نماتدهای مرتبط با حشرات با تاکید بر گونه‌های بیمارگر

محمد عبدالهی*

دانشیار نماتدشناسی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۰۸ **تاریخ پذیرش**: ۱۳۹۱/۱۰/۲۰

عبدالهی، م. ۱۳۹۱. نماتدهای مرتبط با حشرات با تاکید بر گونه‌های بیمارگر . *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۲(۱) : ۴۹-۳۴.

چکیده

اغلب نماتدها آزادزی هستند. آن‌ها در دریاها، آب‌های شیرین و خاک زندگی و از باکتری‌ها، قارچ‌ها و سایر نماتدها تغذیه می‌کنند. بعضی شکارچی و عده‌ای انگل گیاهان و جانوران هستند. از بین نماتدهای انگل جانوری، برخی با حشرات در ارتباط هستند. نوع ارتباط نماتد با حشره در گروه‌های مختلف متفاوت است. نماتدهای مفیدی که موجب ایجاد بیماری در حشره می‌شوند، اصطلاحاً بیمارگر حشرات نام دارند که توانایی کشتن حشرات را دارند. ثابت شده نماتدهای بیمارگر از جنس‌های *Steinernema* و *Heterorhabditis* موثرترین عوامل مهارزیستی حشرات هستند. لاروهای این نماتدها قادرند در خاک زندگی کرده، حشره میزبان را بیابند و به درون بدن آن نفوذ کنند. در این مقاله انواع رابطه موجود بین نماتدها و حشرات، با تاکید بر نماتدهای بیمارگر حشرات بیان شده است.

واژه های کلیدی: بیمارگر، حشره، نماتد، *Steinernema* ، *Heterorhabditis*

* پست الکترونیک: mdabdollahi@gmail.com

مقدمه

نماتدها جانوران پرسلولی از بی‌مهرگان پست، گروه کرم‌های لوله‌ای و دارای حفره کاذب هستند. نماتدهای مختلف دارای شیوه زندگی متفاوت هستند. بعضی از آن‌ها آزادزی، برخی شکارچی و عده‌ای هم انگل و بیماری‌زا در گیاهان، حشرات یا حتی انسان هستند. از بین نماتدهای انگل جانوری، برخی با حشرات در ارتباط هستند که نوع ارتباط نماتد با حشره در گروه‌های مختلف متفاوت است (Gaugler, 2002).

۱- انواع ارتباط نماتدها با حشرات

این ارتباط از رابطه تصادفی، چسبیدن (Phoretic)، هم‌غذایی (Commensal) تا انگل اجباری و بیماری‌زا متغیر است. این روابط بین نماتدها و حشرات ممکن است وجود داشته باشد (Grewal *et al.*, 2006):

۱-۱- رابطه سطحی

در این نوع رابطه، حشره تنها به عنوان حامل مرحله مقاوم نماتد عمل می‌کند. این حالت معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که هر ۲ موجود موقعیت زیستی مشابهی در محیط دارند. نماتد به زیر بال‌پوش سوسک، اطراف شکم یا پای مگس و یا قسمت‌های دیگری از اسکلت خارجی حشره متصل شده از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر انتقال می‌یابد. بعضی از افراد خانواده‌های *Rhabditidae*، *Diplogasteridae*، *Cephalobidae*، *Aphelenchoididae*، *Mononchidae*، *Plectidae*، *Strongylidae* و *Tylenchidae* دارای این نوع ارتباط با حشرات هستند.

۱-۲- رابطه اختیاری

در این نوع ارتباط، نماتد توانایی پارازیته کردن و کشتن حشره را داشته و چرخه زندگی خویش را در بدن میزبان تکمیل می‌کند. اغلب این نماتدها درون حفره بدن، روده، لوله‌های مالپیگی، تراشه‌ها یا غدد جانبی حشره یافت شده و با توجه به جذب مواد غذایی از بدن میزبان، انگل محسوب می‌شوند. این نوع رابطه در تعدادی از نماتدهای خانواده‌های *Rhabditidae*، *Diplogasteridae*، *Aphelenchoididae* و *Neotylenchidae* دیده می‌شود.

۱-۳- رابطه اجباری

در این نوع رابطه، وجود یک حشره زنده برای تکمیل چرخه زندگی نماتد لازم است و هیچ‌گونه مرحله آزادزی در زندگی نماتد وجود ندارد. افراد برخی خانواده‌ها مثل *Mermithidae* و *Allantonematidae*، در داخل حفره بدن، نماتدهای *Diplogasteridae* و *Thelastomatidae*، درون روده و *Rhabditidae*، درون اندام تولیدمثلی حشره مستقر می‌شوند. تأثیر این نماتدها بر زندگی حشرات از ناچیز تا عقیم کردن آن‌ها و حتی مرگ می‌تواند باشد. اعضای

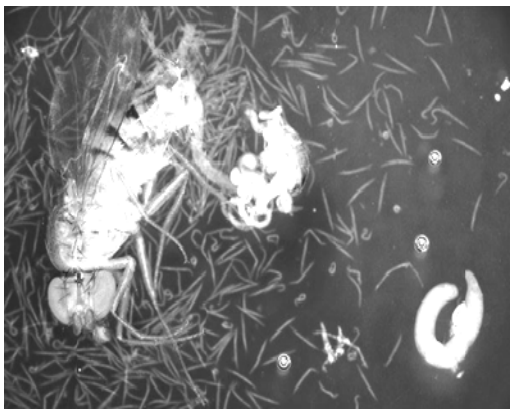
Spiruridea و *Filariidea* از حشرات به عنوان میزبان واسط استفاده می‌کنند. گونه‌های دو خانواده *Steinernematidae* و *Heterorhabditidae*، غیر از درون بدن حشره میزبان، در طبیعت تکامل نمی‌یابند و تنها به صورت مصنوعی در آزمایشگاه رشد داده شده‌اند و به همین دلیل می‌توانند دارای هر دو نوع رابطه اختیاری و اجباری باشند (Grewal *et al.*, 2006).

