجازه پایداری در طول سال را می دهد به مناطقی که فصل مناسبی برای رشد و توسعه دارند، منتقل شود (شکل 1). مناطقی که DBM نمی تواند از درجه حرارت پایین زمستان زنده بماند، سالانه از مناطقی که می تواند از آن عبور کند، مورد حمله قرار می گیرد. یک مدل مسیر برگشتی سه بعدی مبتنی بر مزارع بادی مبدأ از جنوب ایالات متحده و شمال مکزیک، ورود DBM به دالان های کانادا را توضیح می دهد، که بقای بیش از حد آن بسیار محدود است (31). در شمال ژاپن، شرایط زمستانی سرد از تجاوز بیش از حد DBM جلوگیری می کند، اما مهاجرت مجدد سالانه از مناطق جنوبی می تواند رخ دهد (58). بیشتر مدارک مربوط به چنین مهاجرت هایی غیرمستقیم است، اما در انگلستان رادارهای عمودی به نظر می رسد

که شبکه های هوایی مهاجرت DBM از قاره اروپا را تأیید کرده اند و راداری نیز برای پیش بینی موفقیت آمیز مهاجرت DBM در فنلاند استفاده شده است (78).

اگرچه مهاجرت گسترده DBM یک پدیده کاملاً اثبات شده است (22)، اما عوامل علی نیاز به بررسی بیشتر دارند. به طور معمول، مهاجران در مقایسه با غیر مهاجران دارای جثه کوچکتر، بال های بزرگتر و طول عمر بیشتر هستند (19) و این صفات مشخصه فنوتیپی توسط DBM پرورش داده شده بر روی گیاهان بالغ و Brassicaceae جنگلی (وحشی) (19، 102) نشان داده می شوند. فوتوپریود (نور دوره) به تنهایی روی رشد این صفات فنوتیپی در DBM تأثیر گذار نیستند (18)، اما هنوز باید در ترکیب با سایر عوامل محیطی مورد بررسی قرار گیرند. به طور مشابه، DBM پرورش داده شده بر روی شاخ و برگ های بارور شده بهینه (131) یا گیاهان میزبان ترجیح داده شده (132) دارای بال های بزرگتر می باشند و بیشتر از بزرگسالان DBM پرورش یافته روی شاخ و برگ های کم عمق کود داده شده عمر می کنند یا میزبان های کوچک تر با جثه های بزرگتر نسبت به حشرات پرورش یافته را ترجیح می دهند. بنابراین، به طور جداگانه، ژنوتیپ گیاهان میزبان و وضعیت تغذیه ای به نظر می رسد که صفات مشخصه اشکال مهاجر را تقویت می کند. با این حال، Shirai (152) استدلال می کند که DBM بالغ با جثه بزرگ و بال های بزرگ به طور معمول در فصول خنک تر توسعه می یابد، به خوبی با مهاجرت سازگار است، زیرا آنها توانایی پرواز بالاتر و باروری بیشتری دارند. اگرچه اکنون در مورد حرکات انبوه DBM بیشتر می دانیم، اما خصوصیات فنوتیپی افراد مهاجر، نشانه های بیوتیک و غیر زنده که باعث مهاجرت می شوند، و اینکه آیا جمعیت باعث بازگشت از مهاجرت می شوند، هنوز ناشناخته باقی مانده است.

مهاجرت احتمالی پارازیتوئیدهای DBM نیز برای توضیح برخورد آنها با فرزندان مهاجرت بزرگسالان DBM مورد استفاده قرار گرفته است. در غرب کانادا، *D. insulare* پارازیتوئید اصلی DBM است، اما نمی تواند در شرایط سخت زمستان زنده باقی بماند (30). منشأ آن هنوز مشخص نشده است، اما به احتمال زیاد به همراه میزبانان خود به سمت شمال مهاجرت می کند. در استرالیا، مهاجرت *D. semiclausum* نیز توضیح داده شده است که در صورت کاهش جمعیت یا انقراض جمعیت در تابستانهای گرم و خشک، نوکلونیزاسیون مناطق کشت کلزا را توضیح

می دهد (45). با این حال، در شمال ژاپن، *C. vestalis* به عنوان شفیره های میان آسا در مناطق بیش از حد سخت برای زنده ماندن زمستانی DBM و ظهور بزرگسالان در بهار (3) درست به محض مهاجرت جمعیت DBM از جنوب ژاپن زمستان گذرانی می کنند (58). به طور مشابه، در هانگژوی چین، *O. sokolowskii* و *D. collaris* در زمستان ساکن هستند (87) و میان آسای زمستان هر دو، *O. sokolowskii* و *D. collaris* در کره شمالی نشان داده شده است که انگل گرایی قابل ملاحظه ای از جمعیت DBM، احتمالاً از جنوب چین (79)، که هر سال محصولات زراعی برزیکا حمله می کنند را توضیح می دهد (39). این احتمال وجود دارد که هم مهاجرت و هم زمستان گذرانی پارازیتوئیدها نقش مهمی داشته باشند اما اهمیت نسبی هر کدام از نظر مکانی و زمانی متفاوت است؛ این تحقیقات بیشتر را تضمین می کند.

DBM در مقیاس دور نما

DBM از حس بویایی به منظور یافتن گیاهان میزبان استفاده می کند (108) و نشانه های شیمیایی گیاهان فرار از دید در فواصل کوتاه از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد (26). به محض فرود، DBM از نشانه های شیمیایی برای تأیید هویت گیاه و انتخاب محلی برای تخم گذاری استفاده می کند (66).

مناظر کشاورزی (زارعتی) می تواند بسیار متغیر باشد، و زیستگاه های غیر زراعی می توانند طعمه، میزبان، و منابع شرب جایگزین برای دشمنان طبیعی فراهم آوردند که می توانند جمعیت حشرات گیاهی را سرکوب کنند (77). نزدیکی به زیستگاههایی با مدیریت کمتر می تواند دسترسی به طعمه برای شکارچیان و انگلی DBM را فراهم کند (14، 142).

الگوهای توزیع مکانی DBM اغلب در سیستم های کشت سبزیجات (109، 185) و کلزا (130) تکه تکه می باشد. مکانیسم های هدایت این الگوها متغیر هستند اما می توانند شامل مقدار قطعه زمین مربوط به گیاه میزبان (53)، تنوع درون گونه ای در شمی و مورفولوژی گیاه (73)، سطح مواد غذایی گیاهان میزبان (130)، و آسیب های تغذیه های ناشی از سایر گیاه خواران باشند (185).

در سیستم های کشت کلزا ، توزیع DBM به طور کلی با مقادیر بالای نیتروژن در بافت های برگ جدا می شود (130). اگرچه مطالعات آزمایشگاهی مشخص کردند که تخمک گذاری در گیاهان کم گوگرد (8 ، 93) از نظر گوگرد کافی است، اما روابط بین توزیع میدانی DBM و گوگرد بی نتیجه بود (130). تحقیقات بیشتری برای درک بهتر چگونگی پردازش حس بویایی، بصری DBM و سایر نشانه های مربوط به محل استقرار و پذیرش گیاه و چگونگی تعامل این خصوصیات با ویژگی های گریز و پراکندگی آن، توانایی ادراکی و ترجیحات مربوط به تغذیه و تخمک گذاری مورد نیاز است.

مشخصات ، مقاومت و استراتژی های مدیریت مقاومت یکپارچه

مقاومت در برابر حشره کش و DBM

DBM یکی از چندین آفات محصول زراعی ثانویه است که به دلیل استفاده بیش از حد از طیف گسترده از حشره کش ها از زمان معرفی آنها در اواخر دهه 1940 (168) از اهمیت زیادی برخوردار هستند. استفاده از حشره کش های شدید در برابر DBM در تولید محصولات زراعی برزیکا با ارزش بالا منجر به افزایش فشار انتخاب برای مقاومت ، بخصوص در مناطق استوایی و نیمه گرمسیری شده است، که در آنجا سالانه نسل های زیادی از DBM به وجود می آید، تولید محصولات زراعی می تواند مداوم باشد، و تعداد کمی از گیاهان میزبان غیر زراعی به وجود آید (168). به عنوان مثال در مناطق مرتفع مالزی ، بیش از 90٪ کشاورزان از حشره کش های مصنوعی علیه DBM استفاده می کنند. بطور معمول کشاورزان در طی چرخه 10 تا 12 هفته از سه تا چهار نوع حشره کش استفاده می کنند و این برنامه ها را 1 تا 2 بار در هفته انجام می دهند (96).

Talekar و Shelton (168) به بررسی تاریخ اولیه مقاومت به حشره کش ها در DBM پرداختند و ما بر روی نمونه هایی از مقاومت میدانی که اخیراً گزارش شده است تمرکز می کنیم (جدول 2). DBM از معدود گونه حشرات است که مقاومت در برابر همه رده های اصلی حشره کش ها را توسعه داده است (جدول 2) و در پایگاه داده مقاومت در برابر سموم دفع آفات (APRD) Arthropod برای بیشترین تعداد حشره کش با مقاومت گزارش شده

حداقل در یک گروه، رتبه دوم را دارد. در سال 2012، APRD، 82 ترکیب را ذکر کرده است که مقاومت در برابر DBM را گزارش کرده است (4). DBM اولین گونه ای بود که مقاومت میدانی را در برابر سموم *Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry را توسعه داد (168) و این یکی از تنها سه گونه از حشرات است که مقاومت در برابر محصولات اسپری مبتنی بر Bt را دارد (4). این مقاومت نیز گسترده است (4) (جدول 2).

اینکه مقاومت حشره کش در جمعیت های میدانی DBM عامل اصلی عدم موفقیت کنترل است، و جای بحث و مذاکره دارد و تولید کنندگان (رویانندگان - عمل آورندگان) غالباً می توانند به سرعت به محصولی با یک ماده فعال متفاوت متوسل شوند که در آن در ابتدا مقاومت قابل مشاهده نیست (178). تجدید حیات آفات به دلیل از بین رفتن دشمنان طبیعی از طریق استفاده بیش از حد از حشره کش های طیف گسترده (39، 44) حداقل به اندازه مقاومت اهمیت دارد و همچنین احتمال بروز مشکلات باقیمانده محصولات زراعی را افزایش می دهد (166، 168، 178).

