بررسی امکان مدیریت نماتدهای انگل گیاهی با استفاده از محصولات تراریخته و روشهای جایگزین مدیریتی

نماتدها یکی از متنوع‌ترین جانوران پرسلولی در کره زمین با بیش از ۲۶۰۰۰ گونه شناخته شده و یک میلیون گونه تخمین زده شده می‌باشد (Hugot *et al.*, 2001). نماتدهای انگل گیاهی یکی از آفات مهم در بسیاری از مناطق مختلف جهان، بخصوص کشورهای نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری به‌شمار آمده که گاهی به صورت دوره‌ای موجب نابودی و خسارت اقتصادی محصولات می‌شوند و میزان خسارت اقتصادی آنها در حدود ۱۷۳بیلیون دلار در سال برآورد شده است (Elling, 2013).

میانگین کاهش عملکرد چهل محصول عمده کشاورزی دنیا ناشی از خسارت نماتدهای انگل گیاهی ۱۲/۳ درصد تخمین زده شده است. درجه خسارت بستگی به تراکم جمعیت نماتد موجود، حساسیت میزبان و شرایط محیطی از قبیل حاصلخیزی، رطوبت و درصدی از موجودات بیمارگر که ممکن است با نماتدها هم‌کنش داشته باشند، دارد.

کنترل نماتدهای انگل گیاهی مشکل است، روش‌های زیادی از قبیل کاربرد بقایای گیاهی برای اصلاح خاک، کود حیوانی، بالا بردن دما، آفتاب‌دهی خاک و تناوب با گیاهان غیر میزبان برای مدیریت نماتدها گزارش شده است (Elling, 2013). در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه کنترل بیولوژیکی، استفاده از مواد آلی در کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی از جمله نماتدهای انگل گیاهی و همچنین استفاده از روش‌های مبتنی بر مهندسی ژنتیک صورت گرفته است. هر کدام از این روش‌ها محاسن و معایب خاص خود را داشته و به همین دلیل در مدیریت آفات و بیمارهای گیاهی لازم است مجموعه‌ای از روش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

روش‌های کنترل مدیریت نماتدهای انگل گیاهی

روش‌های فیزیکی: روش‌های متفاوتی از کنترل فیزیکی برای کنترل نماتدهای انگل گیاهی در مدیریت تلفیقی آفات استفاده می‌شوند که عبارتند از:

گرمادهی: گرما یه فاکتور فیزیکی بسیار متداول در کاهش جمعیت نماتدها است. این روش به عنوان یک روش خیلی موثر برای کنترل نماتدهای انگل گیاهی مطرح شده است (Bird, 1987). گرمادهی به دو روش انجام می‌شود که عبارتند از:

الف) ضدعفونی خاک با استفاده از بخار: برای این منظور خاک گلخانه‌ها و قلسمتان‌ها را می‌توان از طریق گرمادهی با درجه حرارت‌های ۸۲-۹۳ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه تا عمق ۱۵ سانتی‌متری ضدعفونی کرد. این درجه حرارت جهت کشتن نماتد کافی بوده و نتایج خوبی علیه نماتدهای گره ریشه داشته است (Lamberti *et al.*, 1986).

آفتاب‌دهی خاک: این روش تا اندازه‌ای یک روش توسعه یافته است که انتظار می‌رود برای کنترل چندین عامل بیماریزا خاکزاد، موثر واقع شود. آفتاب‌دهی خاک از طریق کشیدن پلاستیک‌های روشن روی خاک، به عنوان ابزاری برای بالا بردن دمای خاک بوده و منجر به سطح بالای کنترل بیماری‌های خاکزاد می‌شود. این تکنیک با این حال تنها با نواحی محدودی سازگار است. برای مثال خاورمیانه، منطقه‌ای است که انرژی خورشید کافی برای دوره‌های زمانی طولانی‌مدت، موجود است (Katan, 1987). این روش در کشور ایران که دارای انرژی خورشیدی کافی در تابستان می‌باشد، یک گزینه مناسب برای کاهش جمعیت نماتد در زمین‌های آلوده است (باروتی، ۱۳۸۱). آفتاب‌دهی خاک خسارت جنس‌های مهم نماتدهای انگل گیاهی از جمله: *Meloidogyne* spp.، *Heterodera* spp.، *Globodera* spp.، *Rotylenchulus* spp.، *Tylenchulus* spp.، *Xiphinema* spp.، *Ditylenchus* spp و *Criconemella* spp را کاهش داده است.