۲- خانواده‌های مهم نماتدهای مرتبط با حشرات

۲-۱- خانواده *ALLANTONEMTIDAE*

اغلب افراد این خانواده با سخت‌بال‌پوشان، دوبالان، تریپس‌ها و غیریکنواخت‌بالان مرتبط بوده و برخی نیز انگل داخلی کنه‌ها هستند. از جنس‌های شاخص این گروه می‌توان *Howardula* را نام برد که اغلب در سوسک‌های میوه (Carpophilous) و سرگین‌غلتان (Dung beetles) یافت می‌شوند. پارازیته شدن مگس *Drosophila neotestacea* توسط نماتد *Howardula aoronymphium* نیز گزارش شده است(شکل ۱). در این مورد فیتوپلاسمای *Spiroplasma drosophila* به عنوان عامل مرگ حشره شناخته شده است (Jaenike *et al.*, 2010).

یکی دیگر از نمونه‌های شاخص در این گروه، نماتدهای جنس *Heterotylenchus* هستند که بر علیه مگس انگل چهره گاو و اسب، کاربرد دارند. این نماتدها انگل اجباری هستند. نماتد ماده بارور از طریق کوتیکول به صورت مستقیم به درون حفره بدن حشره نفوذ می‌کند. پس از آن، نماتد ماده به یک نماتد متورم انگل تکامل می‌یابد و تخم‌گذاری در درون حفره بدن حشره انجام می‌شود. تکامل نماتد به مراحل سوم و چهارم (به ندرت به بالغ) قبل از خروج از بدن حشره در درون روده یا اندام تولیدمثلی حشره انجام می‌شود. بلوغ نماتد بدون اخذ مواد غذایی اضافی در درون بدن میزبان انجام می‌پذیرد و نماتدهای ماده بارور در خارج از میزبان برای یافتن میزبان جدید جستجو می‌کنند. عموماً مرحله لاروی حشره مورد تهاجم قرار می‌گیرد ولی نماتد انگل امکان انتقال از شفیره به حشره بالغ را نیز دارد. نشانه‌های آلودگی به این نماتدها متغیر است، به طوری که برخی گونه‌ها مقدار ناچیزی بر طول عمر و قدرت تولید مثل میزبان خود اثر می‌گذارند. البته در برخی دیگر اثرات شدیدتری رخ داده حتی ممکن است به مرگ حشره میزبان منتهی گردد (Grewal *et al.*, 2006).

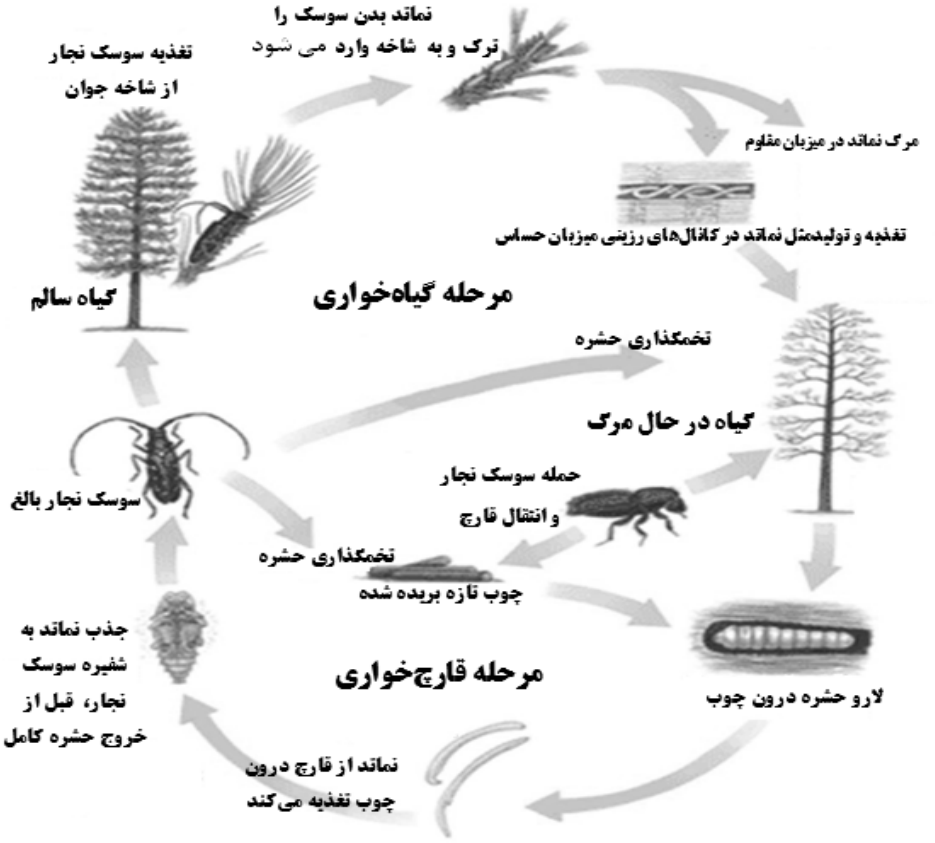


شکل ۱. مگس *Drosophila neotestacea* که توسط نماتد *Howardula aoronymphium* پارازیته شده است (Jaenike *et al.*, 2010).

۲-۲- خانواده *APHELENCHOIDIDAE*

اغلب افراد این گروه با حشراتی چون سوسک‌های پوست خوار (*Scolytidae*)، سوسک‌های شاخک بلند (*Cerambycidae*) و سرخرطومی‌ها (*Curculionidae*) مرتبط هستند و در آن‌ها هر دو نوع ارتباط سطحی و اختیاری وجود دارد. ارتباط سطحی در جنس‌های *Aphelenchoides* ، *Bursaphelenchus* و *Schistonchus* وجود دارد (شکل ۲).