بسیاری از حشره کش های جدیدتر که برای کنترل DBM در طی 25 تا 30 سال گذشته معرفی شده اند انتخابی تر و در نتیجه سازگارتر با دشمنان طبیعی بوده اند. با این حال، آنها معمولاً به صورت متوالی و در مخلوطهای افشانه با ترکیبات قدیمی انتخابی کمتر معرفی شده اند که جمعیت حشرات از قبل مقاوم کرده اند. این امر غالباً منجر به رشد سریع مقاومت در برابر حشره کش های جدیدتر شده و از حفاظت از دشمنان طبیعی جلوگیری کرده است (96، 140، 141، 178). شواهد حاکی از آن است که به دنبال معرفی یک حشره کش جدید، ممکن است دو تا سه سال طول بکشد تا سطح مقاومت مشکلی ایجاد نماید (184، 141، 195). نمونه های اخیر مقاومت میدانی در برابر ترکیبات نسبتاً انتخابی مانند ایندوکساکارب، اورمکتین، اسپینوزاد، محصولات مبتنی بر Bt، بنزویل اوره و کلرانترانیلی پرول در جدول 2 آورده شده است. بنابراین، اگرچه مقاومت حشره کش ممکن است منجر به عدم کنترل شود، اما این مسئول از دست دادن بسیاری از حشره کش های انتخابی تر است که در غیر این صورت می تواند بخشی از مدیریت یکپارچه مقاومت مقاومت (IRM) و، بطور گسترده تر، برنامه های IPM برای DBM را تشکیل دهد.

مکانیسم های مقاومت و مقاومت متقاطع و مقاومت چندگانه در DBM

جزئیات مکانیسم ها و ژنتیک مقاومت در جمعیت DBM انتخاب شده میدانی اغلب محدود است (جدول 2). مکانیسم های مقاومت به متابولیک متداول ترین مکانیسم شناخته شده می باشند، اگرچه مقاومت محل هدف تغییر یافته در برابر پیریدروئیدها شناخته شده است (36) و مکانیسم اصلی مقاومت در برابر Bt است (جدول 2). به نظر می رسد وراثت مقاومت در جمعیت منتخب میدانی عمدتاً واسطه ای (کاملاً مغلوب به طور ناقص غالب) و یکنواخت هستند (جدول 2). علاوه بر مطالعات در مورد جمعیت انتخاب شده میدانی، مطالعات مربوط به جمعیت آزمایشگاهی انتخاب شده در مورد مکانیسم های مقاومت و مقاومت متقابل آموزنده بوده است. با توجه به اینکه انتخاب آزمایشگاه برای مقاومت ممکن است به طور کامل از آنچه در این زمینه اتفاق می افتد را منعکس نکند، جایی که تأثیرات زیست محیطی می توانند در بیان مقاومت تأثیر بگذارند (115)، چنین مطالعاتی آموزنده است (159).

جدول 2: گزارش مقاومت میدانی در برابر شفیره پشت الماسی نسبت به حشره کش ها (1996-2012)

نوع حشره کش ^a	کشور ^b	مکانیسم ^c	مقاومت متقابل	ژنتیک ^d
ارگانوفسفات	استرالیا (10، 37)، چین (197)، کاستاریکا (20)، هند (76، 123، 176) (65)، نیکاراگوئه (106)، پاکستان (5)، فیلیپین (133)، آفریقای جنوبی (144)، کره جنوبی (72)	MFO، GST، استراز (37)	هیچ کدام: avermectin (10)	-
کربامات	چین (196)، هند (123، 176)، آفریقای جنوبی (144)، کره جنوبی (72)، تایوان (68)	-	-	-
پایروثروئید	استرالیا (10، 35، 37) (36)، برزیل (27)، چین (183، 193، 197)، هند (29، 76، 123، 176) (65)، ژاپن (100)، مالزی (135)، نیوزیلند (17)، نیکاراگوئه (106)، پاکستان (5، 134، a)، فیلیپین (133)،	MFO، GST، استراز Kdr، (37)، (75)	هیچ کدام: indoxacarb، spinosad، fipronil (134)	I-D (29)، poly I، (34)

			آفریقای جنوبی (144) ، کره جنوبی (75) ، ایالات متحده (148)	
mono ,I (141)	-	GST ,MFO (37)، استراز (141 , 37)	استرالیا (37) ، برزیل (124) ، مالزی (137) (141) ، ایالات متحده (194) ، پاکستان (5)	ایندوکساکارب
Poly ,I (112)	هیچ کدام: benzoylureas Bt , (63) (196) (62) کم: spinosad fipronil (112)	/ MFO استراز (63)	برزیل (27 ، 124) ، چین (52 ، 112) ، 193 ، 196 ، 197 ، مالزی (137) (62 ، 63) ، پاکستان (a5) ، تایوان (68)	آورمکتین
-	-	-	هند (76 ، 176)	سیکلودیپین (اندوسولفان)
mono ,I (140)	کم: spinosad indoxacarb (140)	-	چین (197) ، مالزی (137) ، هند (99) ، تایوان (68)	فنیل پيازول
mono , I (195) .R-I mono (137)	هیچ کدام: emamectin indoxacarb (195)	احتمالا نه MFO یا استراز (195)	مالزی (137) ، ایالات متحده (11 ، 95) ، 194 ، 195 ، پاکستان (a5) ، تایوان (68)	اسپینسین
-	-	-	چین (197) ، هند (99) ، تایوان (68) ، نیکاراگوئه (106)	آنالوگ نریستوکسین
I, mono (135)	پیریدروئید R را حفظ می کند (135)	-	مالزی (135)	نئونپوتینوئید (استامپیرید)
R-I, mono (138) I, mono	کم : C1Cry (50 , 62)	بدون اتصال به پوسته تنگه (روده)	آمریکای مرکزی (107) ، چین (50) ، 182 ، هند (98 ، 105 ، 176) ، مالزی (62 ، 137) ، ایالات متحده آمریکا (88 ، 170) ، تایوان (68) ،	Bt kurstaki A1Cry

(137)			تایلند (61)	
-	کم : A1Cry (62)	-	مالزی (137) (62) ، ایالات متحده (88) ، تایوان (68) ، تایلند (61) ، چین (196) ، تایوان (68)	Bt aizawai C1Cry فسفوریل‌اسیون اکسیداتیو تفکیک نشده است
-	هیچ کدام: avermectin (63)	MFO / استراز (63)	برزیل (124) ، چین (52 ، 193) ، ژاپن (100) ، مالزی (62 ، 63) ، نیکاراگوئه (106)	بنزوئوره
-	-	-	چین (196)	دیاسیل هیدرازین
-	-	-	تایوان (68)	آزادیراشتین
-	-	-	چین (81 ، 184)	دیامیدهای آنتانیلیک

a نحوه عملکرد (طبقه بندی IRAC ؛ 64) برای هر نوع از حشره کش ها: مهارکننده ارگانوفسفات ، استیل کولین استراز (AChE). کاربامات ، مهار کننده های کربوهیدرات پیریدروئید ، مهار کننده کانال Na^+ ؛ ایندوکسکراب، مسدود کننده کانال Na^+ ؛ avermectin، فعال کننده کانال Cl^- ؛ سیکلودیین، آنتاگونیست کلسیم کانال Y^- ؛ آمینوبوتیریک اسید (GABA)؛ فیل پيازولول ، آنتاگونیست کانال GABA Cl^- ؛ spinosyn، فعال کننده گیرنده استیل کولین نیکوتین (nAChR)؛ آنالوگ نئریستکسین ، مسدود کننده nAChR؛ نئونوتینوئید، آگونیست nAChR؛ Bt kurstaki/aizawai، غشای روده؛ بنزوآلوره ، مهارکننده سنتز کیتین؛ دیاکلیدیدین، آگونیست اگزیزون؛ آزادیراشتین ناشناخته است.

b کشوری که مقاومت میدانی در آن ثبت شده است.

c مکانیسم مقاومت مفروض: MFO، اکسیداز با عملکرد مخلوط؛ GST ، گلوکاتایون-S- ترانسفراز؛ Kdr ، مقاومت مؤثر (کانال Na^+)

d وراثت پیشنهادی: R ، مغلوب؛ I، واسطه ای (کاملاً مغلوب تا تسلط ناقص)؛ D، غالب. تعداد تخمین عوامل: تک ، تک زا؛ پلی ، پلی اتیلن.

گزارشات مقاومت پایین یا بدون مقاومت متقاطع بین انواع حشره کش ها در جمعیت انتخابی میدانی DBM حاکم است، اگرچه مقاومت متقاطع با سایر انواع، انواع آزمایش نشده از ترکیبات را نمی تواند از نظر دور نگه دارد، به خصوص اینکه مکانیسم های متابولیکی مقاومت ، که می توانند مقاومت به طیف گسترده را تحمل کنند ، رایج است (جدول 2). به عنوان مثال، یک مورد غیر منتظره از مقاومت متقابل قلمداد شده بین سموم Ac1Bt Cry و دلتامترین پیریدروئید در یک جمعیت میدانی مجدداً انتخاب شده DBM از مالزی گزارش شده است (136). مقاومت چندگانه ، که در آن چندین مکانیسم مقاومت مختلف موجود در افراد مقاوم در برابر مقاومت در برابر انواع متعدد ترکیبات وجود دارد، یک پدیده شایع در حشرات است و نمونه هایی از چند مقاومت مفروض در چندین جمعیت میدانی DBM گزارش شده است (62 ، 63 ، 65 ، 112).