غرقاب کردن: غرقاب کردن خاک، میزان اکسیژن را در مدت چند روز به صفر می‌رساند. این مورد و سایر تغییرات شیمیایی، می‌توانند تراکم جمعیت نماتدها را کاهش داده یا نابود سازند، اگرچه ممکن است چندین ماه به طول انجامد. پدگام و همکاران (۲۰۰۳)، مطرح کردند که غرقاب کردن خاک در کاهش جمعیت نماتد *M. graminicola* از طریق ایجاد شرایط غیرهوازی بسیار موثر است.

تناوب زراعی: این روش، یکی از قدیمی‌ترین و مفیدترین روش‌های کنترل بیماری در کشاورزی بوده و در صورتی که برای کنترل نماتدها به‌کار رود، موجب پایین آمدن تراکم جمعیت نماتدها، زیر آستانه خسارت در گیاهان حساس و یا جلوگیری از افزایش تراکم پایین جمعیت به سطوح خسارت‌زا می‌گردد. برخی از نماتدها نظیر نماتدهای زخم ریشه و نماتدهای ریشه‌گرهی دارای دامنه میزبانی وسیعی شامل علف‌های هرز بوده که کاربرد تناوب زراعی مناسب را با مشکل روبرو می‌سازد. در چنین مواردی روش‌های دیگر مثل آیش می‌تواند مفید باشد (نصر اصفهانی و احمدی، ۱۳۸۲).

کنترل شیمیایی: در طول چند دهه گذشته، کنترل نماتدهای انگل گیاهی مبتنی بر استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در خاک یا روی گیاهان میزبان بوده است. اکثر نماتدهای انگل گیاهی، حداقل قسمتی از چرخه زندگی

خود را در خاک سپری می‌کنند و لذا می‌توان با ترکیبات شیمیایی، خاک را ضدعفونی کرد. اما ضدعفونی حجم زیادی از خاک، مشکل و پرهزینه بوده و بستگی به عوامل مختلفی از جمله سمیت زیاد ترکیبات شیمیایی دارد. در کنترل نماتدهای انگل گیاهی دو نوع نماتدکش وجود داد که شامل نماتدکش‌های تدخینی و نماتدکش‌های غیرتدخینی است (نصر اصفهانی و احمدی، ۱۳۸۲). نماتدکش‌های تدخینی گیاهسوز هستند و لذا باید چند هفته قبل از کشت گیاه به کار برده شوند. نماتدکش‌های تدخینی معمولاً در کنترل نماتدهای گره ریشه و در افزایش بازده محصول نسبت به نماتدهای غیرتدخینی، موثر هستند زیرا آنها طیف وسیع‌تری از فعالیت مانند کنترل حشرات خاکزی، بیماری‌های قارچی و علف‌های هرز را به دنبال دارند (Marks *et al*., 1968). در گذشته بیشتر نماتدکش‌های تدخینی عمومی استفاده شده عبارتند از: متیل بروماید، کلروپیکرین، اتیلن‌دی‌بروماید و متام سدیم. فواید این مواد تدخینی تحت تاثیر فاکتورهای غیرزنده مثل بافت خاک، حرارت، رطوبت و مواد آلی است (Bird, 1987).