برخی از گونه‌های *Aphelenchoidids* که ارتباط اختیاری دارند، به صورت جزئی در داخل حفره بدن میزبان تکامل می‌یابند. گونه‌های *Cryptahelenchus*، که در تراشه‌ها، لوله‌های مالپیگی، غدد جانبی، حفره بدن و روده حشره یافت می‌شوند، ممکن است قبل از ترک بدن حشره مواد غذایی مورد نیاز را از میزبان گرفته یا حتی در داخل بدن حشره پوست‌اندازی کنند. گونه‌های *Parasitaphelenchus*، که به طور معمول درون حفره بدن قاب‌بال‌پوشان چوب‌خوار یافت می‌شوند، قبل از ترک بدن میزبان تکامل یافته و پس از پوست‌اندازی در همان جا بالغ می‌شوند. گونه *Rhadinaphelenchus cocophilus*، عامل بیماری حلقه قرمز نارگیل، با سرخرطومی نخل، *Rhynchophorus palmarum*، رابطه سطحی دارد. نماتد به حفره بدن لارو سرخرطومی وارد شده قادر است با دگردیسی حشره به حشره بالغ نیز منتقل شود. به طور کلی نظر به تأثیر این نماتدها بر اندام تولیدمثل حشره میزبان، امکان استفاده از برخی گونه‌های *Parasitaphelenchus* در مبارزه زیستی با آفات وجود دارد (Grewal *et al.*, 2006).



شکل ۲. تعامل نماتد *Bursaphelenchus xylophilus* با سوسک *Monochamus* spp. در ایجاد بیماری مرگ کاج (Wingfield *et al.*, 1984).

۲-۳- خانواده *DIPLOGASTERIDAE*

افراد این خانواده عموماً درون خاک یا بقایای گیاهی یا جانوری در حال تجزیه یافت شده و از باکتری‌ها و سایر موجودات ذره‌بینی تغذیه می‌کنند. مراحل لاروی نماتد با حشرات مختلف رابطه سطحی داشته اغلب در زیر بال‌پوش سوسک‌ها یا سایر نقاط اسکلت خارجی و به خصوص در بین مفاصل یافت می‌شوند. همچنین ممکن است نماتدهای نر و یا ماده در محفظه جنسی حشره یافت شوند. در مورد سوسک‌های شاخک‌بلند، این نماتدها حتی از درون تراشه‌های حشره گزارش شده‌اند. تکامل نماتدهای *Cephalobium microbivorum* و *Gynopoecilia pseudovipara* به ترتیب در درون لوله گوارشی جیرجیرک و حشره دعاخوان (Praying Mantis) صورت گرفته و نماتدهای *Mesodiplogaster lheritieri* و *Eudiplogaster histophorus* در درون غدد مری مورچه بالغ تکامل می‌یابند.

بسیاری از گزارش‌ها نشان داده‌اند که برخی افراد این خانواده قادرند به عنوان انگل اختیاری و عامل بیماری‌زا، موجب مرگ حشره میزبان شوند. فعالیت نماتدهای *Diplogasteritus labiatus* در سوسک شاخک بلند (*Saperda tridentata*)، *Mikoletzkya aerivora* در موریانه *Leucotermus lucifugus* و *Mesodiplogaster lheritieri* در پروانه مووخوار (*Galleria mellonella*) و همچنین *Pristionchus uniformis* در سوسک کلرادوی سیب‌زمینی (*Leptinotarsa decemlineata*)، منتهی به مرگ حشره شده است. از آنجا که گونه‌های *Diplogaster* قادر به کشتن میزبان بوده و همچنین در شرایط آزمایشگاهی روی محیط رشد مصنوعی قابل تکثیرهستند، می‌توانند به عنوان عوامل مبارزه زیستی استفاده شوند (Grewal *et al.*, 2006).

۲-۴- خانواده *MERMITHIDAE*

اعضای این خانواده انگل اجباری حشرات و نیز قادر به پارازیته کردن عنکبوت‌ها، خرچنگ‌ها، زالوها، حلزون‌ها و حتی کرم خاکی هستند. هر دو نوع حشرات خاک‌زی و آب‌زی مورد حمله‌ی این نماتدها قرار می‌گیرند. در اغلب گونه‌ها، تخم‌گذاری در درون بدن میزبان انجام شده مراحل جنینی نیز در آن‌جا سپری می‌شود. در تمامی افراد این گروه، اولین تغییرجلد درون پوسته تخم صورت می‌پذیرد و لارو سن دوم با کمک نیش و برخی ترشحات هضم کننده، از پوسته تخم خارج می‌شود. این مرحله از زندگی نماتد، اصطلاحاً لارو عفونی نام دارد که با نفوذ مستقیم در کوتیکول، به بدن میزبان وارد می‌شود و پس از آن سریعاً در داخل مایع خونی (Haemocoel) حشره رشد کرده و تکامل می‌یابد. بسته به گونه، پس از یک دوره ۱۰ روزه تا چند ماهه، نماتد انگل از بدن میزبان خارج می‌شود. این نماتدها قادر هستند بر ظاهر، عادات، تکامل جنسی، صفات ثانویه و تعادل فیزیولوژیکی حشره میزبان تأثیر بگذارند. رابطه *Mermis nigrescens* با ملخ‌ها و لارو بسیاری از پروانه‌ها، رابطه *Agamermis decaudata* با ملخ‌ها و کفشدوزک‌ها، رابطه نماتد *Orthomermis oedobranchus* با مگس قارچ (Sciarid flies) و سوسک‌های دراکولا (Staphylinid beetles) و همچنین رابطه نماتد *Filipjevimermis leipsandra* با بسیاری از دوبالان و پروانه‌ها را می‌توان به عنوان مثال‌های کلاسیک ارتباط افراد این خانواده نام برد.