مدیریت مقاومت در برابر حشره کش ها: نظریه و پیاده سازی

انتخاب مقاومت در صورت عدم وجود حشره کش منجر به هزینه سازگاری می شود و در صورت عدم انتخاب می تواند باعث بازگشت مقاومت شود؛ که این اتفاق فرض اساسی در مدیریت مقاومت است (121). مطالعات مختلف آزمایشگاهی عوامل سازگاری را در جمعیت DBM انتخاب شده میدانی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده است؛ در حالی که برخی مطالعات نشان داده اند که هزینه های سازگاری زیادی (139) نسبت به بقیه ندارد (88)، اگرچه چنین هزینه هایی همیشه به راحتی قابل تشخیص نیستند. در اکثر مطالعات آزمایشگاهی مقاومت در صورت عدم انتخاب مجدد کاهش می یابد اما می تواند پایدار باشد (88 ، 170).

تأثیرات هزینه های سازگاری احتمالاً برای بقای حشرات در مزرعه بسیار مهم تر از آزمایشگاه است که عواملی مانند پاتوژن ها ، محدودیت منابع و افراط های دما باعث افزایش هزینه های مقاومت می شوند ، اگرچه ساز و کارهای این افزایش ناشناخته است (115). یک متاآنالیز از مطالعات سازگاری استاندارد در مورد DBM نشان داد که هزینه

های سازگاری به طور مداوم در گیاهان با کیفیت پایین، بالا است اما در گیاهان با کیفیت بالا متغیر تر می باشد، این نشان می دهد که اصلاح کننده های سازگاری فقط در زمانی که منابع زیاد باشد، سازگاری متوسطی دارد (116). مطالعات ژنتیکی مولکولی در مورد مقاومت در برابر حشره کش در DBM (12، 36)، بینش بیشتری در مورد تکامل و حرکت آلهای مقاومت به حشره کش در جمعیت DBM ارائه می دهد و در نهایت منجر به بهبود مدیریت آفات می شود.

عوامل محدود کننده معرفی گسترده و پایداری برنامه های IRM در بسیاری از مناطق پیچیده است ، اما لزوم تقویت پیوند بین تحقیق و توسعه ، مهمترین موفقیت آنهاست (149 ، 154). یک برنامه IRM برای حفظ حشره کش های انتخابی برای DBM در مجمع الجزایر هاوایی (95) اجرا شده است ، جایی که پس از قرار گرفتن در معرض مداوم جمعیت حشرات ، مقاومت در برابر اسپینوزاد تکامل یافت. برنامه حمایت از کمیته مقاومت در برابر حشره کش ها (IRAC) ، که توسط کشاورزان اجرا شد و با کمک مشاوران توسعه، اسپینوساد را ممنوع کرد و آن را با چرخش ماهانه بنزوات emamectin و doxcarb جایگزین کرد تا جمعیت DBM بهبود یابد. در استرالیا ، یک استراتژی ملی چرخش حشره کش برای IRM در محصولات برزیکا شامل شش گروه مختلف از عملکرد حشره کش می باشد (9)، اگرچه نگرانی زیادی درباره پذیرش گسترده سه محصول دی آمید اخیراً به ثبت رسیده ، به ویژه یک فرمول سیستماتیک مداوم ، به جای سایر محصولات انتخابی ایجاد شده است (9).

فناوری های جایگزین و اضطراری و استراتژی های مدیریت

محصولات زراعی تراریخته (تراژنی) Bt برزیکا

گیاهان کلزا ، کلم ، گل کلم تراریخته و گل کلم حامل ژن (ها) برای سموم Bt با آزمایش های میدانی و آزمایشات خانگی با موفقیت در برابر DBM آزمایش شده اند (113، 122). خطوط تغییر یافته کلم و گل کلم می توانند جمعیت DBM و سایر آفات مهم لپیدوپتران سبزیجات برزیکا را سرکوب کنند اما هیچ گونه تأثیر مستقیمی روی D. insulare یا یک شکارچی کلی گرا (عمومی خوار) ندارد (122). به همین ترتیب، آنها وعده قابل توجهی برای

گنجاندن در برنامه های IPM بهبود یافته ارائه می دهند، به ویژه اینکه این فناوری راه حل ممکن (احتمالی) را برای استفاده بیش از حد از طیف گسترده ای از حشره کش ها در بسیاری از کشورهای در حال توسعه ارائه می دهند. با این حال، با وجود این موفقیت های تجربی، مسائل مربوط به مقررات و مسئولیت باعث شده است که سبزیجات تبدیل شده به بازار عرضه نشود و تولید محصول در سال 2010 متوقف شود (122).

تکنیک های کنترل ژنتیک

انتشار انبوه DBM با انتشار پرتوی گامای استریل برای مدیریت آفات به اثبات نرسیده است (168). با این حال، تحولات اخیر در فن آوری های ژنتیکی شاهد توسعه استراتژی های کنترل بیولوژیکی خود انهدامی می باشد که در آن حشرات پرورش یافته به صورت انبوه برای ساختارهای ژنتیکی مهلک غالب همسان هستند و زمان مرگ آنها را می توان مهندسی کرد (2). چنین استراتژی هایی برای DBM هنوز در این زمینه مورد آزمایش قرار نگرفته است، اما کارهای نظری اخیر نشان می دهد که آنها می توانند سهم بسزایی در رقیق شدن آللهای مقاوم به حشره کش در جمع آنها داشته باشند، به خصوص در زمینه استراتژی های پناهندگی با دوز بالا که برای استقرار محصولات Bt اساسی هستند (2).

دامهای (تله) زراعی و دستکاری مقاومت گیاه میزبان

Shelton و Badenes-Perez (146)، 21 پژوهش در مورد استفاده از دام محصولات زراعی علیه DBM را مورد بررسی قرار دادند، اما تنها در یک مورد (خردل هندی به عنوان یک دام برای کلم در هند) این فناوری توسط کشاورزان اتخاذ شده بود؛ تمام موارد دیگر ناموفق بودند یا فقط در آزمایشگاههای میدانی یا آزمایشگاهی در مقیاس کوچک مورد آزمایش قرار گرفته بودند. تحولات جالب توجه استقرار محصولات زراعی بسته بندی شده بر اساس *Barbarea vulgaris* var. *arcuate* بوده است که برای تخمک گذاری ارجحیت دارد اما حاوی ساپونین است که برای لارو های نوزاد کشنده است (7). تحقیقات اخیر نشان داده است که لقاح گوگرد می تواند سطح گلوکوزینولات *B. vulgaris* را افزایش داده و تخمک گذاری DBM را روی گیاهان بارور تقویت کند (8). هنگامی که عصاره

کریزانتوم موریفولیوم (گل داوودی موریفولیوم) به گیاهان میزبان اعمال شد، مشخصات ناپایدار گیاهان در مقایسه با گیاهان درمان نشده برای DBM کمتر جذاب بوده و تخمک گذاری کاهش یافته است؛ با این حال، گیاهان تیمار شده با عصاره برای *C. vestalis* جذابیت بیشتری داشتند و باعث افزایش میزان انگلی بودن گیاه شدند (85). Charleston و همکاران (23) نشان دادند که عصاره *Siringa* باعث تغییر مشخصات ناپایدار گیاهان تصفیه شده و جذابیت آنها در *C. vestalis* شد. اگرچه تجربه گیاه میزبان می تواند به طور قابل توجهی بر ترجیحات تخمک گذاری DBM تأثیر بگذارد (190)، پژوهش هایی نظیر اینها، نشان می دهد که رفتار DBM و دشمنان طبیعی آن می تواند به طور هم زمان دستکاری شود ، و تحقیقات در مورد شیمی دفاعی گیاه روشهای جدیدی را فراهم می کند که گیاهان میزبان بتوانند دستکاری شوند و آنها می توانند نقش مهمی در مدیریت آینده DBM ایفا کنند.

مدیریت تلفیقی آفات: محدودیت های اجرایی و پذیرش (اتخاذ)

عدم موفقیت برنامه های کنترل تک تاکتیکی کاملاً واضح است و اهمیت استراتژی های یکپارچه برای مدیریت پایدار DBM برای دهه ها در تحقیقات بسیار مهم بوده است (51 ، 165 ، 167). پایه و اساس تمام برنامه ها، حفظ دشمنان طبیعی، نمونه برداری مکرر از آفات و دشمنان طبیعی و مداخلات آستانه همراه با حشره کش هیا انتخابی، به ویژه Bt است (39، 149، 154). مزایای استفاده از IPM می تواند شامل سود بیشتر به دلیل بهبود کیفیت محصول ، بازده بالاتر و کاهش هزینه های ورودی و کاهش قرار گرفتن در معرض کارگران مزرعه و محیط زیست در برابر طیف گسترده ای از حشره کش های خطرناک باشد (39، 154).

علیرغم این مزایای بارز ، پذیرش IPM معمولاً پس از خاتمه ابتکارات اجرایی (149 ، 154 ، 188) به دلیل عدم اعتماد به فناوری، آفات همزمان، زمان صرف شده برای نمونه گیری از جمعیت آفات و پیچیدگی نسبی تصمیم گیری مبتنی بر آستانه سیر نزولی دارد (149، 154). شناخت نیاز به مدیریت مجموعه گسترده تر از آفات منجر به تدوین برنامه های نمونه برداری متوالی با ارزش برای هدایت تصمیم گیری بر اساس تراکم کلی مجموعه آفات شده است (54، 149)، اما این تصویب (اتخاذ) همچنان محدود است. در کشورهای توسعه یافته ، شیوه های سنتی توسعه

می تواند مؤثر باشد ، اما حفظ پرسنل آموزش دیده و تصمیم گیری محافظه کارانه ، روند کار را به خطر می اندازد. از قضا ، ظهور چندین حشره کش انتخابی (به عنوان مثال اسپینوزاد ، ایمامکتین و ایندکساکارب) در اواخر دهه 1990 مشکلات را تشدید کرد زیرا اثربخشی اولیه آنها منجر به استفاده بیش از حد و تدریجی، به صورت ناخواسته، و ترک IPM توسط مشارکت کنندگان قبلی شد (149 ، 188). در استرالیا ، اتخاذ کنندگان جزئی از یک استراتژی IPM، هزینه های مرتبط را جمع کردند، اما مزایای جمعیت سرکوب شده DBM که پذیرندگان به طور کامل از آنها برخوردار بودند را جمع آوری نکردند (44).