گام دیگر به جلو، تولید نماتدکش‌هایی است که تقریباً غیرفرار و به‌طور قابل ملاحظه‌ای غیر گیاه سوزتر از بیشتر نماتدکش‌های تدخینی هستند (اشتیاقی، ۱۳۷۸). از دهه ۱۹۶۰ تعدادی از نماتدکش‌های غیرتدخینی جذبی فسفره و کاربامات تولید شدند. مهمترین ویژگی بعضی از نماتدکش‌های جدید در این است که می‌توان همزمان با کاشت گیاه به کار برده شود و به این ترتیب استفاده از نماتدکش‌ها، وضعیت عملی‌تری در عملیات زراعی به خود می‌گیرد. علاوه‌بر این بعضی از این نماتدکش‌های غیرگیاه‌سوز سیستمیک هستند. بیشتر حرکت موثر آنها در گیاه، حرکت به سمت پایین است. اگرچه در حال حاضر این کار در سطح وسیع انجام نمی‌شود. اما در آینده برای بعضی از بیماری‌ها اهمیت اقتصادی خواهد داشت. هرچند که آنها همانند نماتدکش‌های تدخینی در افزایش عملکرد موثر نبوده زیرا طیف وسیعی از فعالیت را ندارند (Netscher and Sikora, 1990). به‌طور کلی نماتدکش‌ها ترکیبات شیمیایی با سمیت بالایی هستند و صدمه زیادی به محیط زیست وارد می‌سازند (Dropkin, 1989). مصرف متیل بروماید از سال ۲۰۰۰ میلادی در آمریکا و اروپا به دلیل مسائل زیست‌محیطی (تاثیر روی لایه اُزن) ممنوع اعلام گردیده است. اگرچه نماتدکش‌ها در کنترل نماتدها بسیار موثرند ولی برای کاربرد به‌ویژه در کشور ایران نیز خیلی گران هستند.

کنترل بیولوژیکی: نماتدهای انگل گیاهی در شرایط طبیعی، هدف حمله تعداد زیاد و متنوعی از موجودات زنده خاک قرار می‌گیرند. به‌علت عدم شناخت کافی از فعالیت و تاثیر این موجودات بر نماتدها، تعداد بسیار کمی از آنها به‌طور موثری در کنترل بیولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (اشتیاقی، ۱۳۸۷). کنترل بیولوژیکی بیمارگرهای خاکزاد با معرفی میکروارگانیسم‌هایی برای سال‌های متمادی مطالعه شده است. اما در طول بیشتر

این زمان‌ها، این روش به صورت روش تجاری، مطرح نشده و موفق نبوده است. کنترل بیولوژیکی نماتدها ابتدا توسط دادینگتون (۱۹۶۲) مطالعه و بررسی شده است. مبارزه بیولوژیکی از طریق مکانیسم‌هایی مانند پارازیتیسم، شکارگری و رقابت صورت می‌گیرد (Stirling, 1991).

سیکورا (۱۹۹۲) بیان نمود که اصطلاح پتانسیل آنتاگونیستی برای همه انگل‌ها، شکارگرها، پاتوژن‌ها، رقابت‌کننده‌ها و دیگر ارگانیسم‌های موجود در خاک به کار می‌رود که با هم جهت مقابله، بازداری یا کشتن نماتدهای انگل گیاهی، عمل می‌کنند. آنتاگونیست‌هایی که احتمالاً جهت کنترل در مدیریت نماتدهای انگل گیاهی استفاده می‌شوند عبارتند از: قارچ‌های شکارچی یا تله، قارچ‌های پارازیت داخلی، قارچ‌های بیماریزا ماده‌ها، قارچ‌های میکوریز داخلی، ریزوباکترها و انگل‌های اجباری باکتریایی.

قارچ‌ها: قارچ‌های تله نماتدها، به عنوان قارچ‌های شکارگر شناخته شدند که متشکل از میسلیوم‌هایی هستند که به شکل یک اندام تله‌ای برای گرفتن نماتد، تغییر شکل یافته‌اند (String, 1991). عوامل بیماریزا و قارچ‌های پارازیت نماتدها گروهی‌اند که تخم و ماده‌های نماتدها را پارازیته می‌کنند. به‌عنوان مثال، قارچ *Nematophthora gynophila* در خاک‌های آلوده به نماتد سیست غلات *H. avenae* مشاهده و جدا شده است (Kerry and Crump, 1980). قارچ *Verticillium chlamydosporium*، تشکیل شبکه‌های میسیلیومی منشعبی را می‌دهد که هنگامی که در تماس نزدیک با دیواره تخم قرار می‌گیرند، به دیواره تخم و محتویات آن نفوذ می‌کند. بررسی‌های الکترون میکروسکپی و آنتاگونیستی در شرایط آزمایشگاه نشان داده که این قارچ توانایی تولید یک ماده سمی را دارد که بر روی تفریخ تخم‌های نماتدها موثر است (Meyer *et al.*, 1990; Morgan-Jones *et al.*, 1984). قارچ‌های اندفیت، گروه دیگری از قارچ هستند که اخیراً به‌عنوان یک عامل بیوکنترل نماتدهای پارازیت گیاهی عمل می‌کنند. نتایج آزمایش در کنیا نشان داده که کاهش گال ایجاد شده روی ریشه توسط نماتد ریشه‌گرهی *M. incognita* بعد از بکارگیری ۴ نژاد غیربیماریزا اندفتیک قارچ *Fusarium oxysporum*، بین ۵۲-۷۵ درصد بوده است (Hallmann and Sikora, 1995).