۲-۵- خانواده‌های *STEINERNEMATIDAE* و *HETERORHABDITIDAE*

در حال حاضر جنس *STEINERNEMA* از خانواده *STEINERNEMATIDAE* و جنس *HETERORHABDITIS* از خانواده *HETERORHABDITIDAE* در آزمایشگاه‌های مهم جهان به عنوان مهم‌ترین نماتدهای مورد استفاده در

مبارزه زیستی با حشرات مطرح هستند. این نماتدها قادرند به صورت انتخابی روی بسیاری از حشرات و برخی بندپایان تأثیر گذارند، بدون این که اثر سویی بر پستانداران یا گیاهان داشته باشند. مرگ نسبتاً سریع حشره و دامنه وسیع میزبانی این نماتدها، از علل استفاده از این موجودات زنده به عنوان عوامل مبارزه زیستی و همچنین تولید تجاری آن‌ها برای مصرف در سطوح کوچک، به شمار می‌آید. تاکنون ۲۳ گونه از *STEINERNEMA* و ۱۱ گونه از *HETERORHABDITIS* به عنوان نماتدهای مهم بیماری‌زا گزارش شده است و تعداد بسیار زیادی گونه ناشناخته نیز وجود دارند (Grewal *et al.*,2006). کلید شناسایی گونه‌های *HETERORHABDITID* و *STEINERNEMATID* توسط بسیاری از محققین ایجاد شده است که یکی از معتبرترین آن‌ها، کلید شناسایی پوینار (Poinar, 1990) است.

۳- نماتدهای بیمارگر حشرات

تعداد زیادی از نماتدهای راسته‌های مختلف با حشرات مرتبط هستند، ولی از بین آن‌ها تنها تعداد کمی قادر به کشتن حشره میزبان هستند. به نماتدهای کشنده‌ی حشرات اصطلاحاً نماتدهای بیمارگر حشرات (Entomopathogenic) گویند. ویژگی گونه‌های کلیدی نماتدهای بیمارگر حشرات به این شرح است (Grewal *et al.*, 2006):

***Steinernema carpocapsae* Weiser, 1955 -۱-۳**

این گونه بیش از سایر گونه‌ها یافت شده و از این رو بیشتر از سایر گونه‌ها مطالعه شده است. از ویژگی‌های مهم این گونه، سهولت تولید انبوه و قابلیت فرموله کردن در یک وضعیت نسبتاً خشک است که تا ماه‌ها در حرارت اتاق قابل نگه‌داری می‌باشد. این نماتد به خصوص بر علیه لارو پروانه‌ها، شامل انواع کرم‌های تارعنکبوتی (Webworms)، طوقه‌بر (Cutworms)، دستجمعی (Armyworms)، پوستخوار (Girdlers) و چوبخوار (Wood-borers) مؤثر است. این گونه یک نمونه‌ی جالب از نماتد کمین کننده است به طوری که در نزدیکی سطح خاک به طور عمودی بر روی دم خویش می‌ایستد و به میزبانی که از آن محل عبور می‌کند حمله می‌نماید. بنابر این گونه *S. carpocapsae* بیشترین کاربرد را برای مبارزه با حشرات فعالی که در سطح خاک زندگی می‌کنند، دارد. واکنش شدید به دی‌اکسیدکربن در هنگامی که تماس نماتد با میزبان صورت می‌گیرد، باعث می‌شود که نماتد از طریق سوراخ تنفسی حشره به بدن آن وارد شود. بیشترین نفوذ این نماتد در درجه حرارت ۲۲ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد صورت می‌پذیرد.

۳-۲- *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934

اصولاً به حشرات نابالغ دوبال شامل مگس قارچ، پشه قارچ خوراکی (Mushroom flies) و مگس بابا لنگ دراز (Tipulids) حمله می‌کند. از نقطه نظر نگه داشتن قدرت آلوده‌سازی در درجه حرارت زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد، این نماتد منحصر به فرد است. البته پایداری خود نماتد در مقایسه با سایر گونه‌های خانواده *Steinernematidae* نسبتاً کمتر است.

۳-۳- *Steinernema glaseri* Steiner, 1929

بزرگ‌ترین نماتد بیمارگر حشرات است که طول آن دو برابر و حجم آن شش برابر لاروهای عفونی گونه *S. carpocapsae* است. به لارو سوسک‌ها به خصوص سوسک‌های خانواده *اسکارابیده* حمله می‌کند. این نماتد دارای استراتژی تهاجم است و به خوبی نمی‌تواند به میزبان در حال حرکت بچسبد. ولی با این حال دامنه‌ی میزبانی بسیار گسترده‌ای دارد و برای پارازیته کردن حشرات خاک‌زی با تحرک کم سازش یافته است. آزمایشات مزرعه‌ای بخصوص در ژاپن نشان داده‌اند که گونه *S. glaseri* می‌تواند تعداد بسیاری از گونه‌های *اسکارابیده* را کنترل کند. اندازه بزرگ این نماتد یکی از عوامل کاهش دهنده میزان تولید آن است بنابراین در مقایسه با سایر گونه‌ها، تولید انبوه آن گران‌تر تمام می‌شود. از دست دادن باکتری همزیست از دیگر معایب این نماتد است. از طرف دیگر فراوانی لاروهای قوی هیکل و عفونی این نماتدها در فرمولاسیون‌های خشک به نسبت پایین است. به طور خلاصه، تلاش‌های فنی دیگری برای عملی شدن استفاده از این نماتد در سطح مزرعه باید صورت پذیرد.

۳-۴- *Steinernema kushidai* Mamiya, 1988

این نماتد ریزاندام تاکنون تنها در ژاپن جدا شده است و مشخص گردیده که بر علیه لاروهای سوسک‌های اسکارابید مؤثر می‌باشد. این نماتد هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در شرایط مزرعه، پایداری نسبتاً بالایی از خود نشان داده است (Grewal *et al.*, 2006).