در دنیای در حال توسعه ، کشاورزانی با منابع ضعیف، محصولات مزارع برزیکا را در مزارع کوچک متعددی تولید می کنند. به طور معمول، آنها تحت فشار قابل توجهی برای خرید سموم دفع آفات، دسترسی به ترکیبات غیرقانونی قرار دارند و توسط آژانسها و شبکه های بسیار ضعیف پشتیبانی می شوند (154). از اواخر دهه 1990، مدارس میدانی کشاورزی (FFS) به طور گسترده برای ترویج IPM در کشورهای در حال توسعه ، به ویژه در جنوب شرقی آسیا استفاده شده است. Brassica-IPM FFS به طور ایده آل از گروه هایی شامل 20 کشاورز تشکیل شده است که هر هفته تحت هدایت یک مجری آموزش دیده قرار می گیرند تا یاد بگیرند که بر اکولوژی محصولات زراعی خود ، به ویژه جمعیت آفات و دشمن طبیعی نظارت داشته باشند و از این طریق تصمیمات آگاهانه ای در مورد مداخلات اتخاذ نمایند. چنین برنامه هایی ، گرچه پرهزینه و مستلزم یک زیرساخت تحقیقاتی به خوبی توسعه یافته می باشد، اما مؤثر بوده و کشاورزان آموزش دیده معمولاً نسبت به همسایگان آموزش ندیده خود کمتر از حشره کش ها استفاده می کنند (92). با این حال، ادعا می شود که ابتکارات FFS توسط آموزش کشاورزان آموزش دیده آموزش داده می شود که به صورت گروهی آموزش داده می شود (13)، و سایر روش های چهره به چهره و استفاده از رسانه های جمعی احتمالاً تکنیک های توسعه IPM است که برای برنامه های ارزشمند آموزش کشاورزان مؤثر می باشد که توسط FFS ترویج یافته است.

نتیجه گیری

DBM یک آفت ثانویه از سبزیجات برزیکا و محصولات زراعی مرتبط با آن است که با استفاده از شیوه های جدید کشاورزی امروزی، به ویژه استفاده گسترده و غالباً بدون تبعیض طیف گسترده ای از حشره کش ها، عمده وضعیت آفات را تقویت کرده است.

نقش غالب حشره کش ها در مدیریت DBM در مشخصات آنها در دستور کار تحقیق منعکس شده است. تجزیه و تحلیل مقالات ارائه شده در شش کارگاه بین المللی مدیریت DBM که از سال 1985 برگزار شده است، آموزنده می باشد (شکل تکمیلی 1 ؛ پیوند مطالب تکمیلی را از صفحه اصلی بررسیهای سالانه در [http:// www. annalareviews.org](http://www.annalareviews.org) دنبال کنید) و اهمیت حشره کش ها کاملاً واضح است (شکل مکمل 1c). نسبت مقالات گزارش شده در مورد حشره کشها و IRM از 40٪ در سال 1985 به حداقل 18٪ در سال 2001 کاهش یافت؛ با این حال، در سال 2011، این به دلیل گزارش های زیاد از استراتژی ها برای مدیریت مقاومت در برابر حشره کش های انتخاب ، از جمله نوع *diamide* که اخیراً معرفی شده است، به 32٪ افزایش یافته است. به طور مشابه، داده ها همچنین حاکی از غلبه آپاراتیتوئیدها در تحقیقات کنترل بیولوژیکی است، و بین تحقیقات بیولوژیکی و تحقیقات در مورد حشره کش ها (نمودار مکمل 1b,c) رابطه منفی و معناداری وجود دارد ($F_{1,5} = 8.72$; $P = 0.04$; $r^2 = 0.685$). راهبردهای IPM و اجرای آنها به طور مداوم تنها تقریباً 15٪ از تحقیقات (شکل تکمیلی e1) را تشکیل می دهند، یک آمار نگران کننده با توجه به اینکه اجرای موثر برای تصویب IPM مهم و اساسی است و بزرگترین محدودیت فعلی برای مدیریت پایدار DBM می باشد. مطالعات مربوط به زیست شناسی و زیست محیطی پایه به طور معمول 10-20٪ از تحقیقات (شکل مکمل 1a) را نشان می دهد ، و طی یک دهه گذشته تحقیقات قابل توجهی در مورد محصولات برزیکای مهندسی شده برای بیان سموم Bt انجام شده است (شکل مکمل 1f). این همزمان با قطع تحقیقات در مورد دیگر استراتژی های جدید و کاهش تحقیقات در مورد فعل و انفعالات با گیاهان میزبان (شکل تکمیلی 1d) بود. با توجه به محدودیت های موجود در زمینه انتشار میدانی محصولات زراعی برزیکا، اتخاذ این فناوری در کوتاه مدت بعید به نظر می رسد.

چندین دهه است که محققان زیست شناسی و بوم شناسی DBM را مورد مطالعه قرار داده اند ، و در سال های اخیر درک ما از برخی جنبه های اساسی ، به ویژه روابط گیاهان میزبان DBM ، تعاملات سه سطح غذایی انگلی DBM و مهاجرت به میزان قابل توجهی بهبود یافته است. DBM توسط طیف گسترده ای از دشمنان طبیعی مورد حمله قرار می گیرد ، و کنترل بیولوژیکی در درجه اول روی پارازیتوئیدهای پرده بالان لارو و شفیره است که اساس برنامه های IPM را ایجاد کرده است و اثبات شده است که این در کوتاه مدت عملی است. با این حال، علیرغم پایداری این فن آوری، پذیرش آن ضعیف است و به طور معمول برنامه ها پس از اجرا توسط کشاورزان به تدریج به برنامه تقویمی حشره کش ها بازگشتند. این به خصوص در مورد معرفی حشره کش های انتخابی indoxacarb و spinosad به مدیریت DBM در اواخر دهه 1990 رخ داد. هر دو محصول ، مانند فرمول های Bt قبل از آنها، در نهایت قربانی موفقیت خود شدند، زیرا استفاده قضایی اولیه جای خود را به کاربردهای بدون تبعیض و تکامل سریع مقاومت داد؛ این چرخه در حال حاضر در حال تکرار برای حشره کشهای الماس اخیراً معرفی شده است. غلبه بر موانع اتخاذ پایدار این فناوریهای اثبات شده برای مدیریت DBM همچنان یک چالش بزرگ می باشد، اما باید با غلبه بر تعداد حشره کشهای انتخابی مؤثر، مرتفع شود.

مسائل مربوط به آینده

1- باید مکانیسم هایی برای تسهیل پذیرش مداوم IPM متداول توسعه یابد. فناوری برای مدیریت پایدار DBM در چارچوب مدیریت یکپارچه محصولات زراعی برزیکا وجود دارد، اما مکانیسم های ضعیف فعلی قادر به دستیابی به تغییرات رفتاری لازم در سطح جامعه نیستند که برای استقرار پایدار ضروری است. به منظور رسیدن به موفقیت، ابتکارات آینده نیاز به برنامه های آموزشی جامع تر خواهد داشت، که در مقیاس منطقه ای توسعه یافته و مشارکت فعال تولیدکنندگان (کشاورزان)، مأموان گسترش، فروشندگان سموم دفع آفات، سیاست گذران و دانشمندان را تضمین می نماید.

2- استقرار محصولات Bt-Brassica فرصتهای شگرفی را برای مدیریت بهتر DBM فراهم می کند، که بدین منظور راه حل هایی برای تنگناهای نظارتی فعلی مورد نیاز است. اتخاذ پایدار این فناوری به استراتژی های موثر برای کاهش مقاومت بستگی دارد که به آموزش مؤثر جامعه و احتمالاً قانونگذاری نیاز می باشد. فناوری برای بافت و بیان ژنتیکی خاص از محصولات تراریخته و استقرار حشرات تراریخته برای کنترل بیولوژیکی خود انهدامی وجود دارد که می تواند تکامل مقاومت موجود را کند نماید.

3- درک جنبش منطقه ای DBM برای مدیریت موثر آفات بویژه در زمینه مدیریت مقاومت بسیار اساسی است. درک فعلی نشانه های بیوتیک(حیاتی) و غیر بیوتیک که زمینه ساز مهاجرت ناقص DBM است، و مطالعات در مورد بررسی اثرات درجه حرارت شدید و فشارهای تغذیه ای احتمالاً بینش قابل توجهی را ارائه می دهد

4- جانوران بندپای شکارچی در اکوسیستم های سیستم برزیکا می تواند یک منبع طبیعی قابل توجه برای مدیریت DBM باشد. با این حال، علیرغم سرمایه گذاری های کلان در جنبه های دیگر کنترل بیولوژیکی، شکارچیان مورد مطالعه ضعیف باقی می مانند و احتمالاً در IPM مورد بهره برداری قرار نمی گیرند. این باید در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد.

