دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
شاپا ٤٦٦٨-٢٠٠٨
http://jer.iau-arak.ac.ir

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی

جلد ١٤، شماره٢، سال ١٤٠١، (١٠٣-٩١)

پدیده هورمسیس در حشرات

مهری زرگانی[1*]

١- دانشجوی دکتری، گروه گیاهپزشکی-حشره‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

اثر تحریک کننده غلظت‌های کم مواد شیمیای بر موجودات زنده، هورمسیس نامیده می‌شود. هورمسیس به عنوان یک مکانیسم تطبیقی شناخته شده است که به وسیله آن عوامل استرس‌زای خفیف می‌توانند ظرفیت محافظتی میزبان را تقویت کنند، در حالی که همین عوامل در سطوح بیش از حد مضر یا کشنده هستند. حشرات در اکوسیستم‌های کشاورزی با بسیاری از عوامل استرس‌زا (مواد شیمیایی، گرما و کمبود مواد مغذی) که اغلب در سطوح پایین هستند، مواجه می‌شوند. در حال حاضر اثرات تحریکی (هورمتیک) در معرض استرس خفیف قرار گرفتن حشرات به خوبی شناخته شده است که موجب پیامدهایی برای مدیریت حشرات، ساختار و عملکرد اکولوژیکی در اکوسیستم‌های کشاورزی می‌شود. بسیاری از فرآیندهای زیستی و غیرزیستی نیز دُز آفت‌کشی را که یک حشره در مزرعه در معرض آن قرار می‌گیرد، از نظر مکانی و زمانی تغییر می‌دهد. بنابراین هورمسیس یک پدیده‌ی مهم در مدیریت آفات به شمار می‌آید. با این حال این پدیده توجه نسبتا کمی از سوی سم‌شناسان حشرات در ایران دریافت کرده است. با توجه به اهمیت پدیده‌ی هورمسیس این مقاله به بررسی اثرات هورمتیک عوامل مختلف در حشرات با توجه به تحقیقات پیشین پرداخته است.

واژه‌های کلیدی: غلظت آفت‌کش‌ها، تجدید حیات آفت، شیوع آفت ثانویه، هورمتیک، اثرات تحریک کننده سموم.

[*] نویسنده رابط، پست الکترونیکی: ***M_zargani64@yahoo.com***

تاریخ دریافت مقاله:١٤٠١/٣/٢٠ - تاریخ پذیرش مقاله:١٤٠١/٦/٥

مقدمه

انسان‌ها برای جلوگیری از نابودی و از بین رفتن محصولات کشاورزی خود که با صرف هزینه، زحمت و زمان بسیلر بدست می‌آید و همچنین بدلیل رشد جمعیت و محدودیت‌های موجود در تولید محصولات مختلف غذایی از روش‌های مختلفی جهت کنترل و دفع آفات نباتی استفاده می‌نمایند که در میان این روش‌ها یکی از رایج‌ترین آن‌ها استفاده از سموم دفع آفات می‌باشد. تعریفی که آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا از آفت‌کش ارائه داده است بدین صورت است که آفت‌کش ماده یا مخلوطی از مواد است که به منظور پیشگیری، نابودی، دفع یا کاهش هر گونه آفت بکار می‌رود (Federal Insecticide, 1972 ; Aghilinejad *et al*., 2007). مدیریت آفات (حشرات) در ۷۰ سال گذشته عمدتاً از طریق استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی بوده است. بنابراین، جمعیت حشرات در کشاورزی و جنگل‌داری به طور بالقوه در معرض مقادیر زیادی آفت‌کش هستند که ممکن است از طریق تماس، گوارش و تنفس رخ دهد (Cutler, 2013). اثر حشره‌کش‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد، اما دُز تعیین کننده کلیدی اثر حشره‌کش‌هاست. دُز آفت‌کشی که حشره در معرض آن قرار می‌گیرد، در مکان و زمان مختلف بسیار متفاوت است. به طور مثال تولیدکنندگان سعی دارند که به طور یکنواخت آفت‌کش را روی محصولات خود سمپاشی کنند، اما حتی یک نسیم کوچک می‌تواند باعث رانش شود و در نتیجه مقادیر متغیری از محلول سم به گیاهان در سراسر مزرعه اسپری شود. تبخیر آفت‌کش‌ها، که به‌ویژه در روزهای خشک و گرم در میزان اثر حشره‌کش از اهمیت برخوردار است زیرا می‌تواند مقدار آفت‌کش باقی‌مانده در هدف را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. حتی در داخل یک گیاه، نفوذ سمپاشی از طریق تاج پوشش می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد، همچنین سطح بالایی و پایینی گیاه، میزان جذب آفت‌کش متفاوت خواهد بود. دما، رطوبت، اسیدیته خاک، جذب نور توسط گیاه، تخریب میکروبی و شیمیایی روی خاک یا شاخ و برگ، فرآیندهای مهمی هستند که سمیت محلول استفاده شده را تغییر و کاهش می‌دهند. به عنوان مثال، سرعت تخریب نوری حشره‌کش با شدت نور متفاوت خواهد بود (Nauen *et al*., 1998). این امکان نیز وجود دارد که حشره‌کش‌های سیستمیک که روی خاک یا محصولات استفاده می‌شوند در گیاه تحت تاثیر مکانیزم‌هایی تجزیه شوند و سمیت حشره‌کش کاهش یابد. علاوه بر این، غلظت حشره‌کش سیستمیک می‌تواند در یک گیاه و همچنین در شاخ و برگ‌های قدیمی و جدید در طول زمان متفاوت باشد (Olson *et al*., 2004). بنابراین، بسیاری از فرآیندهای زیستی و غیرزیستی، دُز آفت‌کشی را که یک حشره در مزرعه در معرض آن قرار می‌گیرد، از نظر مکانی و زمانی در معرض تغییر قرار می‌گیرد. اگرچه مطالعه روابط دُز–پاسخ به طور سنتی توسط مدل‌های آستانه و یا خطی غیرآستانه محاسبه می‌شود، مدل دُز–پاسخ–هورمتیک یک مدل دو فازی است که با تحریک در دُز پایین و بازداری در دُز بالا مشخص می‌شود و اکنون به طور گسترده به عنوان یک مدل پدیده بیولوژیکی عمومی شناخته شده است (Cutler, 2013). در نتیجه با اینکه هورمسیس یک پدیده‌ی مهم در مدیریت آفات است. با این حال، علی‌رغم پیامدهای بالقوه تحریک‌های هورمسیس در مدیریت آفات و فرصت‌هایی که مدل‌های حشره–حشره‌کش می‌توانند در تحقیقات اولیه ارائه دهند، این پدیده توجه نسبتا کمی از سوی سم‌شناسان حشرات دریافت کرده است.