در ایران تحقیقات اساسی و مستمری در زمینه کنترل بیولوژیکی نماتدها با قارچ‌های آنتاگونیست شروع شده است و قارچ‌های مختلفی در این ارتباط جدا شده است. *Pochonia chlamydosporia* var. chlamydosporia یکی از قارچ‌های جدا شده از نماتد سیستی چغندرقند بوده که قابلیت بالایی در کنترل نماتدهای سیستی چغندرقند و ریشه‌گرهی در جهان نشان داده است. در بررسی‌های اولیه، ایزوله‌های مختلف آن بین ۵۰-۹۰ درصد، نماتدهای ریشه‌گرهی و سیست چغندرقندر را در شرایط آزمایشگاهی کنترل نموده‌اند. ایزوله‌های قارچ مذبور، روی محیط مایع و جامد به صورت انبوه در آزمایشگاه تولید شده و قابلیت کنترل‌کنندگی آنها روی نماتدهای مزبور در

شرایط خاک در درست بررسی می‌باشد. نتایج حاصل نشان داده است که بعضی ایزوله‌های قارچ توانسته‌اند جمعیت نماتد سیست چغندرقند *H. schachtii* را در خاک حدود ۵۰ درصد کاهش دهد (Ayatollahy *et al.*, 2008).

باکتری‌ها: باکتری‌های اندوفیت اخیراً در داخل بافت ریشه و در ریزوسفر، محلی که آنها در بیشتر گونه‌های گیاهان و در بافت‌های گیاه بقا می‌یابند، پیدا شده‌اند. آنها در ریشه‌ها و ساقه‌های گیاهان (سبزی‌ها و میوه‌ها) بدون اینکه باعث خسارت به گیاه شوند، پیدا شده‌اند. هالمن و سیکورا (۱۹۹۵) مطرح کردند که باکتری‌های اندوفیت ممکن است در کنترل نماتدهای پارازیت گیاهی همکاری و دخالت داشته باشند. آنها هفت جدایه از باکتری‌های اندوفیت جدا شده از ریشه‌های خیار و پنبه را علیه نماتد ریشه‌گرهی *M. incognita* ارزیابی و بررسی کردند و یک کاهش مشخص ۵۰ درصدی را در تعداد گال‌های رویش ریشه خیار، مشاهده کردند.

استفاده از ترکیبات آلی با منشا گیاهی

امروزه سعی و تلاش بر این است که مصرف ترکیبات شیمیایی با استفاده از ترکیبات گیاهی برای مدیریت نماتدهای گیاهی اعمال شود. اصلاح کنندگان آلی نه تنها در کنترل نماتدها مؤثر هستند، بلکه ساختمان خاک و حاصلخیزی را نیز افزایش می‌دهند. بنابراین، جهت کنترل هم اکنون به سمت استفاده از تولیدات طبیعی است (Sharma and Travedi, 2002).

ترکیبات فعال زنده (Bio active) ماندگاری کمتری در محیط دارند و برای پستانداران و دیگر ارگانیسم‌های غیر هدف بی‌خطر هستند. ترکیبات گیاهی آفت‌کش در هر مکانی به آسانی در دسترس و ارزان هستند و عصاره خام به آسانی توسط کشاورزان آماده می‌شود و مقاومت، توسعه و طغیان مجدد آفات با احتمال ناچیز روبرو است (Sharma and Travedi, 2002)

امروزه پیشرفت‌های قابل قبولی در بکارگیری مواد ارگانیک به عنوان اصلاح‌کنندگان خاک برای کنترل نماتدهای انگل گیاهی حاصل شده است. اضافه کردن مواد آلی به خاک فعالیّت دشمنان طبیعی نماتدها را تحریک می‌کند (Akhtar and Malik, 2000). افزودن مواد آلی به خاک آلوده، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که مواد آلی به راحتی در دسترس و ارزان‌تر است، کنترل رضایت‌بخش نماتدهای انگل گیاهی را نشان داده است. اصلاح کننده‌ها به خاک اره، کمپوست و مواد آلی، کود مرغی، بقایای گیاهان زراعی، مواد زائد صنعتی-کشاورزی و کود سبز رده‌بندی می‌شوند .(D,Addabbo, 1995).