LITERATURE CITED

- Ahuja I, Rohloff J, Bones AM. 2010. Defence mechanisms of Brassicaceae: implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. In *Sustainable Agriculture*, Vol. 2, ed. E Lichtfouse, M Hamelin, M Navarrete, P Debaeke, pp. 623–70. New York: Springer
- Alphey N, Bonsall MB, Alphey L. 2009. Combining pest control and resistance management: synergy of engineered insects with *Bt* crops. *J. Econ. Entomol.* 102:717–32
- Alvi SM, Momoi S. 1994. Environmental regulation and geographical adaptation of diapause in *Cotesia plutellae* (Hymenoptera, Braconidae), a parasitoid of the diamondback moth larvae. *Appl. Entomol. Zool.* 29:89–95
- APRD. 2012. *Arthropod Pesticide Resistance Database*. East Lansing: Michigan State Univ. <http://www.pesticideresistance.com/index.php5a>
- Attique MNR, Khaliq A, Sayyed AH. 2006. Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? *J. Appl. Entomol.* 130:122–27
- Atumurarava F, Furlong MJ. 2011. Diamondback moth resistance to commonly used insecticides in Fiji. See Ref. 161, pp. 216–21
- Azidah AA, Fitton MG, Quicke DLJ. 2000. Identification of the *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae, Campopleginae) attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bull. Entomol. Res.* 90:375–89
- Badenes-Perez FR, Reichelt M, Gershenzon J, Heckel DG. 2011. Phylloplane location of glucosinolates in *Barbarea* spp. (Brassicaceae) and misleading assessment of host suitability by a specialist herbivore. *New Phytol.* 189:549–56
- Badenes-Perez FR, Reichelt M, Heckel DG. 2010. Can sulfur fertilisation improve the effectiveness of trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)? *Pest Manag. Sci.* 66:832–38
- Baker GJ. 2011. Crucifer vegetable insecticide resistance management strategies and issues in Australia. See Ref. 161, pp. 241–47
- Baker GJ, Kovaliski J. 1999. Detection of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations in South Australian crucifer crops. *Aust. J. Entomol.* 38:132–34
- Baxter SW, Chen M, Dawson A, Zhao JZ, Vogel H, et al. 2010. Mis-spliced transcripts of nicotinic acetylcholine receptor alpha 6 are associated with field evolved spinosad resistance in *Plutella xylostella* (L.). *PLoS Genet.* 6:e1000802
- Baxter SW, Davey JW, Johnston JS, Shelton AM, Heckel DG, et al. 2011. Linkage mapping and comparative genomics using next-generation RAD sequencing of a non-model organism. *PLoS One* 6:e19315
- Bentley JW. 2009. Impact of IPM extension for smallholder farmers in the tropics. In *Integrated Pest Management: Dissemination and Impact*, ed. R Peshin, AK Dhawan, pp. 333–46. Dordrecht, The Neth.: Springer
- Bianchi FJJA, Goedhart PW, Baveco JM. 2008. Enhanced pest control in cabbage crops near forest in The Netherlands. *Landsc. Ecol.* 23:595–602
- Bukovinsky T, Gols R, Posthumus MA, Vet LEM, van Lenteren JC. 2005. Variation in plant volatiles and attraction of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Hellen). *J. Chem. Ecol.* 31:461–80
- CABI. 2012. *Crop Protection Compendium*. <http://www.cabi.org/cpc/>
- Cameron PJ, Shelton AM, Walker GP, Tang JD. 1997. Comparative insecticide resistance of New Zealand and North American populations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 25:117–22
- Campos WG. 2008. Photoperiodism and seasonality in Neotropical population of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Neotrop. Entomol.* 37:365–69
- Campos WG, Schoereder JH, Sperber CF. 2004. Does the age of the host plant modulate migratory activity of *Plutella xylostella*? *Entomol. Sci.* 7:323–29
- Carazo RE, Cartin L, Monge LA, Lobo S, Araya RL. 1999. Resistance of *Plutella xylostella* to deltamethrin, methamidophos and cartap in Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas* 53:52–57
- Chandramohan N. 1994. Seasonal incidence of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and its parasitoids in Nilgiris. *J. Biol. Control* 8:77–80

22. Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, Riley JR, Pedgley DE, Woiwod IP. 2002. High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecol. Entomol.* 27:641–50
23. Charleston DS, Gols R, Hordijk KA, Kfir R, Vet LEM, Dicke M. 2006. Impact of botanical pesticides derived from *Melia azedarach* and *Azadirachta indica* plants on the emission of volatiles that attract parasitoids of the diamondback moth to cabbage plants. *J. Chem. Ecol.* 32:325–49
24. Choh Y, Uefune M, Takabayashi J. 2008. Diamondback moth females oviposit more on plants infested by non-parasitised than by parasitised conspecifics. *Ecol. Entomol.* 33:565–68
25. Commonwealth Institute of Entomology. 1967. *Distribution Maps of Plant Pests*, No. 32. Wallingford, UK: CAB Int.
26. Couty A, Van Emden H, Perry JN, Hardie J, Pickett JA, Wadhams LJ. 2006. The roles of olfaction and vision in host-plant finding by the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Physiol. Entomol.* 31:134–45
27. De Oliveira AC, Abreu de Siqueira HA, De Oliveira JV, Da Silva JE, Michereff Filho M. 2011. Resistance of Brazilian diamondback moth populations to insecticides. *Sci. Agric.* 68:154–59
28. Delvare G. 2004. The taxonomic status and role of Hymenoptera in biological control of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). In *Improving Biocontrol of Plutella xylostella. Proceedings of the International Symposium, 21–24 October 2002*, ed. AA Kirk, D Bordat, pp. 17–49. Montpellier, France: CIRAD
29. Dhumale UM, Moharil MP, Ghodki BS. 2009. Geographical variations and genetics of pyrethroid resistance in diamondback moth *Plutella xylostella* L. *Int. J. Integr. Biol.* 7:175–80
30. Dosdall LM, Mason PG. 2010. Key pests and parasitoids of oilseed rape or canola in North America and the importance of parasitoids in integrated management. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*, ed. IH Williams, pp. 167–213. Dordrecht/London: Springer
31. Dosdall LM, Mason PG, Olfert O, Kaminski L, Keddle BA. 2004. The origins of infestations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in canola in western Canada. See Ref. 34, pp. 95–100
32. Dosdall LM, Zalucki MP, Tansey JA, Furlong MJ. 2012. Developmental responses of the diamondback moth parasitoid *Diadegma semiclausum* (Hellén) (Hymenoptera: Ichneumonidae) to temperature and host plant species. *Bull. Entomol. Res.* 102:373–84
33. Endersby NM, McKechnie SW, Ridland PM, Weeks AR. 2006. Microsatellites reveal a lack of structure in Australian populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Mol. Ecol.* 15:107–18
34. Endersby NM, Ridland PM, eds. 2004. *Proceedings of the Fourth International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*. Melbourne, Aust.: The Regional Inst.
35. Endersby NM, Ridland PM, Hoffmann AA. 2008. The effects of local selection versus dispersal on insecticide resistance patterns: longitudinal evidence from diamondback moth (*Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)) in Australia evolving resistance to pyrethroids. *Bull. Entomol. Res.* 98:145–57
36. Endersby NM, Viduka K, Baxter SW, Saw J, Heckel DG, McKechnie SW. 2011. Widespread pyrethroid resistance in Australian diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), is related to multiple mutations in the para sodium channel gene. *Bull. Entomol. Res.* 101:393–405
37. Eziah VY, Rose HA, Wilkes M, Clift AD. 2009. Biochemical mechanisms of insecticide resistance in the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae), in the Sydney region, Australia. *Aust. J. Entomol.* 48:321–27
38. FAOSTAT. 2012. Production statistics. Rome: FAO. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
39. Furlong MJ, Ju KH, Su PW, Chol JK, Il RC, Zalucki MP. 2008. Integration of endemic natural enemies and *Bacillus thuringiensis* to manage insect pests of *Brassica* crops in North Korea. *Agric. Ecosyst. Environ.* 125:223–38
40. Furlong MJ, Ong PC, Syed AR, Pell JK. 1995. Field and laboratory evaluation of a sex pheromone trap for the autodissemination of the fungal entomopathogen *Zoophthora radicans* (Entomophthorales) by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Bull. Entomol. Res.* 85:331–37
41. Furlong MJ, Pell JK. 1997. The influence of environmental factors on the persistence of *Zoophthora radicans* conidia. *J. Invertebr. Pathol.* 69:223–33