روش تحقیق

با گردآوری مقالات چاپ شده در خصوص موضوع تحقیق صورت پذیرفته است.

مفاهیم هورمسیس در حشرات

اثر تحریک کننده غلظت‌های کم مواد شیمیایی سمی بر موجودات زنده، هورمسیس[1] نامیده می‌شود (Fulladosa *et al*., 2007). مفهوم هورمسیس به طور قابل توجهی در طول سال‌ها تکامل یافته است و تعدادی از اصطلاحات برای توصیف دُز-پاسخ هورمتیک استفاده شده است. هورمسیس از ریشه یونانی به معنای اشتیاق و حرکت سریع برگرفته شده است. معمولا در پاسخ‌های بیولوژیکی به دُزهای کم سم و محرک‌های تنش‌زای دیگر به کار می‌رود (Borzoiysileh & Shabestanimonfared, 2014; Martins *et al*., 2011). در ادبیات مربوط به حشرات، عمدتاً از سه اصطلاح الف) هورمسیس ب) هورمولیگوز[2] و ج) مدلاسیون هموستاتیک با واسطه آفت‌کش‌ها[3] استفاده شده است. هورمسیس در مورد سموم و محرک‌ها زمانی به کار می‌رود که اثر آن‌ها در دُزهای کم و زیاد عکس همدیگر باشد (Cutler, 2013). به بیانی دیگر هورمسیس به پروسه‌ای اطلاق می‌شود که یک سلول، ارگانیسم یا گروهی از موجودات زنده پاسخ دو فازی (دوگانه) از خود در برابر مقادیر فزآینده از یک ماده یا شرایط خاص (شیمیایی، محرک بویایی یا استرس متابولیکی) نشان می‌دهند. معمولا تماس با دُزهای پایین، اثرات تحریکی یا سودمند و دُزهای بالا اثرات مهاری یا سمی ایجاد می‌کنند و این پدیده اغلب در مشاهدات سم شناسی رخ می‌دهد (Khodaei Motlagh & Mirzaei, 2019). این پدیده ابتدا در مطالعات مربوط به تنظیم کننده‌های رشد شامل علف‌کش‌ها و یا حتی داروها مشاهده شد (Cedergreen *et al*., 2007). سپس در مورد مواد شیمیایی ترشح شده از اندام‌های زنده گیاهی یا بقایای گیاهی در حال پوسیدن و از سطح بوته تا سطح‌های بیوشیمیایی در سلول‌ها مشاهده و مورد مطالعه قرار گرفت. این پدیده در تعداد بی‌شماری از موجودات تک‌سلولی و چند سلولی مشاهده شده است و برای بسیاری از معیارهای بیولوژیکی از جمله رشد، طول عمر، فرآیندهای متابولیکی و مولکولی متعدد، عملکرد شناختی و پاسخ ایمنی به کار می‌رود (Calabrese and Blain, 2005). امروزه پدیده هورمسیس برای عوامل متعدد مانند جیوه، آرسنیک، حشره‌کش‌ها و تشعشع به اثبات رسیده‌اند و می‌توان گفت تمامی موجودات زنده اعم از باکتری‌ها، کرم‌ها، پرندگان، جوندگان از این مکانیزم حیاتی برای زنده ماندن استفاده می‌کنند. در تحقیقی نشان داده شد که مقادیر کم کادمیوم ظرفیت تولید مثل حلزون را تقویت کرده اما دُزهای بالای آن کشنده است (Lefcort *et al*., 2008). یا اینکه عنصر سلنیوم یک ریزمغذی است و برای سلامت انسان ضروری می‌باشد (در عملکرد صحیح ۳۰ نوع پروتئین دخیل است) ولی اگر در مقادیر زیاد مصرف شود سمی است و می‌تواند باعث مرگ شود. اثرات هورمتیک به عوامل استرس‌زای شیمیایی مانند آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین محدود نمی‌شود و ممکن است به دنبال تشعشعات خفیف ناشی از استرس دمایی ظاهر شود (Gomez *et al*., 2009).

اصطلاحات هورمولیگوز و هورمولیگانت[4] توسط لاکی در اولین کنفرانس بین‌المللی آنتی‌بیوتیک‌ها در کشاورزی ابداع شد (Luckey, 1956). لاکی[5] (۱۹٦۳) هورمولیگوز را به عنوان وضعیتی توصیف کرد که در آن، مقادیر جزئی هر عامل استرس‌زا (شیمیایی، فیزیکی، روانی یا اجتماعی) برای ارگانیسم تحت شرایط مختلف تحریک کننده است، در حالی که مقادیر بیشتری از عوامل استرس‌زا می‌توانند برای همان ارگانیسم مضر باشد. در اینجا اصل تحریک با دُز کم و بازداری با دُز بالا آشکار می‌شود. تعریف لاکی نشان می‌دهد که هورمولیگوز در موقعیت‌هایی اعمال می‌شود که ارگانیسم تحت استرس قرار می‌گیرد اما تا زمانی که مقدار کمی از یک عامل استرس‌زا دوم به سیستم ارائه نشود، هیچ تحریکی مشاهده نمی‌شود. از منظر تکاملی، هورمولیگوز می‌تواند درصورتی که یک مقدار کوچک (اما نه بیش از حد کوچک باشد) موجب

[1] Hormesis
[2] Hormoligosis
[3] Pesticide-mediated homeostatic modulation
[4] Hormoligant
5 Luckey

بهینه‌سازی مراحل رشد یک فرد برای مقابله با تنش‌های بعدی شود. تمایز بین این اثرات تعاملی بالقوه مهم است زیرا میزان تحریک را می‌توان تقریبا در مخلوط با شناخت روابط غلظت واکنش‌های تنش‌های فردی پیش‌بینی کرد. از آنجایی که همه عوامل استرس‌زا ممکن است باعث ایجاد هورمسیس شوند، لذا می‌توان هورمولیگوز را نوعی هورمسیس مخلوط معرفی کرد (Cutler, 2013).