وقتی مواد آلی به خاک اضافه می شوند، یک رشته تغییرات بیولوژیکی شروع می شود. اینطور به نظر می رسد که مواد آلی طیف وسیعی از میکروارگانیسم های خاک را تحریک می کند. افزایش در فعالیّت میکروبی که بعد از

اضافه کردن مواد آلی اصلاح کننده خاک حاصل می شود نتیجه اش افزایش مشخصی در میزان آنزیم های خاک است و امکان دارد که برخی از این آنزیم ها نماتودها و تخم های آن ها را معدوم نمایند (استرلینگ، ۱۳۸۵).

گزارشات متعددی درباره فعالیّت نماتدکشی قسمت‌های مختلف گیاهان (عصاره گیاهان، پودر، روغن ضروری) از خانواده‌های گیاهی مختلف اعم از زینتی، علف هرز، گیاهان دارویی و میوه، در سطح جهان بر روی نماتدهای انگل گیاهی صورت گرفته است (Perez *et al.*, 2003). در ادامه به ذکر چند مثال از ترکیبات آلی بکارگرفته شده که نتایج قابل قبولی در کنترل نماتدهای انگل گیاهی داشته است، پرداخته می‌شود.

در یک بررسی اثر نماتدکشی پودر و عصاره زنجبیل (*Inula viscosa*) مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که عصاره با حلال آلی اثر نماتدکشی قویتری نسبت به عصاره آبی پودر برگ و مواد گیاهی تازه ترکیب شده داخل شن نسبت به لاروهای سن دوم *M. javanica* دارد (Oka *et al.*, 2001). همچنین در یک بررسی، تأثیر عصاره تمر هندی، دو گونه فلوس ((*Cassia*، *Dolinix regia* و *Isoberlinia doka* مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که عصاره *Cassia siamea* بیشترین تأثیر نماتدکشی دارد (Bello *et al.*, 2006).

چریش (*Azadiracta indica*) از خانواده‌ی *Meliaceae* بهترین مثال شناخته شده از مواد آلی اصلاح کننده است که از طریق رهاسازی پیش ماده‌های نماتدکش به داخل خاک تأثیر می‌گذارد، بذرهای چریش حاوی گروهی از مواد شیمیایی به نام لیمونوئیدها هستند که شناخته‌ترین حشره‌کش طبیعی Azadirachtin می‌باشد. خواص حشره‌کشی لیمونوئیدها علاقه دنیا را به خود جلب نموده است، همچنین مشخص شده که این ترکیبات نماتدکش نیز هستند. بلِو و همکاران (۲۰۰۶) لیمونوئیدها و بخش روغن خالص دانه‌های خرد شده چریش را جدا نموده و نشان دادند که لیمونوئید باعث مرگ و میر لاروها و ممانعت از تفریخ تخم *M. incognita* شده است، ولی بخش روغن آن فاقد این توانایی می‌باشد.

کنجاله‌های روغنی غنی از ترکیباتی همانند نیتروژن، فسفر و پتاس است (Akhtar, 1991). استفاده از کنجاله کرچک (Khanna *et al.*, 1987; Lordello and Sabino, 1985; Mehta *et al.*, 1994) بادام‌زمینی (Bhattacharya and Gosswami, 1987)، پنبه (Ali and Miam, 1989)، خردل (Tiyagi and Alam, 1995)، کتان (Mishara and Gupta, 1992)، کنجد و چریش (Goswami and Devi, 1993; Rathore, 1994) کنترل خوب نماتدهای انگل گیاهی را نشان داده است.