42. Furlong MJ, Pell JK. 2001. Horizontal transmission of entomopathogenic fungi by the diamondback moth. *Biol. Control* 22:288–99
43. Furlong MJ, Shi ZH, Liu SS, Zalucki MP. 2004. Evaluation of the impact of natural enemies on *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) populations on commercial *Brassica* farms. *Agric. For. Entomol.* 6:311–22
44. Furlong MJ, Shi ZH, Liu YQ, Guo SJ, Lu YB, et al. 2004. Experimental analysis of the influence of pest management practice on the efficacy of an endemic arthropod natural enemy complex of the diamondback moth. *J. Econ. Entomol.* 97:1814–27
45. Furlong MJ, Spafford H, Ridland PM, Endersby NM, Edwards OR, et al. 2008. Ecology of diamondback moth in Australian canola: landscape perspectives and the implications for management. *Aust. J. Exp. Agric.* 48:1494–505
46. Furlong MJ, Zalucki MP. 2007. Parasitoid complex of diamondback moth in south-east Queensland: first records of *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae) in Australia. *Aust. J. Entomol.* 46:167–75
47. Furlong MJ, Zalucki MP. 2010. Exploiting predators for pest management: the need for sound ecological assessment. *Entomol. Exp. Appl.* 135:225–36
48. Girling RD, Stewart-Jones A, Dherbecourt J, Staley JT, Wright DJ, Poppy GM. 2011. Parasitoids select plants more heavily infested with their caterpillar hosts: a new approach to aid interpretation of plant headspace volatiles. *Proc. R. Soc. Lond. Sci. B* 278:2646–53
49. Gols R, Bukovinsky T, van Dam NM, Dicke M, Bullock JM, Harvey JA. 2008. Performance of generalist and specialist herbivores and their endoparasitoids differs on cultivated and wild *Brassica* populations. *J. Chem. Ecol.* 34:132–43
50. Gong YJ, Wang CL, Yang YH, Wu SW, Wu YD. 2010. Characterization of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in *Plutella xylostella* from China. *J. Invertebr. Pathol.* 104:90–96
51. Grzywacz D, Rossbach A, Rauf A, Russell DA, Srinivasan R, Shelton AM. 2010. Current control methods for diamondback moth and other *Brassica* insect pests and the prospects for improved management with lepidopteran-resistant *Bt* vegetable brassicas in Asia and Africa. *Crop. Prot.* 29:68–79
52. Guo S, Lin W, Zhang J, Guo SJ, Lin WC, Zhang JM. 2003. Investigation on insecticide resistance of diamondback moth in main vegetable cultivation regions of Zhejiang Province. *Acta Agric. Zhejiangensis* 15:19–22
53. Hambäck PA, Bjorkman M, Hopkins RJ. 2010. Patch size effects are more important than genetic diversity for plant-herbivore interactions in *Brassica* crops. *Ecol. Entomol.* 35:299–306
54. Hamilton AJ, Waters EK, Kim HJ, Pak WS, Furlong MJ. 2009. Sampling a weighted pest complex: caterpillars in North Korean cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) crops. *Entomol. Exp. Appl.* 130:282–89
55. Harcourt DG. 1986. Population dynamics of the diamondback moth in southern Ontario. See Ref. 167, pp. 3–15
56. Harvey CT, Eubanks MD. 2005. Intraguild predation of parasitoids by *Solenopsis invicta*: a non-disruptive interaction. *Entomol. Exp. Appl.* 114:127–35
57. Henniges-Janssen K, Reineke A, Heckel DG, Groot AT. 2011. Complex inheritance of larval adaptation in *Plutella xylostella* to a novel host plant. *Heredity* 107:421–23
58. Honda K. 1992. Hibernation and migration of diamondback moth in northern Japan. See Ref. 165, pp. 43–50
59. Hopkins RJ, van Dam NM, van Loon JJA. 2009. Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 54:57–83
60. Ibrahim MA, Nissinen A, Holopainen JK. 2005. Response of *Plutella xylostella* and its parasitoid *Cotesia plutellae* to volatile compounds. *J. Chem. Ecol.* 31:1969–84
61. Imai K, Mori Y. 1999. Levels, inheritance and stability of resistance to *Bacillus thuringiensis* formulation in a field population of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), from Thailand. *Appl. Entomol. Zool.* 34:23–29
62. Iqbal M, Verkerk RHJ, Furlong MJ, Ong PC, Rahman SA, Wright DJ. 1996. Evidence for resistance to *Bacillus thuringiensis* (Bt) subsp. *kurstaki* HD-1, Bt subsp. *aizawai* and abamectin in field populations of *Plutella xylostella* from Malaysia. *Pestic. Sci.* 48:89–97
63. Iqbal M, Wright DJ. 1997. Evaluation of resistance, cross-resistance and synergism of abamectin and teflubenzuron in a multi-resistant field population of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bull. Entomol. Res.* 87:481–86
64. IRAC. 2012. *IRAC MoA Classification Scheme*. Version 7.2. <http://www.iraac-online.org/content/uploads/MoA-classification.pdf>
65. Joia BS, Udeaan AS, Chawla RP. 1996. Toxicity of cartap hydrochloride and other insecticides to multi-resistant strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in the Punjab. *Int. Pest Control* 38:158–59

66. Justus KA, Mitchell BK. 1996. Oviposition site selection by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Insect Behav.* 9:887–98
67. Kahuthia-Gathu R, Löhr B, Poehling HM, Mbugua PK. 2009. Diversity, distribution and role of wild crucifers in major cabbage and kale growing areas of Kenya. *Bull. Entomol. Res.* 99:287–97
68. Kao CH, Cheng EY. 2001. Insecticide resistance in *Plutella xylostella* L. XI. Resistance to newly introduced insecticides in Taiwan (1990–2001). *J. Agric. Res. China* 50:80–89
69. Karimzadeh J, Bonsall MB, Wright DJ. 2004. Bottom-up and top-down effects in a tritrophic system: the population dynamics of *Plutella xylostella* (L.)-*Cotesia plutellae* (Kurdjumov) on different host plants. *Ecol. Entomol.* 29:285–93
70. Karimzadeh J, Wright DJ. 2008. Bottom-up cascading effects in a tritrophic system: interactions between plant quality and host-parasitoid immune responses. *Ecol. Entomol.* 33:45–52
71. Kfir R. 1997. The diamondback moth with special reference to its parasitoids in South Africa. See Ref. 155, pp. 54–60
72. Kim YH, Lee JH, Lee SH. 2011. Determination of organophosphate and carbamate resistance allele frequency in diamondback moth populations by quantitative sequencing and inhibition tests. *J. Asia-Pacif. Entomol.* 14:29–33
73. Kos M, Broekgaarden C, Kabouw P, Lenferink KO, Poelman EH, et al. 2011. Relative importance of plant-mediated bottom-up and top-down forces on herbivore abundance on *Brassica oleracea*. *Funct. Ecol.* 25:1113–24
74. Kugimiya S, Shimoda T, Tabata J, Takabayashi J. 2010. Present or past herbivory: a screening of volatiles released from *Brassica rapa* under caterpillar attacks as attractants for the solitary parasitoid, *Cotesia vestalis*. *J. Chem. Ecol.* 36:620–28
75. Kwon DH, Clark JM, Lee SH. 2004. Estimation of knockdown resistance in diamondback moth using real-time PASA. *Pestic. Biochem. Physiol.* 78:39–48
76. Lal R, Kumar J. 2004. Resistance in field populations of *Plutella xylostella* (L.) to malathion, endosulfan and fenvalerate in Himachal Pradesh. *Indian J. Plant Prot.* 32:29–33
77. Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45:175–201
78. Leskinen M, Markkula I, Koistinen J, Pylkko P, Ooperi S, et al. 2011. Pest insect immigration warning by an atmospheric dispersion model, weather radars and traps. *J. Appl. Entomol.* 135:55–67
79. Li JH, Zhao F, Choi YS, Kim I, Sohn HD, Jin BR. 2006. Genetic variation in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae), in China inferred from mitochondrial COI gene sequence. *Eur. J. Entomol.* 103:605–11
80. Li Q, Eigenbrode SD, Stringham GR, Thiagarajah MR. 2000. Feeding and growth of *Plutella xylostella* and *Spodoptera eridania* on *Brassica juncea* with varying glucosinolate concentrations and myrosinase activities. *J. Chem. Ecol.* 26:2401–19
81. Li Z-Y, Zalucki MP, Bao H-L, Chen H-Y, Hu Z-D, Feng X. 2012. Population dynamics and 'outbreaks' of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in Guangdong Province, China: climate or the failure of management? *J. Econ. Entomol.* 105:739–52
82. Liu SS, Chen FZ, Zalucki MP. 2002. Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), at constant and alternating temperatures. *Environ. Entomol.* 31:1–12
83. Liu SS, Cooper L, Llewellyn RR, Elson-Harris M, Duff J, et al. 2004. Egg parasitoids of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from south-east Queensland. *Aust. J. Entomol.* 43:201–7
84. Liu SS, Jiang LH. 2003. Differential parasitism of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) larvae by the parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) on two host plant species. *Bull. Entomol. Res.* 93:65–72
85. Liu SS, Li YH, Lou YG. 2006. Non-host plant extracts reduce oviposition of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and enhance parasitism by its parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae). *Bull. Entomol. Res.* 96:373–78
86. Liu SS, Shi ZH, Furlong MJ, Zalucki MP. 2005. Conservation and enhancement of biological control helps to improve sustainable production of *Brassica* vegetables in China and Australia. In *Second International Symposium on Biological Control of Arthropods*, ed. MS Hoddle, pp. 254–66. Davos, Switz.: USDA For. Serv. Publ. FHTET-2005–08
87. Liu SS, Wang XG, Guo SJ, He JH, Shi ZH. 2000. Seasonal abundance of the parasitoid complex associated with the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in Hangzhou, China. *Bull. Entomol. Res.* 90:221–31