۳-۵- *Steinernema riobravis* Cabanillas *et al.*, 1994

این نماتد نوظهور و به شدت بیماری‌زا بوده فقط از ایالت تگزاس آمریکا گزارش شده و دارای ویژگی‌های جدیدی می‌باشد. در بسیاری از راسته‌های حشرات بیماری‌زا است و قابلیت‌های نماتدهای کمین کننده و مهاجم در یافتن میزبان نیز در آن وجود دارد. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که بر علیه کرم خوشه ذرت و آبدزدک بسیار مؤثر است. در فلوریدا همه ساله در حدود ۲۴۰۰۰ هکتار از باغ‌های مرکبات به طور مؤثر از این نماتد بر علیه سرخرطومی ریشه

استفاده می‌شود. این نماتد در مناطق بسیار گرم با دمای خاک بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند فعالیت کند. پایداری آن در شرایط نیمه خشک بالاست که بی‌شک این توانایی به دلیل میزان چربی بالا در لاروهای عفونی است. اندازه‌ی کوچک این نماتد عامل تولید مثل بالای آن است، به طوری که در بدن یک لارو پروانه‌ی موم خوار تا ۳۷۵۰۰۰ لارو عفونی نماتد تولید می‌شود و حتی در شرایط غیز زنده و در خارج از بدن میزبان نیز به وفور قابل تولید است و با بهینه سازی فرمولاسیون می‌توان از حداکثر توانایی آن برای پارازیته کردن میزبان استفاده نمود. این نماتد را برای کنترل نماتدهای بیماری‌زای گیاهان مرتعی نیز به کار می‌برند.

Steinernema scapterisci **Nguyen and Smart, 1990 -۶-۳**

تنها نماتدی است که از مدت‌ها قبل بر علیه آفات به کار می‌رفته است. این نماتد ابتدا از اروگوئه جدا شد و در سال ۱۹۸۵ برای اولین بار در فلوریدا بر علیه آبدزدک به کار گرفته شد. در حال حاضر این نماتد به طور بسیار اختصاصی و در سطح بسیار وسیع بر علیه آبدزدک‌های بالغ مراتع به کار می‌رود. توانایی بالای آن در کمین کردن و یافتن حشرات برای مبارزه با حشرات حفار در مراتع ایده‌آل است. از آنجا که نسبت به شرایط نامساعد بسیار مقاوم است و در دراز مدت توانایی آلوده‌سازی را حفظ می‌کند، از سال ۱۹۹۳ به صورت تجاری عرضه و به عنوان حشره‌کش بیولوژیک به فروش رسیده است. میزبان آن بسیار اختصاصی است و تنها در شرایط حضور در بدن میزبان قابل تکثیر است، میزان تولید آن نیز محدود است و از این رو در بازار به وفور یافت نمی‌شود.

Heterorhabditis bacteriophora **Poinar, 1976 -۷-۳**

در بین مهم‌ترین نماتدهای بیمارگر حشرات، این گونه به دلیل توانایی قابل توجه در حمله به لاروهای پروانه‌ها و سوسک‌ها، اهمیت فراوانی دارد. این گونه‌ی مهاجم بوده و بیشترین کارآیی را در مبارزه با سرخرطومی‌های ریشه، بخصوص سرخرطومی سیاه انگور، دارد. کارآیی این نماتد گرمادوست در درجه حرارت کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. از عیوب بسیار مهم این نماتد قابلیت نگه‌داری آن است و تنها چند روز پس از رهاسازی در مزرعه زنده می‌مانند.

Heterorhabditis megidis **Poinar *et al.*, 1987 -۸-۳**

این نماتد ابتدا از منطقه اوهایو در آمریکا جدا شد و برای مبارزه با سرخرطومی انگور سیاه و سایر حشرات خاکزی در اروپای غربی به فروش رسید. اندازه بزرگ این نماتد، ناپایداری آن در سطح مزرعه و عدم کفایت کارآیی

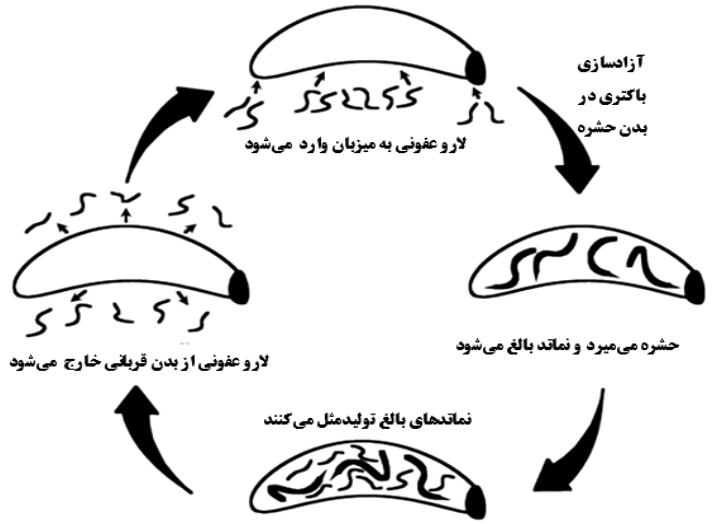
آن در سطح مزرعه، کاربرد آن را در حال حاضر محدود کرده است.