کوهن[1] (۲۰۰۶) مفهوم مدلاسیون هموستاتیک با واسطه آفت‌کش‌ها را پیشنهاد کرده است. او استدلال کرد که در شرایطی که اثرات تحریکی، در یک بندپای آفتی مشاهده می‌شود که نه مورد هدف قرار گرفته و نه توسط آفت‌کش کنترل شده است، واژه‌ی هورمسیس کاربرد ندارد. او «کنه‌کش‌ها» (عوامل استرس‌زا که کنه‌ها را هدف قرار می‌دهند)، را از «حشره‌کش‌ها» (مواد شیمیایی که منحصراً برای حشرات سمی هستند) و «آفت‌کش‌ها» (مواد شیمیایی که بر هر دو نوع بندپایان تأثیر می‌گذارند) متمایز کرد. مثال‌ها عمدتاً به‌عنوان مواردی ارائه می‌شوند که در آن تحریک تولیدمثل کنه به دنبال قرار گرفتن در معرض حشره‌کش‌هایی مانند د.د.ت، کاربارید، پیرتروئیدهای حشره‌کش یا ایمیداکلوپرید دیده می‌شود. این ترکیبات از نظر الگوی استفاده، کنه‌کش محسوب نمی‌شوند و برای کنترل آفات کنه در نظر گرفته نمی‌شوند. اما کنه‌ها و حشرات اغلب در یک محیط زندگی می‌کنند و در برخی موارد که از ترکیبات فوق برای مدیریت حشرات آفت استفاده می‌شود، افزایش جمعیت کنه مشاهده شده است. او اشاره می‌کند که برای ایجاد هورمسیس، ابتدا باید نقاط پایانی دُز–پاسخ مانند مقادیر LD یا LC به وضوح مشخص شود. او معتقد است که اثرات تحریکی مشاهده شده با آفت‌کش‌هایی که در دُزهای بالا برای بندپایان غیرسمی هستند (مانند تحریک تولید مثل کنه تارتن دولکه‌ای در مزرعه) را نمی‌توان به هورمسیس نسبت داد و اصطلاح مدلاسیون هموستاتیک با واسطه آفت‌کش را ارائه داده است. اصطلاح گسترده‌تر شامل اثرات هورمسیس و تحریکی آفت‌کش‌ها بر آفات غیر هدف می‌شود.

به نظر می‌رسد که واژه‌ی هورمسیس به جای اصطلاحات هورمولیگوز و مدلاسیون هموستاتیک با واسطه آفت‌کش، حداقل برای توضیح پاسخ‌های تحریکی که تاکنون در سم‌شناسی حشرات با آن مواجه شده‌اند، کافی باشد. مدلاسیون هوموستاتیک با واسطه آفت‌کش، پاسخ دُزی یا زیربنای مکانیکی متفاوت از هورمسیس را پیشنهاد نمی‌کند. این مفهومی مبتنی بر معناشناسی است و از نظر بیولوژیکی از هورمسیس جدا نمی‌شود. هورمولیگوز نیز یک اصطلاح با اهمیت تاریخی قوی در سم‌شناسی حشرات است و اصطلاحی است که توسط برخی از نویسندگان هنگام توصیف تحریک ناشی از حشره‌کش‌ها در حشرات استفاده می‌شود. طبق تعریف ممکن است از هورمسیس جدا شود که حشره (یا هر ارگانیسم/سلول) باید قبل از هر گونه تحریک بیولوژیکی مشاهده شده توسط دُز پایین حشره‌کش (یا هر عامل استرس‌زا) شرایط کمتر از حد بهینه را تجربه کند. اما در واقع موردی از هورمسیس مخلوط است (Cutler, 2013).

اهمیت مطالعه هورمسیس در حشرات

تاکید بر کشندگی به عنوان نقطه پایانی در آزمایش‌ها از لحاظ تاریخی غالب بوده زیرا اثرات زیر کشنده اغلب نادیده گرفته می‌شد. این روند با به رسمیت شناختن اهمیت هورمسیس ناشی از آفت‌کش‌ها تغییر کرده است، اما با تکامل نسبتاً منفعل علم، به دنبال یک دیدگاه سوداگرایانه که عمدتاً در مدیریت آفات کشاورزی و عملکرد محصول ریشه دارد. در مدیریت آفات کشاورزی اثرات مستقیم سموم دفع آفات بر روی گونه‌های آفت، که اکنون به دشمنان طبیعی گونه‌های آفت و گرده‌افشان‌ها نیز معطوف شده است (Guedes *et al.*, 2022). در مطالعات سم‌شناسی حشرات آفت و حشرات

[1] Cohen

مفید به طور سنتی بیشتر بر دُزهای بالا و اثرات کشنده، یعنی داده‌های LD_{50}/LC_{50} متمرکز شده است، همانطور که مطالعات سم‌شناسی در سایر رشته‌ها نیز انجام می‌شود. علاوه بر این، اگرچه اهمیت قرار گرفتن در معرض دُز کم حشره‌کش و اثرات کشنده مدت‌هاست که درک شده است. اینها عموماً در چارچوب اثرات مضر دُزهای کم بر حشرات ارائه می‌شوند. باروری، طول عمر، رفتار و نقاط پایانی مشابه، پاسخ جایگزین - تحریک فرآیندهای بیولوژیکی ناشی از حشره‌کش از طریق مکانیسم‌های هورمتیک - به مراتب کمتر مورد توجه قرار گرفته است. رشته‌های زیستی تلاش زیادی به مطالعه سم‌شناسی حشرات، بیوشیمی، فیزیولوژی، زیست‌شناسی مولکولی، ژنتیک، تولید مثل و رفتار اختصاص داده شده است، و این کار به عنوان یک پایه عالی برای تحقیقات اولیه دُز-پاسخ عمل می‌کند. ژنوم بسیاری از گونه‌های حشرات به طور کامل یا جزئی ترسیم شده است (NCBI, 2012) و عملکرد تعداد زیادی از ژن‌های حشرات مشخص است. بنابراین، فرصت‌های فراوانی برای مطالعه عملکرد پایه هورمسیس با استفاده از حشرات به‌عنوان ارگانیسم‌های مدل وجود دارد (Cutler, 2013). که به دنبال کاربرد حشره‌کش، گاهی اوقات افزایش جمعیت حشرات یا کنه‌ها با سرعتی بیشتر از آن‌چه که بدون استفاده از آن مشاهده می‌شد، وجود دارد. این ممکن است در آفت اولیه هدف‌گیری شده با حشره‌کش (معروف به "احیای مجدد آفت")، یا در یک گونه آفت ثانویه که در ابتدا از اهمیت اقتصادی کمتری برخوردار است (معروف به "شیوع آفت ثانویه") مشاهده شود (Hardin *et al*., 1995). به عنوان مثال در تحقیقی نشان داده شد که دُزهای پایین کشنده لیمونن (LD_{20}) باعث افزایش طول عمر مگس‌های مدیترانه‌ای[1] بالغ، در صورت محرومیت از پروتئین شد. زمانی که ماده‌ها در معرض دُزهای زیر کشنده لیمونن قرار گرفتند، در افزایش باروری تأثیر مثبتی داشت (Papanastasiou *et al*., 2017).