88. Liu YB, Tabashnik BE, Puzshtai-Carey M. 1996. Field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin CryIC in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 89:798–804
89. Löhr B, Gichini G, Rossbach A, Nyambo B. 2008. After-release dispersal of *Diadegma semiclausum* and its effect on diamondback moth population and damage, and indigenous parasitoids. See Ref. 147, pp. 182–89
90. Löhr B, Rossbach A. 2004. Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), on peas in Kenya: impact of the host shift on the pest and its parasitoid. See Ref. 34, pp. 133–39
91. Lu YB, Liu SS, Liu YQ, Furlong MJ, Zalucki MP. 2004. Contrary effects of jasmonate treatment of two closely related plant species on attraction of and oviposition by a specialist herbivore. *Ecol. Lett.* 7:337–45
92. Mangan J, Mangan MS. 1998. A comparison of two IPM training strategies in China: the importance of concepts of the rice ecosystem for sustainable insect pest management. *Agric. Hum. Values* 15:209–21
93. Marazzi C, Stadler E. 2004. Influence of plant sulphur nutrition on oviposition and larval performance of the diamondback moth. *Entomol. Exp. Appl.* 111:225–32
94. Mason JM, Matthews GA, Wright DJ. 1999. Evaluation of spinning disc technology for the application of entomopathogenic nematodes against a foliar pest. *J. Invertebr. Pathol.* 73:282–88
95. Mau RFL, Gusukuma-Minuto L. 2004. Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), resistance management in Hawaii. See Ref. 34, pp. 307–11
96. Mazlan N, Mumford J. 2005. Insecticide use in cabbage pest management in the Cameron Highlands, Malaysia. *Crop. Prot.* 24:31–39
97. Mo JH, Baker G, Keller M, Roush R. 2003. Local dispersal of the diamondback moth (*Plutella xylostella* (L.)) (Lepidoptera: Plutellidae). *Environ. Entomol.* 32:71–79
98. Mohan M, Gujar GT. 2002. Geographical variation in larval susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), to *Bacillus thuringiensis* spore-crystal mixtures and purified crystal proteins and associated resistance development in India. *Bull. Entomol. Res.* 92:489–98
99. Mohan M, Gujar GT. 2003. Local variation in susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus), to insecticides and role of detoxification enzymes. *Crop Prot.* 22:495–504
100. Morishita M. 1998. Changes in susceptibility to various pesticides of diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) in Gobo, Wakayama Prefecture. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 42:209–13
101. Muckenfuss AE, Shepard BM, Ferrer ER. 1992. Natural mortality of diamondback moth in coastal South Carolina. See Ref. 165, pp. 27–36
102. Muhamad O, Tsukuda R, Oki Y, Fujisaki K, Nakasugi F. 1994. Influences of wild crucifers on life-history traits and flight ability of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Yponomeutidae). *Res. Popul. Ecol.* 36:53–62
103. Muller R, de Vos M, Sun JY, Sonderby IE, Halkier BA, et al. 2010. Differential effects of indole and aliphatic glucosinolates on lepidopteran herbivores. *J. Chem. Ecol.* 36:905–13
104. Ooi PAC. 1992. Role of parasitoids in managing diamondback moth in the Cameron Highlands, Malaysia. See Ref. 165, pp. 255–62
105. Pereira SG, Sannaveerappanavar VT, Murthy MS. 2006. Geographical variation in the susceptibility of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae), to *Bacillus thuringiensis* products and acylurea compounds. *Resist. Pest Manag. Newsl.* 15:26–28
106. Perez CJ, Alvarado P, Narvaez C, Miranda F, Hernandez L, et al. 2000. Assessment of insecticide resistance in five insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 93:1779–87
107. Perez CJ, Shelton AM. 1997. Resistance of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* Berliner in central America. *J. Econ. Entomol.* 90:87–93
108. Pivnick KA, Jarvis BJ, Slater GP. 1994. Identification of olfactory cues used in host-plant finding by diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae). *J. Chem. Ecol.* 20:1407–27
109. Poelman EH, Broekgaarden C, Van Loon JJA, Dicke M. 2008. Early season herbivore differentially affects plant defence responses to subsequently colonizing herbivores and their abundance in the field. *Mol. Ecol.* 17:3352–65
110. Poelman EH, Galiart R, Raaijmakers CE, van Loon JJA, van Dam NM. 2008. Performance of specialist and generalist herbivores feeding on cabbage cultivars is not explained by glucosinolate profiles. *Entomol. Exp. Appl.* 127:218–28

111. Potting RPJ, Poppy GM, Schuler TH. 1999. The role of volatiles from cruciferous plants and pre-flight experience in the foraging behaviour of the specialist parasitoid *Cotesia plutellae*. *Entomol. Exp. Appl.* 93:87–95
112. Pu X, Yang YH, Wu SW, Wu YD. 2010. Characterisation of abamectin resistance in a field-evolved multiresistant population of *Plutella xylostella*. *Pest Manag. Sci.* 66:371–78
113. Ramachandran S, Buntin GD, All JN, Raymer PL, Stewart CN. 1998. Greenhouse and field evaluations of transgenic canola against diamondback moth, *Plutella xylostella*, and corn earworm, *Helicoverpa zea*. *Entomol. Exp. Appl.* 88:17–24
114. Ratzka A, Vogel H, Kliebenstein DJ, Mitchell-Olds T, Kroymann J. 2002. Disarming the mustard oil bomb. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:11223–28
115. Raymond B, Sayyed AH, Wright DJ. 2005. Genes and environment interact to determine the fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Proc. R. Soc. Lond. B* 272:1519–24
116. Raymond B, Wright DJ, Bonsall MB. 2011. Effects of host plant and genetic background on the fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Heredity* 106:281–88
117. Reddy GVP, Holopainen JK, Guerrero A. 2002. Olfactory responses of *Plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass, and green leaf cabbage volatiles. *J. Chem. Ecol.* 28:131–43
118. Renwick JAA. 2002. The chemical world of crucivores: lures, treats and traps. *Entomol. Exp. Appl.* 104:35–42
119. Renwick JAA, Haribal M, Gouinguene S, Stadler E. 2006. Isothiocyanates stimulating oviposition by the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *J. Chem. Ecol.* 32:755–66
120. Rincon C, Bordat D, Lohr B, Dupas S. 2006. Reproductive isolation and differentiation between five populations of *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biol. Control* 36:171–82
121. Roush RT, Tabashnik BE, eds. 1990. *Pesticide Resistance in Arthropods*. New York: Chapman & Hall
122. Russell DA, Uijtewaal B, Dhawan V, Grzywacz D, Kaliaperumal R. 2011. Progress and challenges in the *Bt brassica* CIMBAA public/private partnership. See Ref. 161, pp. 19–27
123. Sannaveerappanavar VT, Virktamath CA. 2006. Resistance to insecticides in an Indian strain of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Resist. Pest Manag. Newsl.* 15:32–35
124. Santos VC, de Siqueira HAA, da Silva JE, de Farias MJDC. 2011. Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. *Neotrop. Entomol.* 40:264–70
125. Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2006. Diamondback moth-host plant interactions: implications for pest management. *Crop. Prot.* 25:625–39
126. Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2007. Resistance of some cultivated Brassicaceae to infestations by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 100:215–24
127. Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2009. Fitness of the parasitoid *Diadegma insulare* is affected by its host's food plants. *Basic Appl. Ecol.* 10:563–72
128. Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2009. Host plant nutritional quality affects the performance of the parasitoid *Diadegma insulare*. *Biol. Control* 51:34–41
129. Sarfraz M, Keddie AB, Dosdall LM. 2005. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Sci. Technol.* 15:763–89
130. Sarfraz RM, Dosdall LM, Blake AJ, Keddie BA. 2010. Leaf nutrient levels and the spatio-temporal distributions of *Plutella xylostella* and its larval parasitoids *Diadegma insulare* and *Microplitis plutellae* in canola. *BioControl* 55:229–44
131. Sarfraz RM, Dosdall LM, Keddie AB. 2009. Bottom-up effects of host plant nutritional quality on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and top-down effects of herbivore attack on plant compensatory ability. *Eur. J. Entomol.* 106:583–94
132. Sarfraz RM, Dosdall LM, Keddie BA. 2010. Performance of the specialist herbivore *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on Brassicaceae and non-Brassicaceae species. *Can. Entomol.* 142:24–35
133. Sarmiento GM, Ocampo VR. 2010. Variability in response to insecticides of field populations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus), in the Philippines. *Philipp. Entomol.* 24:39–76
134. Sayyed AH, Attique MNR, Khaliq A, Wright DJ. 2005. Inheritance of resistance and cross-resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. *Pest Manag. Sci.* 61:636–42

135. Sayyed AH, Crickmore N. 2007. Selection of a field population of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) with acetamiprid maintains, but does not increase, cross-resistance to pyrethroids. *J. Econ. Entomol.* 100:932–38
136. Sayyed AH, Moores G, Crickmore N, Wright DJ. 2008. Cross-resistance between a *Bacillus thuringiensis* Cry toxin and non-Bt insecticides in the diamondback moth. *Pest Manag. Sci.* 64:813–19
137. Sayyed AH, Omar D, Wright DJ. 2004. Genetics of spinosad resistance in a multi-resistant field-selected population of *Plutella xylostella*. *Pest Manag. Sci.* 60:827–32
138. Sayyed AH, Raymond B, Ibiza-Palacios MS, Escriche B, Wright DJ. 2004. Genetic and biochemical characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:7010–17
139. Sayyed AH, Saeed S, Noor-Ul-Ane M, Crickmore N. 2008. Genetic, biochemical, and physiological characterization of spinosad resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 101:1658–66
140. Sayyed AH, Wright DJ. 2004. Fipronil resistance in the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae): inheritance and number of genes involved. *J. Econ. Entomol.* 97:2043–50
141. Sayyed AH, Wright DJ. 2006. Genetics and evidence for an esterase-associated mechanism of resistance to indoxacarb in a field population of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Pest Manag. Sci.* 62:1045–51
142. Schellhorn NA, Bellati J, Paull CA, Maratos L. 2008. Parasitoid and moth movement from refuge to crop. *Basic Appl. Ecol.* 9:691–700
143. Schellhorn NA, Macfadyen S, Bianchi FJJA, Williams DG, Zalucki MP. 2008. Managing ecosystem services in broadacre landscapes: What are the appropriate spatial scales? *Aust. J. Exp. Agric.* 48:1549–59
144. Sereda B, Basson NCJ, Marais P. 1997. Bioassay of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (L.) in South Africa. *Afr. Plant Prot.* 3:67
145. Shaw MR. 2003. Revised synonymy of the genus *Cotesia* (Hymenoptera: Braconidae: Microgasterinae): the identity of *Microgaster vestalis* Haliday 1824 as a senior synonym of *Apanteles plutellae* Kurdjumov 1912. *Entomol. Gaz.* 54:187–89
146. Shelton AM, Badenes-Perez E. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 51:285–308
147. Shelton AM, Collins HL, Zhang YJ, Wu QJ, eds. 2008. *Proceedings of the Fifth International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*. Beijing, China: China Agric. Sci. Technol. Press
148. Shelton AM, Sances FV, Hawley J, Tang JD, Boune M, et al. 2000. Assessment of insecticide resistance after the outbreak of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in California in 1997. *J. Econ. Entomol.* 93:931–36
149. Shepard BM, Hammig MD, Carner GR, Ooi PAC, Smith JP, et al. 2009. Implementing integrated pest management in developing and developed countries. In *Integrated pest management: dissemination and impact*, ed. R Peshin, AK Dhawan, pp. 275–305. Dordrecht, The Neth.: Springer
150. Shiojiri K, Ozawa R, Matsui K, Kishimoto K, Kugimiya S, Takabayashi J. 2006. Role of the lipoxigenase/lyase pathway of host-food plants in the host searching behavior of two parasitoid species, *Cotesia glomerata* and *Cotesia plutellae*. *J. Chem. Ecol.* 32:969–79
151. Shiojiri K, Takabayashi J, Yano S, Takafuji A. 2002. Oviposition preferences of herbivores are affected by tritrophic interaction webs. *Ecol. Lett.* 5:186–92
151. Shiojiri K, Takabayashi J, Yano S, Takafuji A. 2002. Oviposition preferences of herbivores are affected by tritrophic interaction webs. *Ecol. Lett.* 5:186–92
152. Shirai Y. 1995. Longevity, flight ability and reproductive performance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae), related to adult body size. *Res. Popul. Ecol.* 37:269–77
153. Silva R, Furlong MJ. 2012. Diamondback moth oviposition: effects of host plant and herbivory. *Entomol. Exp. Appl.* 143:218–30
154. Sivapragasam A. 2004. *Brassica* IPM adoption: progress and constraints in south-east Asia. See Ref. 34, pp. 11–18
155. Sivapragasam A, Loke WH, Hussan AK, Lim GS, eds. 1997. *The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests: Proceedings of the Third International Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia, 29 October - 1 November 1997*. Kuala Lumpur, Malaysia: Malays. Agric. Res. Dev. Inst.