۴- نحوه اثر نماتدها

توانایی نماتدهای جنس‌های *Steinernema* و *Heterorhabditis*، در کشندگی حشرات به دلیل همزیستی با برخی باکتری‌های بیمارگر حشرات است. ارتباط نماتدهای خانواده *Heterorhabditidae* با باکتری‌های جنس *Photorhabdus* و ارتباط اعضای خانواده *Steinernematidae* با باکتری‌های جنس *Xenorhabdus*، به اثبات رسیده است. این باکتری‌ها قادر به تولید مقادیر زیادی سموم و آنتی‌بیوتیک هستند، ولی سازوکار ورود به بدن حشره میزبان را ندارند (Georgis *et al.*, 1991). این باکتری‌ها گرم منفی، هوازی اختیاری، میله‌ای شکل، با طول متوسط تا طویل و دارای تاژک‌های جانبی هستند و فاقد هر نوع مرحله‌ی مقاوم بوده به همین دلیل تنها در درون بدن نماتد ناقل یا حشره میزبان یافت می‌شوند. در جنس *Xenorhabdus* گونه *X. nematophilus* که دارای ۴ زیرگونه به نام‌های *X. nematophilus* subsp. *nematophilus*، *X. nematophilus* subsp. *bovienii*، *X. nematophilus* subsp. *poinarii* و *X. nematophilus* subsp. *beddingii* است. هر گونه از جنس *Steinernema* با یکی از این زیرگونه‌ها مرتبط است. در جنس *Photorhabdus* گونه *P. luminescens* وجود دارد که دارای ویژگی نورافشانی زیستی (Bioluminescencet) است (Thomas & Poinar, 1983).

۵- چرخه زندگی نماتدهای بیمارگر حشرات

این چرخه شامل تخم، ۴ مرحله‌ی لاروی و بالغ است که شکل عفونی آن، لارو سن سوم است (شکل ۳). لاروهای عفونی (در مرحله‌ی سوم لاروی) تنها مرحله‌ای از زندگی این نماتدها است که به دلیل وجود یک لایه کوتیکولی مضاعف در اطراف بدن، نسبت به شرایط نامساعد محیطی مقاومت زیادی داشته به واسطه وجود مواد غذایی ذخیره‌ای فراوان، در صورت مساعد بودن شرایط حرارتی، رطوبتی و اکسیژن، قادرند مدت بسیار طولانی به صورت آزادزی در درون خاک زنده بمانند و از یک حشره به حشره‌ی دیگر انتقال یابند (Akhurst & Boemare, 1990; Poinar, 1993). لاروهای برخی گونه‌ها با تعقیب مواد دفعی حشره، دی‌اکسیدکربن و تغییرات دما، در جستجوی لارو زنده حشره میزبان در درون خاک حرکت می‌کنند (Grewal *et al.*, 1994). برخی از گونه‌ها مانند *Steinernema carpocapsae* از استراتژی کمین کردن برای یافتن میزبان استفاده می‌کنند، بدین ترتیب که مدتی طولانی برای شکار کردن به انتظار می‌نشینند (Kaya & Gaugler, 1993). مدلی برای تشریح عادت تهاجم نماتد طراحی شده، که در آن بین آلودگی‌های اولیه و ثانویه‌ی میزبان اختلاف وجود دارد. اولاً، یک میزبان آلوده به نماتد در



شکل ۳. چرخه زندگی نماتدهای بیمارگر حشرات (Miles *et al.*, 2012).

مقایسه با میزبانی که هنوز آلوده نشده است، حساس‌تر است. ثانیاً، در بین یک جمعیت از لاروهای عفونی، برخی آمادگی آلوده‌سازی میزبان سالم را دارند و برخی به میزبانانی که قبلاً مورد حمله قرار گرفته‌اند وارد می‌شوند (Hay & Fenlon, 1996). به محض این که میزبان مناسب یافت شد، لارو سن سوم با کمک روش‌های آنزیمی مکانیکی به هموسل حشره راه می‌یابد. لارو نماتد از طریق دهان، مخرج یا منافذ تنفسی وارد بدن لارو حشره می‌شود که در نماتدهای *Heterorhabditis* توانایی سوراخ کردن دیواره بدن حشره نیز وجود دارد (Hatab & Gaugler, 1995). برخی از نماتدهای بیمارگر حشرات در عین حالی که قادرند به حشرات آسیب برسانند، از یک رابطه‌ی مفید با باکتری‌ها بهره می‌گیرند. لاروی که تغذیه ندارد، ناقل نوعی باکتری بیمارگر در حلق و روده خویش است که وقتی به هملمف حشره میزبان می‌رسد، در مدت بسیار کوتاهی باکتری را در آن محل آزاد می‌سازد. تعامل مشترک نماتد و باکتری منجر به غلبه بر سیستم ایمنی حشره حساس و نهایتاً مرگ آن ظرف مدت ۴۸-۲۴ ساعت می‌شود. در نماتد *Steinernema glaseri*، باکتری همزیست ظرف ۸-۲ ساعت پس از ورود نماتد، به داخل هموسل حشره رها می‌شود، در حالی که این مدت زمان برای نماتد *H. bacteriophora* تنها ۳۰ دقیقه است.

در بخش جلویی روده لاروهای عفونی جنس‌های *Steinernema* و *Heterorhabditis* محفظه‌ای به نام محفظه باکتریایی وجود دارد که درون آن سلول‌های باکتری‌های هم‌زیست (*Xenorhabdus* در مورد *Steinernema* و *Photorhabdus* در مورد *Heterorhabditids*) مستقر می‌شوند (شکل ۴). در داخل حفره بدن حشره، باکتری

شکل۴. محفظه نگه‌داری باکتری هم‌زیست در یک نماتد بیمارگر حشرات (Bedding & Molyneux, 1982).