شواهد هورمسیس در حشرات

سان[2] در سال (١٩٤٥) مشاهده کرد که غلظت‌های بالای سمپاشی روتنون[3] برای شته‌های[4] ماده بالغ لوبیا سمی بود، اما شته‌های ماده‌ایی که با غلظت‌های پایین سم تیمار شدند، تولیدمثل بیشتری نسبت به شته‌های شاهد داشتند. پس از آن، دُزهای کشنده دیلدرین برای افزایش طول عمر مگس سرکه[5] (Knutson, 1955) و افزایش وزن و باروری مگس خانگی[6] یافت شد (Afifi and Knutson, 1956). سایر مطالعات اولیه بر مگس خانگی نشان داد که وقتی این حشره در معرض غلظت‌های کشنده حشره‌کش‌های مختلف قرار گرفت، تولید مثل تحریک شد (Hunter *et al*., 1958). کوئنن[7] (١٩٥٨) دریافت که هنگامی که سرخرطومی[8] با گندمی که آلوده به غلظت‌های کشنده د.د.ت است تغذیه می‌شود، در مقایسه با سرخرطومی که در معرض آن قرار نگرفته‌اند، حدود ٢٠ درصد فرزندان بیشتری تولید می‌کنند (Kuenen, 1958). همچنین در تحقیقات دیگر گزارش شده که د.د.ت تخم‌گذاری را در حشرات مفید (شکارچیان) تحریک می‌کند (Fleschner and Scriven, 1957). مطالعه‌ای در خصوص هورمولیگوز حشرات، زمانی که در معرض غلظت‌های کشنده ١٤ حشره‌کش مختلف قرار می‌گرفتند، موجب افزایش وزن جیرجیرک‌های[9] خانگی می‌شد، توسط لاکی (١٩٦٨) صورت پذیرفت. این

[1] *Ceratitis capitata*
[2] Sun
[3] Rotenone
[4] *Aphis rumicis*
[5] *Drosophila melanogaster*
[6] *Musca domestica*
[7] Kuenen
[8] *Sitophilus granarius*
[9] *Acheta domesticus*

یکی از اولین مقالاتی بود که مکانیزمی را برای تحریک با دُز کم پیشنهاد کرد. چلیا[1] و همکاران در سال (۱۹۸۰) نشان دادند که کاربردهای موضعی حشره‌کش‌ها برون‌داد تولیدمثلی و افزایش طول عمر شپشک سپردار قهوه‌ای مرکبات[2]، را افزایش می‌دهند، اما این پاسخ بسته به دُز و ماده فعال متفاوت است. در تحقیقاتی دیگر تحریک رشد و تولید مثل ناشی از حشره‌کش در چندین گونه شته مشاهده شد (Qu *et al*., 2017; Chen *et al*., 2020). اسمیرنوف[3] (۱۹۸۳) در تحقیق خود مشاهده کرد که لاروهای برگخوار صنوبر[4] که از تیمارهای حشره‌کش ارگانوفسفره و کاربامات جان سالم به در بردند، تبدیل به شفیره‌های سنگین‌تری شدند و در مقایسه با لاروهای تیمار نشده حاوی کلسیم و پروتئین کل بیشتری بودند. در اوایل دهه ۱۹۹۰ و سال‌های پس از آن، مطالعه هورمسیس/هورمولیگوس با تحریک بیولوژیکی در حشرات (تریپس، زنبور، شپش چوب، سوسک کلمبولان و چندین گونه از حشرات، سوسک‌ها، مگس‌ها و پروانه‌ها) تسریع شد. کوهن در سال (۲۰۰۶) گزارشی مبنی بر اثرات تحریکی آفت‌کش‌ها بر روی کنه‌ها را ارائه داد. در بسیاری از تحقیقات تحریک بیولوژیکی ناشی از دُزهای پایین حشره‌کش به عنوان هورمسیس یا هورمولیگوز گزارش نمی‌شود. این امر تأکید می‌کند که مفهوم هورمسیس توسط همه سم‌شناسان شاخه حشرات، حتی کسانی که ممکن است در حال حاضر روی این مشکل کار می‌کنند، درک نشده باشد (Cutler, 2013).

اسناد هورمسیس در حشرات در بسیاری از راسته‌های طبقه‌بندی، که در گروه‌های دگردیسی تدریجی[5]، دگردیسی ناقص[6] و دگردیسی کامل[7] رخ می‌دهند، وجود دارد که نشان می‌دهد هورمسیس یک پدیده عمومی در حشرات است (Cutler, 2013). در مطالعه‌ایی دیده شده حشرات در معرض عوامل استرس‌زا به عنوان تخم، لارو، شفیره یا بالغ مورد تاثیر قرار می‌گیرند و معمولاً اثرات تحریکی در سراسر مرحله زندگی منتقل می‌شود (Nascarella *et al*., 2003). اما اثرات بین نسلی در طول زمان کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. تاثیر کاربرد غلظت‌های مختلف کلرپیریفوس بر روی *Plutella xylostella* (DBM) (گونه‌های مقاوم و حساس) توسط دنگ[8] و همکاران در سال (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. این دُزهای حشره‌کش مورد استفاده به طور قابل توجهی رشد را تحریک کردند و باروری گونه‌های حساس و مقاوم را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دادند. همچنین موجب افزایش فعالیت در استیل‌کولین‌استراز[9] و در گلوتاتیون اس-ترانسفرازها[10] در ۲۵ درجه سانتی‌گراد شدند.

بسیاری از مواد فعال حشره‌کش مختلف می‌توانند اثرات هورمتیک را ایجاد کنند، که دوباره کلیت این پدیده را نشان می‌دهد. با این حال، بیشتر مطالعات تا به امروز بر روی سموم عصبی حشره‌کش متمرکز شده‌اند. وقوع و ماهیت هورمسیس مثلاً تنظیم‌کننده‌های رشد حشرات، پاتوژن‌ها یا انگل‌هایی که در سیستم‌های کشاورزی رخ می‌دهند، مطالعه کمی انجام شده است (Cutler, 2013).