156. Snoeren TAL, Mumm R, Poelman EH, Yang Y, Pichersky E, Dicke M. 2010. The herbivore-induced plant volatile methyl salicylate negatively affects attraction of the parasitoid *Diadegma semiclausum*. *J. Chem. Ecol.* 36:479–89
157. Snoeren TAL, Van Poecke RMP, Dicke M. 2009. Multidisciplinary approach to unravelling the relative contribution of different oxylipins in indirect defense of *Arabidopsis thaliana*. *J. Chem. Ecol.* 35:1021–31
158. Soufalf M, Fathipour Y, Karimzadeh J, Zalucki MP. 2010. Bottom-up effect of different host plants on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): a life-table study on canola. *J. Econ. Entomol.* 103:2019–27
159. Sparks TC, Dripps JE, Watson GB, Paroonagian D. 2012. Resistance and cross-resistance to the spinosyns: a review and analysis. *Pestic. Biochem. Physiol.* 102:1–10
160. Spencer JL, Pillai S, Bernays EA. 1999. Synergism in the oviposition behavior of *Plutella xylostella*: sinigrin and wax compounds. *J. Insect Behav.* 12:483–500
161. Srinivasan R, Shelton AM, Collins HL, eds. 2011. *Proceedings of the Sixth International Workshop on Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests*. Shanhuai: Taiwan: AVRDC - The World Veg. Cent. 321 pp.
162. Staley JT, Stewart-Jones A, Pope TW, Wright DJ, Leather SR, et al. 2010. Varying responses of insect herbivores to altered plant chemistry under organic and conventional treatments. *Proc. R. Soc. Lond. B* 277:779–86
163. Staley JT, Stewart-Jones A, Poppy GM, Leather SR, Wright DJ. 2009. Fertilizer affects the behaviour and performance of *Plutella xylostella* on brassicas. *Agric. For. Entomol.* 11:275–82
164. Sun JY, Sonderby IE, Halkier BA, Jander G, de Vos M. 2009. Non-volatile intact indole glucosinolates are host recognition cues for ovipositing *Plutella xylostella*. *J. Chem. Ecol.* 35:1427–36
165. Talekar NS, ed. 1992. *Proceedings of the Second International Workshop on Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*. Tainan, Taiwan: Asian Vegetable Res. Dev. Cent.
166. Talekar NS. 2004. Biological control of diamondback moth in Asia. In *Improving biocontrol of Plutella xylostella: Proceedings of the International Symposium, Montpellier, France, 21–24 October 2002*, ed. AA Kirk, D Bordat, pp. 103–15. Montpellier, France: CIRAD
167. Talekar NS, Griggs TD, eds. 1986. *Proceedings of the First International Workshop on Diamondback Moth Management*. Tainan, Taiwan: Asian Vegetable Res. Dev. Cent.
168. Talekar NS, Shelton AM. 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.* 38:275–301
169. Talekar NS, Yang JC, Lee ST. 1992. Introduction of *Diadegma semiclausum* to control diamondback moth in Taiwan. See Ref. 165, pp. 263–70
170. Tang JD, Gilboa S, Roush RT, Shelton AM. 1997. Inheritance, stability, and lack-of-fitness costs of field-selected resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) from Florida. *J. Econ. Entomol.* 90:732–41
171. Textor S, Gershenzon J. 2009. Herbivore induction of the glucosinolate-myrosinase defense system: major trends, biochemical bases and ecological significance. *Phytochem. Rev.* 8:149–70
172. Traugott M, Zangerl P, Juen A, Schallhart N, Pfiffner L. 2006. Detecting key parasitoids of lepidopteran pests by multiplex PCR. *Biol. Control* 39:39–46
173. Uefune M, Kugimiya S, Sano K, Takabayashi J. 2012. Herbivore-induced plant volatiles enhance the ability of parasitic wasps to find hosts on a plant. *J. Appl. Entomol.* 136:133–38
174. Upanisakorn A, Sammawan S, Ketelaar JW, Lim GS. 2011. Introduction and establishment of *Diadegma semiclausum* in conjunction with farmer field school for diamondback moth control in intensively-sprayed crucifer production in north-eastern Thailand. See Ref. 161, pp. 97–102
175. van Loon JJA, Wang CZ, Nielsen JK, Gols R, Qiu YT. 2002. Flavonoids from cabbage are feeding stimulants for diamondback moth larvae additional to glucosinolates: chemoreception and behavior. *Entomol. Exp. Appl.* 104:27–34
176. Vastrad AS, Lingappa S, Gould KB. 2002. Status of insecticide resistance in diamondback moth, *Plutella xylostella* Linnaeus (Plutellidae: Lepidoptera), in Karnataka. *Karnataka J. Agric. Sci.* 15:379–83
177. Ventura OD. 1997. Experiences with biological control of diamondback moth in the Philippines. See Ref. 155, pp. 67–70

178. Verkerk RHJ, Wright DJ. 1997. Field-based studies with the diamondback moth tritrophic system in Cameron Highlands of Malaysia: implications for pest management. *Int. J. Pest Manag.* 43:27–33
179. Vickers RA, Furlong MJ, White A, Pell JK. 2004. Initiation of fungal epizootics in diamondback moth populations within a large field cage: proof of concept for auto-dissemination. *Entomol. Exp. Appl.* 111:7–17
180. Vos HCCAA. 1953. Introduction in Indonesia of *Angitia cerophaga* Grav., a parasitoid of *Plutella maculipennis*. *Contrib. Gen. Agric. Res. Stn. Bogor* 134:1–32
181. Wagener B, Reineke A, Lohr B, Zebitz CPW. 2004. A PCR-based approach to distinguish important *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae) associated with diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bull. Entomol. Res.* 94:465–71
182. Wang CL, Yang YH, Wu YD. 2006. Field-evolved resistance to *Bt* delta-endotoxins and *Bt* formulation in *Plutella xylostella* from the southeastern coast region of China. *Acta Entomol. Sin.* 49:70–73
183. Wang JJ, Han ZJ, Wang YC. 2000. Resistance level of diamondback moth from Nanjing and contact toxicity of newly introduced insecticides. *J. Nanjing Agric. Univ.* 23:21–24
184. Wang XG, Wu YD. 2012. High levels of resistance to chlorantraniliprole evolved in field populations of *Plutella xylostella*. *J. Econ. Entomol.* 105:1019–23
185. Waters EK, Hamilton AJ, Hepworth G, Kim HJ, Pak WS, Furlong MJ. 2009. The influence of management practice on the spatial distribution of lepidopteran pests in *Brassica* crops in the Democratic People's Republic of Korea: implications for sequential sampling plans. *Popul. Ecol.* 51:525–31
186. Wilson F. 1960. *A Review of the Biological Control of Insects and Weeds in Australia and Australian New Guinea*. Tech. Commun. No. 1. Commonw. Inst. Biol. Control, Ottawa, Canada. 102 pp.
187. Zalucki JM, Furlong MJ. 2011. Predicting outbreaks of a major migratory pest: an analysis of diamondback moth distribution and abundance revisited. See Ref. 161, pp. 8–14
188. Zalucki MP, Adamson D, Furlong MJ. 2009. The future of IPM: whither or wither? *Aust. J. Entomol.* 48:85–96
189. Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Liu SS, Furlong MJ. 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella*: Just how long is a piece of string? *J. Econ. Entomol.* 105:1115–29
190. Zhang PJ, Liu SS, Wang H, Zalucki MP. 2007. Olfactory learning induces moth oviposition on nonhost plants. *J. Chem. Ecol.* 33:1528–41
191. Zhang PJ, Shu JP, Fu CX, Zhou Y, Hu Y, et al. 2008. Tradeoffs between constitutive and induced resistance in wild crucifers shown by a natural, but not an artificial, elicitor. *Oecologia* 157:83–92
192. Zhang PJ, Shu JP, Wu ZY, Dicke M, Liu SS. 2009. Lack of correlation between constitutive and induced resistance to a herbivore in crucifer plants: real or flawed by experimental methods? *Entomol. Exp. Appl.* 131:58–66
193. Zhao F, Wang M. 2006. Resistance of *Plutella xylostella* to nine insecticides in several field populations in China. *Cbin. Bull. Entomol.* 43:640–43
194. Zhao JZ, Collins HL, Li YX, Mau RFL, Thompson GD, et al. 2006. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. *J. Econ. Entomol.* 99:176–81
195. Zhao JZ, Li YX, Collins HL, Gusukuma-Minuto L, Mau RFL, et al. 2002. Monitoring and characterization of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad. *J. Econ. Entomol.* 95:430–36
196. Zhou L, Huang J, Xu H, Zhou LJ, Huang JG, Xu HH. 2011. Insecticide resistance of *Plutella xylostella* from fields of Pearl River Delta. *J. South China Agric. Univ.* 32:45–48
197. Zhou LJ, Huang JG, Xu HH. 2011. Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: A ten-year case study. *Crop Prot.* 30:272–78