همزیست از محفظه باکتریایی رها می‌شود (Dunphy & Thurston, 1990). چند روز پس از آلوده شدن لارو حشره، باکتری‌ها بدن حشره را تجزیه می‌کنند و پس از آن نماتد و باکتری قادر به تغذیه و تکثیر خواهند بود. باکتری هم‌زیست با ایجاد پروتئاز و برخی سموم توانایی جلوگیری از واکنش ایمنی سلولی و تولید پپتیدهای ضدمیکروبی را دارد (Hatab *et al.*, 1998). نماتد نیز موادی با ماهیت پروتئازی ترشح می‌کند که سیستم ایمنی حشره را از کار می‌اندازد و همچنین، بر سیستم عصبی میزبان تأثیر می‌گذارد و بدین ترتیب شرایط را برای توسعه کلنی باکتری فراهم می‌کند (Burman, 1982). از طرف دیگر، باکتری موادی را که خاصیت آنتی‌بیوتیکی دارند و از تهاجم موجودات ریز فرصت‌طلب جلوگیری می‌کنند، ترشح می‌کند و با این شرایط، تکامل بی‌دردسر نماتد صورت می‌گیرد. نماتدها از باکتری و محتویات بدن حشره تغذیه می‌کنند و بالغ می‌شوند. باکتری به خودی خود فاقد قدرت تهاجمی است که به همین واسطه تنها توسط نماتد می‌تواند به بدن میزبان وارد شود (Akhurst, 1990). یک تا ۳ نسل از نماتد در درون یک میزبان به وجود می‌آیند و تولیدمثل تا زمانی که مواد غذایی کافی وجود دارد، ادامه می‌یابد. زمانی که مواد تجزیه شده و قابل استفاده‌ی لاشه‌ی حشره به اتمام رسید، باکتری مجدداً در روده‌ی نماتد مستقر می‌شود و رشد نماتد متوقف و هزاران لارو عفونی سن سوم جسد حشره را ترک کرده به دنبال میزبان جدید می‌گردد. بسته به گونه، در حرارت ۲۸-۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد، چرخه‌ی زندگی نماتد در ۱۸-۶ روز کامل می‌شود (Poinar, 1990). چرخه‌ی زندگی نماتدهای جنس‌های *Steinernema* و *Heterorhabditids* مشابه است، با این تفاوت که نوزادان عفونت‌زای جنس *Steinernema* به نر یا ماده

تبدیل می‌شوند که نرها کوچک و ماده‌ها بلندند. در نماتدهای *Heterorhabditids*، این لاروهای عفونت‌زا به ماده‌های هرمافرودیت خودبارور تکامل می‌یابند. در نسل دوم ماده‌هایی به وجود می‌آیند که هم می‌توانند هرمافرودیت باشند و هم تولید مثل جنسی کنند ولی نرها بسیار نادر هستند. در نسل سوم ماده‌های هرمافرودیت و تعداد بسیار کمی هم نر به وجود می‌آید (Gaugler, 2002).

نتیجه

محصولات کشاورزی در معرض بسیاری از عوامل خسارت‌زا، به ویژه آفات، هستند. در بین آفات زراعی و باغی، انواع آفات خاک‌زی خسارت قابل توجهی به این محصولات وارد می‌کنند. برای مبارزه با این آفات مقادیر زیادی سموم آفت‌کش مصرف می‌گردد که علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین، سلامت انسان، دام و محیط زیست نیز به مخاطره می‌افتد. در راستای کاهش خطرات ناشی از سموم، سال‌ها است که استفاده از عوامل زنده برای مبارزه با آفات مطرح شده و فصل تازه‌ای در مبارزه زیستی با حشرات گشوده شده است. در بین عوامل کنترل کننده میکربی، باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و نماتدها بیشترین مورد استفاده را داشته‌اند. استفاده از عوامل بیماری‌زا و نماتدها در کنترل حشرات تنها از چند دهه اخیر آغاز شده و تاکنون ۶۳٪ آفات جنگلی و ۶۶/۷٪ آفات درختان میوه توسط جانداران، از جمله نماتدها، کنترل شده‌اند (Kaya & Gaugler, 1993). به طور کلی به ۶ دلیل نماتدهای بیمارگر حشرات مفیدند (Gaugler *et al.*, 1997): ۱- دارای دامنه میزبانی وسیع بوده و می‌توانند بر علیه بسیاری از حشرات آفت مورد استفاده قرار گیرند. تکامل نماتد به صورت غیرانتخابی بوده و بر روی میزبان خاصی انجام نمی‌شود و لذا قابلیت استفاده بر علیه تعداد زیادی آفت را دارند. ۲- نماتدها میزبانان خود را ظرف مدت ۴۸ ساعت از بین می‌برند که دلیل آن آنزیم‌هایی است که توسط باکتری‌های هم‌زیست تولید می‌شود. ۳- قابلیت رشد نماتد بر روی محیط رشد مصنوعی وجود دارد و با استفاده از این امکان، می‌توان آن‌ها را تولید و به صورت تجاری عرضه کرد. ۴- مرحله عفونی پایداری زیادی دارد و قادر است که در صورت نگه‌داری در دمای مناسب بدون نیاز به تغذیه تا ماه‌ها دوام یابد. این موجودات در دمای اتاق (۲۷- ۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد) تا ۳ ماه و در درون یخچال (۱۰-۳ درجه‌ی سانتی‌گراد) تا ۶ ماه قابل نگه‌داری هستند. آن‌ها همچنین قادرند با بسیاری از آفت‌کش‌ها و کودها مخلوط شوند که البته لازم است برچسب ظرف محتوی آن‌ها برای سازگار بودن با این مواد شیمیایی، بررسی شود. ۵- هیچ‌گونه شواهدی دال بر وجود مقاومت طبیعی یا اکتسابی در برابر باکتری‌های هم‌زیست وجود ندارد. اگرچه در حشره میزبان هیچ نوع ایمنی در مقابل

باکتری‌های هم‌زیست وجود ندارد، برخی حشرات بخصوص حشرات مفید، به دلیل فعال بودن و فرار کردن از نفوذ این جانوران، کمتر مورد هجوم این نماتدها قرار می‌گیرند. ۶- نماتدهای انگل و همچنین باکتری‌های هم‌زیست با آن‌ها قدرت گسترش در مهره‌داران را ندارند و به همین سبب، برای مبارزه با حشرات مطمئن بوده و با محیط زیست سازگاری دارند. با توجه با این که این جانوران در طبیعت وجود دارند و بدون نیاز به دست‌کاری ژنتیکی دارای قدرت بیماری‌زایی هستند، آژانس حفاظت محیط زیست امریکا فرآورده‌های این نماتدها را معاف از ثبت اعلام کرده است.