اکثریت مطالعات نوعی تحریک تولیدمثلی را گزارش می‌کنند، اگرچه برخی از نویسندگان تأثیرات را بر سایر پارامترها مانند وزن و برخی اقدامات فیزیولوژیکی یا رفتاری اندازه‌گیری کرده‌اند. تعداد کمی تغییرات بیوشیمیایی، هورمونی یا

[1] Chelliah
[2] *Nilaparvata lugens*
[3] Smirnoff
[4] *Choristoneura fumiferana*
[5] Ametabolous
[6] Hemimetabolous
[7] Holometablous
[8] Deng
[9] Acetylcholinesterase (AChE)
[10] Glutathione S-transferases (GSTs)

مولکولی را در پدیده‌ی هورمسیس حشرات در نظر گرفته‌اند (Cutler, 2013). در تحقیقات متفاوت دیگری، لالوته[1] و همکاران در سال (٢٠١٦) اثرات دُزهای کشنده دلتامترین، فعالیت باقیمانده و ماندگاری در محیط، بر روی سیستم بویایی محیطی و رفتار جنسی حشره، برگ‌خوار پنبه[2] را مورد بررسی قرار دادند. نتایج اثر هورمتیک دُز زیر کشنده دلتامترین بر پاسخ نرها به فرمون جنسی را نشان می‌دهد. در تحقیقی دیگر شفیره‌ی مگس میوه کارائیب[3] در معرض بی‌اکسیژنی (آنوکسی[4]) قرار گرفت، زیرا در هنگام شفیره شدن اغلب در معرض بارندگی شدید استوایی در خاک قرار می‌گیرد و با استرس بی‌اکسیژنی مواجه می‌شود، نتایج نشان داد که سطوح لیپید در تمام مراحل شفیرگی زمانی که در معرض آنوکسی قبلی قرار گرفتند بالاترین میزان بود. بنابراین، بی‌اکسیژنی قبلی به عملکرد ارگانیسمی کمک کرده و منابع را به سمت ذخیره‌سازی لیپید در سراسر رشد شفیره- بالغ منتقل می‌کند، همچنین رشد و باروری حشره را افزایش می‌دهد (Visser *et al*., 2018). تغییرات ناشی از استرس در ویتلوژنین و هورمون جوانی و ژن‌ها در مسیر سیگنالینگ - IIS/TOR که مستقیماً مسئول تنظیم رشد، نمو و تولید مثل هستند، گزارش شده است. در تحقیق ریکس و کاتلر[5] (٢٠٢٢) که اثرات محرک فنوتیپی پس از قرار گرفتن در معرض استرس و پاسخ‌های مولکولی یا بیوشیمیایی آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. تحریک تولید مثل، بقا و طول عمر، رشد و نمو، تحمل دما، مواد شیمیایی، یا گرسنگی و خشکی، در پاسخ به عوامل استرس‌زا از جمله آفت‌کش‌ها، استرس اکسیداتیو، دما، ازدحام، گرسنگی، و تشعشع بود. تحریک تولیدمثلی غالبا حوالی تیمار شاهد و تیمارهای پایین‌تر از ٢٥ درصد مشاهده شد. پاسخ‌های مولکولی و بیوشیمیایی در بسیاری از موارد، ارتباط مستقیم و آشکاری با پاسخ‌های فنوتیپی داشتند.

غلظت‌های محرک

متاآنالیزها نشان می‌دهند که تحریک هورمتیک معمولاً در غلظت‌های فاقد بازدارندگی رشد (NOEC[6]) به اوج خود می‌رسد. با این حال، در مطالعه‌ی حشرات، گاهی اوقات تحریک در غلظت‌های بسیار بالاتر از NOEC گزارش می‌شود. تحریک بالاتر از سطوح شاهد پس از قرار گرفتن در معرض غلظت در محدوده LC_{25} غیر معمول نیست. همچنین تحریک در غلظت LC_{50} نیز مشاهده شده است. غلظت‌های نسبی که باعث تحریک در حشرات می‌شوند کاملاً متغیر هستند و گاهی اوقات به نظر می‌رسد که از ویژگی‌های کمی که معمولاً در پاسخ دُز هورمتیک مشاهده می‌شوند منحرف می‌شوند. عمدتاً، در برخی موارد گزارش‌هایی از تحریک ناشی از حشره‌کش با غلظت‌های بسیار بالاتر از غلظت بدون اثر مشاهده می‌کنیم. بررسی واریانس‌های پاسخ در میان گروه‌های تیمار شده (مانند حشرات در معرض غلظت LC_{25} حشره‌کش) و گروه‌های شاهد در این مطالعات نشان می‌دهد که افراد در گروه‌های تیمار شده و در سراسر گروه‌ها به طور همگن پاسخ می‌دهند، بنابراین نتایج توسط تعداد محدودی که خروجی تولید مثلی غیرطبیعی بالایی دارند، تغییر نمی‌کند. مهم است به خاطر داشته باشید که در یک موقعیت مزرعه‌ای، اگرچه تولید مثل در برخی افراد ممکن است با قرار گرفتن در معرض غلظت حشره‌کش LC_{25} تحریک شود، اما ٢٥ درصد از جمعیت با این غلظت کشته خواهند شد (گروه‌های حساس)، که احتمالاً اثرات تحریکی را بر جمعیت به عنوان یک عامل، خنثی می‌کند. در کل با این وجود، اثرات محرک آشکار ناشی از

[1] Lalouette
[2] *Spodoptera littoralis*
[3] *Anastrepha suspense*
[4] Anoxia
[5] Rix & Cutler
6 No observed effect concentration

حشره‌کش در غلظت‌های بسیار بالاتر از سطح NOEC یک انحراف مهم از پاسخ دُز هورمتیک تعریف شده است و ارزش بررسی بیشتر را دارد (Cutler, 2013).

ماهیت عامل استرس‌زا

هورمسیس به عنوان یک مکانیسم تطبیقی شناخته شده است که به وسیله آن عوامل استرس‌زای خفیف می‌توانند ظرفیت محافظتی میزبان را تقویت کنند، در حالی که موارد در سطوح بیش از حد مضر یا کشنده هستند (Murakami, 2022). حشرات در اکوسیستم‌های کشاورزی با بسیاری از عوامل استرس‌زا به عنوان مثال، مواد شیمیایی، گرما، کمبود مواد مغذی که اغلب در سطوح پایین با آن‌ها مواجه می‌شوند، دست و پنجه نرم می‌کنند. قرار گرفتن در معرض استرس خفیف در حال حاضر به خوبی شناخته شده است که باعث ایجاد اثرات هورمتیک (تحریکی) در حشرات، با پیامدهایی برای مدیریت حشرات، ساختار و عملکرد اکولوژیکی در اکوسیستم‌های کشاورزی می‌شود. آگرواکولوژیست‌های حشره‌شناس علاقه‌مند به هورمسیس نیاز دارند تا فرضیه‌هایی را که تأثیرات بر تعاملات گونه‌ها، ساختار و عملکرد جامعه دارند را بررسی کنند (Cutler *et al*., 2022).