تحقیقات اخیر نشان داده که رایسین، پروتئین موجود در کرچک تأثیرات گسترده‌ای روی حرکت لاروهای *M. incognita* دارد و احتمال دارد که این ترکیب نیمه نماتدکش باشد. فنول‌ها و تانن‌ها در غلظت‌های معینی خاصیت نماتدکشی دارند و برخی از اصلاح‌کننده‌ها ممکن است به علت داشتن مقادیر زیادی از این ترکیبات روی

نماتدها تأثیر مستقیمی داشته باشند (استرلینگ، ۱۳۸۵). رایسین نیز برای پستانداران سمی است که ترکیب اصلی در کنجاله دانه کرچک است و مشخص شد که تأثیر منفی روی نماتدهای انگل گیاهی دارد.

رایسین مولکول بزرگ و آب‌دوست است که تمایل به اتصال با D- galactose آزاد دارد و مانع فعالیّت N- acetyl- d- galactoseamin می‌شود (Rich *et al.*, 1989). ترکیب Lectin concanavalin A به صورت انتخابی متصل به مانوز آزاد روی سطح کوتیکول اعضای حسی سر بسیاری از نماتدها می‌شود و دیده شده است که رایسین این مکانیزم را فعال می‌کند. این احتمال وجود دارد که آمفیدها و منافذ طبیعی دیگر امکان ورود برای رایسین فراهم کنند که این مانع از سنتز پروتئین در سلول‌های عصبی می‌شود که به طور غیرمستقیم باعث مرگ و میر در نماتد می‌گردد (Rich *et al.*, 1989).

ریشه‌های کاساوا نیز دارای مقادیر مختلفی از گلیکوزید سیانوژنیک به خصوص Linamarine هستند که در زمان تخریب سلول‌ها در اثر فعالیّت آنزیمی، گلوکوزید هیدرولیز شده و باعث آزاد شدن سیانید از سیانوهیدرین می‌گردد. Manipueria به صورت مایع در داخل ریشه‌های کاساوا وجود دارد و بیش از یک دهه است که به عنوان عامل کنترل نماتدها در برزیل استفاده می‌شود. (Chitwood, 2002).

پیشرفت‌های جدید در فناوری‌های علوم گیاهی، روش‌هایی را فراهم ساخته که به‌وسیله آنها می‌توان گیاهان مقاوم با دامنه وسیع‌تری، برای کنترل نماتدها به‌وجود آورد. روش‌های سلولی و مولکولی در بیوتکنولوژی گیاهی می‌تواند برای تولید گونه‌های گیاهی منابع جدید مقاومت که به‌طور خودبخود در کشت سلولی و یا به‌طور اختصاصی با مهندسی ژنتیک ایجاد می‌گردد را در دامنه وسیعی از گیاهان به‌کار گیرند. روش‌های مدیریت تلفیقی یک شیوه استاندارد در مدیریت بیماری‌های گیاهی هستند. بعضی از روش‌های قدیمی هنوز تا حد زیادی موثرند ولی روش‌های جدید کنترل با تکیه بر سالم‌سازی محیط زیست، سلامتی بشر و طراحی مجدد زیست‌بوم‌های زراعی که از ویژگی‌های مدیریت اکولوژیک نماتدهای انگل گیاهی است، دائماً در حال توسعه و پیشرفت هستند. به‌طورکلی اعتقاد بر آن است که راهکارهای مدیریت اکولوژیک نماتدهای انگل گیاهی، ضمن کاهش نیاز به نماتدکش‌ها، به کشاورزان کمک کنند تا هزینه‌های مربوط به نهاده‌های تولید را کاهش داده، خطرات زیست محیطی و سلامتی بشر ار کم کرده و ظهور پاتوتیپ‌ها و نژادهای شکننده مقاومت را به حداقل نیز برسانند، اما چگونگی حرکت از مدیریت رایج و سنتی کنترل نماتدها به سمت سیستم‌های پایدار و مبتنی بر ویژگی‌های اکولوژیکی، از جمله سوال‌هایی است که همواره ذهن متخصصان را به خود مشغول کرده است. به منظور عملی کردن دیدگاه فوق، نخستین گام توجه متخصصان نماتدشناسی به بیولوژی، اکولوژی، بیماریزایی، مدل‌سازی جمعیت و تخمین خسارت آنها، ترکیب ژنتیکی و اثر متقال نماتدها با گیاهان میزبان است.