ورود روزافزون نماتدهای بیمارگر حشرات به برنامه‌ی مدیریت تلفیقی آفات، نیازمند افزایش دانش کاربرد این عوامل بیوکنترل، در راستای استفاده‌ی مؤثر از این موجودات می‌باشد. اگرچه نماتدها می‌توانند به عنوان عوامل سالم و مؤثری در مبارزه‌ی بیولوژیک مورد استفاده قرار گیرند، محدودیت‌هایی در کاربرد آن‌ها وجود دارد. اولین محدودیت، تولید و ذخیره‌ی آن‌ها است. هماهنگ کردن و نمو لاروهای عفونی در شرایط آزمایشگاهی مشکلاتی را در بر دارد. از طرف دیگر بایستی در محیط رشد مناسب و در دمای مطلوب حمل و نگه‌داری شوند. بنابر این باید با قرار دادن مقداری از محیط رشد حاوی نماتدها در آب، با کمک ذره‌بین دستی، درصد نماتدهای زنده را قبل از استفاده تعیین نمود. در راستای حصول اطمینان از بیشترین میزان تأثیر و به منظور تأمین بقای این موجودات در زمان استفاده، کاربرد این نماتدها در زمانی که شرایط بهینه‌ی محیطی فراهم است، لازم می‌باشد. بنابراین، توصیه می‌شود که قبل و بعد از به کارگیری این عوامل زنده، محل مورد نظر آبیاری شود تا نیاز این نماتدها به رطوبت تأمین شده با محافظت آن‌ها در مقابل خشکی، به حرکت و رسیدن این موجودات زنده به میزبان نیز کمک شود. همچنین، در شرایطی که دمای خاک نه چندان زیاد و نه چندان کم (بین ۳۲-۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی بالا و حداقل تابش مستقیم آفتاب وجود دارد، نتیجه‌ی مطلوبی به دست می‌آید. تمامی این عوامل به جلوگیری از خشک شدن نماتد و افزایش طول عمر آن کمک می‌کنند. برخی یافته‌های علمی بیانگر اثر بازدارندگی نماتدهای بیمارگر حشرات روی رشد گیاهان است، که لازم است صحت آن‌ها با انجام آزمایش‌های دقیق بررسی شود.

منابع

Akhurst, R. J. 1990. Safety to nontarget invertebrates of nematodes of economically important pests. Pp. 233-240. *In:* L.A. Laird, E.W. Lacey & E.W. Davidson (eds.). Safety of Microbial Insecticides. CRC Press, Boca Raton, FL.

Akhurst, R. J. & Boemare, N. E. 1990. Biology and taxonomy of *Xenorhabdus*. Pp. 75-90. *In:* R. Gaugler & H.K. Kaya (eds.). Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. CRC Press, Boca Raton, FL.

Bedding R, Molyneux A. 1982. Penetration of insect cuticle by infective juveniles of *Heterorhabditis* spp. (Heterorhabditidae: Nematoda). *Nematologica* 28: 354-359.

Burman, M. 1982. Neoplectana carpocapsae: A toxin production by axenic insect parasitic nematodes. *Nematologica* 28: 62–70.

Dunphy, G. & Thurston, G. 1990. Insect immunity. Pp. 301-326. *In:* R. Gaugler & H. K. Kaya (eds.). Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. CRC Press, Boca Raton, FL.

Gaugler, R. 2002. Entomopathogenic Nematology. CABI Pub. Wallingford, Oxon, UK. 388 p.

Gaugler, R., Lewis, E. & Stuart, R. 1997. Ecology in the service of biological control. *Oecologica* 109: 483-489.

Georgis, R., Kaya, H. & Gaugler, R. 1991. Effect of steinernematid and heterorhabditid nematodes on non-target arthropods. *Environmental Entomology* 20: 815-822.

Grewal, P.S., Lewis, E., Gaugler, R. & Campbell, J. 1994. Host finding behaviour as a predictor of foraging strategy in entomopathogenic nematodes. *Parasitology* 108: 207-215.

Grewal, P.S., Ehlers, R.U. & Shapiro-Ilan, D. 2006. Nematodes as biocontrol agents. CAB publishing, CAB International, Oxon. 505 PP.

Hatab, M.A. & Gaugler, R. 1995. Role of proteases in penetration of insect gut by the entomopathogenic nematode *Steinernema glaseri*. *Journal of Invertebrate Pathology* 66: 125-30.

Hatab, M. A., Stuart, R. & Gaugler, R. 1998. Antibiotic resistance and protease production by *Photorhabdus luminescens* and *Xenorhabdus poinari* bacteria symbiotic with entomopathogenic nematodes: variability among species and strains. *Soil Ecology and Biochemistry* 30: 1955-1961.

Hay, D.B., & Fenlon, J. S. 1996. A modified binomial model that describes the infection dynamics of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae* (Steinernematidae: Nematoda). *Parasitology* 111: 627-633

Kaya, H. & Gaugler, R. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* 38:181-206.

Miles, C., Blethen, C., Gauger, R., Shapiro Ilan, D.I. & Murray, T. 2012. Using entomopathogenic nematodes for crop insect control. Oregon State University Extension Service. http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/PNW544.

Poinar, G.O. 1990. Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. Pp: 23-61. *In:* R. Gaugler & H.K. Kaya (eds.). Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. Marcel Dekker, New York, USA.

Thomas, G. M. & Poinar, G. O. 1983. Amended description of the genus *Xenorhabdus* Thomas and Poinar. *International Journal of Systematic Bacteriology* 33: 878-879.