در جایی که ساختار مولکولی مواد شیمیایی بسیار مشابه است، توانایی این مواد شیمیایی مختلف برای القای هورمسیس ممکن است متفاوت باشد (Calabrese, 2010). همچنین گاهی اوقات مشاهده شده است که حشره‌کش‌ها در دُزهای پایین اثرات (نه لزوما دُزهای اطراف NOEC) محرک نداشته باشند. به عنوان مثال، چیلیا[1] و همکاران (۱۹۸۰) دریافتند که در حالی که تحریک تولیدمثلی در *Nilaparvata lugens* در دُزهای LC_{25} و LC_{50} متیل پاراتیون[2] (یک حشره-کش ارگانوفسفره) و دکامترین[3] (حشره‌کش پیرتروئید مصنوعی) به ترتیب هنگامی که حشره در معرض پرتان[4] (آ هیدروکربن کلر) قرار گرفت هیچ تحریکی در چندین غلظت مشابه زیر LC_{50} یافت نشد. نوبائر[5] و همکاران (۱۹۸۳) اثرات هورمتیک معنی‌داری را در شته‌هایی[6] که در معرض غلظت‌های کشنده آلدیکارب قرار داشتند، مشاهده کردند، اما در اتیوفنکارب[7] یا دی‌متوات[8] مشاهده نشد. به طور مشابه، غلظت LC_{30} اندوسولفان منجر به کاهش زمان رشد برای *Heliocoverpa armigera*شد، اما همان غلظت‌های اسپینوساد[9]، کلروپیریفوس[10]، آسفات و سایپرمترین اثرات مضری را رشد حشره داشت. بنابراین منحنی‌های دُز-پاسخ با نحوه عملکرد یا ساختار شیمیایی تغییر می‌یابد. بر خلاف نوروتوکسین‌ها، هورمسیس، در حشرات در معرض دُزهای پایین تنظیم کننده‌های رشد حشرات یا پاتوژن‌های حشرات کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Cutler, 2013).

[1]Chelliah
[2]Methyl parathion
[3]Decamethrin
[4]Perthane
[5]Neubauer
[6]*Aphis citricola*
[7] Ethiofencarb
[8]Dimethoate
[9]Spinosad
[10]Chlorpyriphos

هورمسیس در جمعیت‌های مقاوم به حشره‌کش‌ها

مقاومت به حشره‌کش‌ها همچنان یک مسئله اصلی برای مدیریت آفات (حشرات و کنترل ناقلین بیماری) است (Labbé *et al*., 2007). آزمایش‌ها در واقع نشان می‌دهند که هورمسیس می‌تواند یک مکانیسم اضافه‌تری باشد که به پدیده تجدید حیات آفت کمک می‌کند. چنین تجدید حیات نه تنها می‌تواند منجر به افزایش خسارت محصول شود، بلکه می‌تواند منجر به سمپاشی با آفت‌کش اضافی شود، که به طور بالقوه اثر بر حشرات غیرهدف را تشدید می‌کند و توسعه مقاومت به حشره‌کش‌ها و آلودگی محیطی را تشدید می‌کند. این مشکل ممکن است به ویژه در جمعیت آفات مقاوم به حشره‌کش مرتبط باشد، جایی که اثرات حشره‌کش‌ها، حشره‌ها را در معرض «منطقه هورمتیک» منحنی دُز-پاسخ قرار دهد، تولید مثل جمعیت‌های مقاوم را افزایش داده و فراوانی آلل‌های مقاومت را افزایش می‌دهد. بنابراین، هورمسیس ناشی از حشره‌کش ممکن است برای تکامل مقاومت به آفت‌کش‌ها و طراحی برنامه‌های مدیریت مقاومت مهم باشد، اما این به خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته است (Guedes *et al*., 2010).در مطالعه‌ای اثر نیتن‌پیرام[1]، که یک حشره‌کش نئونیکوتینوئید است برای شش نسل روی حشره *Nilaparvata lugens* (BPH) که یک آفت مخرب مهاجر برنج در مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری و معتدل است در غلظت LC_{20} مورد مطالعه قرار گرفت. این غلظت نه تنها تناسب زیستی (از نظر پارامترهای جدول زندگی و اندازه جمعیت تخمینی) را افزایش داد، بلکه این حشره را برای تحمل/مقاومت بیشتر در برابر حشره‌کش‌های نیتن‌پیرام، ایمیدوکلوپراید و سیکلوکساپراید[2] آماده کرد (Gong *et al*., 2022).

هورمسیس و حشرات مفید

پرورش انبوه و مدیریت حشرات مفید یک صنعت چند میلیارد دلاری است. پیامدهای سودمند بالقوه هورمسیس برای سلامت انسان به خوبی مستند شده است و ما ممکن است بتوانیم اصول هورمتیک را در طول پرورش انبوه حشرات برای بهبود طول عمر، ایمنی یا خروجی‌های تولید مثلی حشرات به کار ببریم. گودس[3] و همکاران (٢٠٠٩) نشان دادند که با قرار گرفتن در معرض یک دُز پایین پرمترین، خروجی‌های تولید مثلی حشره شکارگر مفید *Podisus distinctus* افزایش یافته و زمان تولیدمثل کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی در مورد حشره شکارچی *Supputius cincticeps* مشاهده شد (Zanuncio *et al*., 2005). زنبور پارازیتوئید *Encarsia Formosa* در مواجهه با غلظت LC_{10} اسپیروترامات پدیده هورمسیس را نشان داد که این غلظت موجب تسریع مکان‌یابی میزبان (*Bemisia tabaci* Gennadius) و افزایش کارایی زنبور پارازیتوئید شد (Yang *et al*., 2022). در مطالعه‌ای دیگر کاتلر و ریکس[4] در سال (٢٠١٥) بیان کردند که زنبورها به دُزهای پایین برخی عوامل استرس‌زای شیمیایی واکنش مثبت و هورمتیک نشان داده‌اند. برای تعیین اینکه آیا این نوع مشاهدات مبتنی بر هورمسیس می‌توانند در طی پرورش انبوه حشرات مفید به مزایای اقتصادی تبدیل شوند، باید آزمایش‌های طولانی مدت انجام پذیرد.

[1] Nitenpyram
[2] cycloxaprid
[3] Guedes
[4] Cutler & Rix

نتیجه‌گیری

حشرات همه جا حاضرند و تقریباً در تمام اجزای حیاتی خشکی و آب‌های شیرین وجود دارند. اکوسیستم‌ها در محیط‌های کشاورزی، خواسته یا ناخواسته در معرض مجموعه‌ای از آفت‌کش‌های مصنوعی و سایر عوامل استرس‌زا شیمیایی و غیرشیمیایی قرار می‌گیرند. بنابراین با توجه به اینکه بسیاری از فرآیندهای زیستی و غیرزیستی ذُز آفت‌کشی را که یک حشره در مزرعه در معرض آن قرار می‌گیرد، از نظر مکانی و زمانی تغییر می‌دهد، مطالعه‌ی پدیده‌ی هورمسیس و توجه به آن در برنامه‌های مدیریتی از اهمیت بالایی برخودار است. در مطالعات این پدیده این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که برای ارزیابی اثرات هورمسیس ناشی از حشره‌کش، مطالعه میدانی و در مزرعه بودن آزمایش جهت تعمیم آن به آگرواکوسیستم اهمیت دارد. با توجه به اهمیت این پدیده، مطالعات کمی در ایران در خصوص سم‌شناسی در حیطه حشرات صورت پذیرفته است. پیشنهاد می‌شود که مطالعات با دقت بیشتری به نشانگرهای مولکولی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، رفتاری و جمعیتی برای هورمسیس یا مقابله با آن بررسی شود.

Referance

Afifi, S.E.D., and Knutson, H., 1956. Reproductive potential, longevity, and weight of house flies which survived one insecticidal treatment. J Econ Entomol. 49: 310-313.

Aghilinejad, M.A., Mohamadi, S., & Farshad, A.A., 2007. The effect of pesticide uses on the health of farmers. Research in medicine (Research journal of medical college). 31 (4); 331-327.

Borzoiysileh, S., and Shabestanimonfared, A., 2014. Natural radiation, adaptation and radiation hormesis. Scientific journal of Babol University of Medical Sciences. 17 (1); 15-21.

Calabrese, E.J., and Blain, R., 2005. The occurrence of hormetic dose response in the toxicological literature, the hormesis database: an overview. Toxicol Appl Pharmacol. 202:289-301.

Calabrese, E.J., 2010. Hormesis is central to toxicology, pharmacology and risk assessment. Hum Exp Toxicol. 29: 249-261.

Cedergreen, N., Streibig, J.C., Kudsk, P., Mathiassen S.K., and Duke. S.O., 2007. The occurrence of hormesis in plants and algae. Dose-Response. 5; 150-162.

Chelliah, S., Fabellar, L.T., and Heinrichs, E.A., 1980. Effect of sub-lethal doses of three insecticides on the reproductive rate of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on rice. Environ Entomol. 9: 778-780.

Chen, X.D., Seo, M., Ebert, T.A., Ashfaq, M., Qin, W., & Stelinski, L.L., 2020. Hormesis in the brown citrus aphid, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae) exposed to sublethal doses of imidacloprid. Florida Entomologist. 103(3); 337-343.

Cutler, G.C., 2013. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. Dose-Response. 11(2); dose-response.

Cutler, G.C., & Rix, R.R., 2015. Can poisons stimulate bees? Appreciating the potential of hormesis in bee–pesticide research. Pest management science. 71(10): 1368-1370.

Cutler, G.C., Amichot, M., Benelli, G., Guedes, R.N.C., Qu, Y., Rix, R.R., Ullah, F., & Desneux, N., 2022. Hormesis and insects: Effects and interactions in agroecosystems. Science of The Total Environment. 153899.

Cohen, E., 2006. Pesticide-mediated hemeostatic modulation in arthropods. Pestic Biochem Physiol. 85:21-27.

Deng, Z.Z., Zhang, F., Wu, Z.L., Yu, Z.Y., & Wu, G., 2016. Chlorpyrifos-induced hormesis in insecticide-resistant and-susceptible *Plutella xylostella* under normal and high temperatures. Bulletin of Entomological Research. 106(3); 378-386.

Federal Insecticide, 1972. Fungicide and Rodenticide Act ("Federal Environmental Pesticide Control Act") amended, Washington DC, United State Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Control Program.

Fleschner, C.A., and Scriven, G.T., 1957. Effect of soil-type and D.D.T on ovipositional response of *Chrysopa californica* (Coq.). J Econ Entomol. 50:221-222.

Fulladosa, E.A., Villaescusa, I., Bollinger, J.C., and Murat, J.C., 2007. Effect of arsenic compounds on Vibrio fischeri light emission and butyrylcholinesterase activety. Environmental Chemistry Letters. 5: 115-119.

Guedes, R.N.C., Magalhaes, L.C., and Cosme, L.V., 2009. Stimulatory sublethal response of a generalist predator to permethrin: hormesis, hormoligosis, or homeostatic regulation? J Econ Entomol. 102: 170-176.

Guedes, N.M.P, Tolledo, J., Corrêa, A.S., and Guedes, R.N.C., 2010. Insecticide-induced hormesis in an insecticide- resistant strain of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. J Appl Entomol. 134: 142-148.

Guedes, R.N.C., Rix, R.R., & Cutler, G.C., 2022. Pesticide-induced hormesis in arthropods: Towards biological systems. Current Opinion in Toxicology. 29: 43-50.

Gomez, F.H., Bertoli, C.I., Sambucetti, P., Scannapieco, A.C., and Norry, F.M., 2009. Heat-induced hormesis in longevity as correlated response to thermal-stress selection in *Drosophila buzzatii*. J Therm Biol. 34:17-22.

Gong, Y., Cheng, S., Desneux, N., Gao, X., Xiu, X., Wang, F., & Hou, M., 2022. Transgenerational hormesis effects of nitenpyram on fitness and insecticide tolerance/resistance of Nilaparvata lugens. Journal of Pest Science. 1-20.

Hardin, M.R., Benrey, B., Coll, M., Lamp, W.O., Roderick, G.K., and Barbosa, P., 1995. Arthropod pest resurgence: an overview of potential mechanisms. Crop Prot. 14: 3-18.

Hunter, P.E., Cutkomp, L.K., and Kolkaila, A.M., 1958. Reproduction in DDT- and diazinon-treated house flies. J Econ Entomol. 11: 579-582.

Khodaie Motlagh, M., Mirzaei, M., 2019. Effect of Hormesis (Biphasic Effects) of Probiotic Biologic Product with Increasing of its Levels in Farahani Lambs. Veterinary Researches & Biological Products. 128; 76-83.

Kuenen, D.J., 1958. Influence of sublethal doses of D.D.T upon the multiplication rate of *Sitophilus granaries* (Coleopt.: Curculionidae). Entomol Exp Appl. 1:147-152.

Knutson, H., 1955. Modifications in fecundity and lifespan of *Drosophila melanogaster* Meigen following sublethal exposure to an insecticide. Ann Entomol Soc Amer. 48: 35-39.

Labbé P, Berticat C, Berthomieu A, Unal S, Bernard C, Weill M, and Lenormand T. 2007. Forty years of erratic insecticide resistance evolution in the mosquito *Culex pipiens*. PLoS Genet 3: e205

Lalouette, L., Pottier, M.A., Wycke, M.A., Boitard, C., Bozzolan, F., Maria, A., Demondion, E., Chertemps, T., Lucas, P., Renault, D., Maibeche, M., & Siaussat, D., 2016. Unexpected effects of sublethal doses of insecticide on the peripheral olfactory response and sexual behavior in a pest insect. Environmental Science and Pollution Research. 23(4): 3073-3085.

Lefcort, H., Freedman, Z., House, S., & Pendleton, M., 2008. Hormetic effects of heavy metals in aquatic snails: is a little bit of pollution good? EcoHealth, *5*(1); 10-17.

Luckey, T.D., 1956. Mode of action of antibiotics - evidence from germfree birds. Use of Antibiotics in Agriculture. National Academy of Sciences, Washington, D.C. p. 135-145.

Luckey, T.D., 1963. Antibiotic action in adaptation. Nature. 198: 263-265.

Luckey, T.D., 1968. Insecticide hormoligosis. J Econ Entomol. 61:7-12.

Murakami, A., 2022. Novel mechanisms underlying bioactivities of polyphenols via hormesis. Current Opinion in Toxicology. 30: 100337.

Nascarella, M.A., Stoffolano, J.G., Stanek, E.J., Kostecki, P.T., and Calabrese, E.J., 2003. Hormesis and stage specific toxicity induced by cadmium in an insect model, the queen blowfly, *Phormia regina* Meig. Environ Poll. 124: 257-262.

Nauen, R., Tietjen, K., Wagner, K., and Elbert, A., 1998. Efficacy of plant metabolites of imidacloprid against *Myzus persicae* and *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae). Pestic. Sci. 52: 53-57.

NCBI. 2012. Basic Local Alignment Search Tool, National Center for Biotechnology Information. Available at http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi

Neubauer, I., Raccah, B., Aharonson, N., Swirski, E., and Ishaaya, I., 1983. Systemic effect of aldicarb, dimethoate and ethiofencarb on mortality and population dynamics of the spirea aphid, *Aphis citricola* Van der Goot. Crop Prot. 2: 211-218.

Olson, E.R., Dively, G.P., and Nelson, J.O., 2004. Bioassay determination of the distribution of imidacloprid in potato plants: Implications to resistance development. J Econ Entomol 97:614-620.

Papanastasiou, S.A., Bali, E.M.D., Ioannou, C.S., Papachristos, D.P., Zarpas, K.D., & Papadopoulos, N.T., 2017. Toxic and hormetic-like effects of three components of citrus essential oils on adult Mediterranean fruit flies (*Ceratitis capitata*). PloS one. 12(5); e0177837.

Qu, Y., Xiao, D., Liu, J., Chen, Z., Song, L., Desneux, N., Benelli, G., Gao, X., & Song, D. 2017. Sublethal and hormesis effects of beta-cypermethrin on the biology, life table parameters and reproductive potential of soybean aphid *Aphis glycines*. Ecotoxicology. 26(7); 1002-1009.

Rix, R.R., & Cutler, G.C., 2022. Review of molecular and biochemical responses during stress induced stimulation and hormesis in insects. Science of The Total Environment. 827: 154085.

Smirnoff, W.A., 1983. Residual effects of *Bacillus thuringiensis* and chemical insecticide treatments on spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clemens). Crop Prot. 2: 225-230.

Sun Y.P. 1945. Effect of rotenone and Velsicol (AR-60) dusts on the control and reproduction of bean aphids. J Econ Entomol 38:124-125.

Yang, S.W., Li, M.J., Shang, H.P., Liu, Y.H., Li, X.X., Jiang, Z.X., Chen, G.H., & Zhang, X.M., 2022. Effect of sublethal Spirotetramat on host locating and parasitic behavior of *Encarsia formosa* Gahan. Pest Management Science. 78(1); 329-335.

Visser, B., Williams, C. M., Hahn, D. A., Short, C. A., & López-Martínez, G. 2018. Hormetic benefits of prior anoxia exposure in buffering anoxia stress in a soil-pupating insect. Journal of Experimental Biology. 221(6), jeb167825.

Zanuncio, T.V., Zanuncio, J.C., Serrao, J.E., Medeiros, R.S., Pinon, T.B.M., and Sediyama, C.A., 2005. Fertility and life expectancy of the predator *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae) exposed to sublethal doses of permethrin. Biol Res. 38:31-39.

IAU Journal of Entomological Research

Volume 14, Issue 2, pages: 91-103

Islamic Azad University, Arak Branch
ISSN 2008-4668
http://jer.iau-arak.ac.ir

Hormesis in insects

***M. Zargani*[1*]**

1- Phd student, Department of Entomology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

The stimulating effect of low concentrations of chemicals on organisms is called hormesis. Hormesis is recognized as an adaptive mechanism by which mild stressors can enhance the protective capacity of the host, while the same factors are harmful or lethal at excessive levels. Insects in agricultural ecosystems are exposed to many stressors (chemicals, heat, and lack of nutrients) that are often at low levels. The stimulatory (hormetic) effects of insect exposure to mild stress are now well known, with implications for insect management, structure and ecological function in agricultural ecosystems. Many biotic and abiotic processes also spatially and temporally change the pesticide dose to which an insect is exposed in the field. Therefore, hormesis is an important phenomenon in pest management. However, this phenomenon has received relatively little attention from insect toxicologists in Iran. Considering the importance of the hormesis, this article has investigated the hormetic effects of various factors in insects according to previous researches.

Keywords: Pesticide concentration, Pest resurgence, Secondary pest, Hormetic, Stimulatory effects of insect toxicology.

* Corresponding Author, E-mail*: M_zargani64@yahoo.com*
Received: 10 June.2022 – Accepted: 27 Aug.2022