

مروری بر کاربرد فن آوری RNAi در نماتدشناسی گیاهی

شلاله مصلحی

استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

sh.moslehi@yahoo.com

چکیده

نماتدها از نظر اقتصادی یکی از مهم‌ترین گروه‌های عوامل بیماری‌زای گیاهی هستند. استفاده از گیاهان مقاوم یا غیرمیزبان، به‌کارگیری نماتدکش‌ها و در سال‌های گذشته، استفاده از موجودات میکروبی و عوامل کنترل زیستی، روش‌های اصلی برای مدیریت نماتدها هستند. بهره‌گیری از مواد دورکننده نماتد، مهارکننده‌های پروتئیناز، Cry پروتئین‌های باکتری *Bacillus thuringiensis*، ژن‌های مقاومت، RNAi و امثال آن، از مهم‌ترین روش‌های جدید در مدیریت نماتدها به‌شمار می‌روند. استفاده از مقاومت برخاسته از گیاه میزبان علیه نماتدها، به‌علت تعداد کم گیاهانی که حامل ژن مقاومت شناخته شده هستند، محدودیت‌هایی دارد. در میان سایر روش‌های کنترل نماتدها، خاموشی RNA یک روش نوین برای کنترل نماتدهای انگل گیاهی است. RNAi یک سازوکار سلولی است که طی آن مولکول‌های RNA دو رشته‌ای (dsRNA) یک خاموشی پس از رونویسی را در ژن‌هایی با توالی‌های مشابه سبب می‌شوند. در نماتدهای انگل گیاهی RNAi در ابتدا معمولاً با شناورسازی نماتدها در dsRNA یا siRNAهای مربوط به ژن‌های هدف نماتدها قابل انجام است. سه گروه اصلی از ژن‌های هدف برای خاموشی، ژن‌های خانه‌دار، ژن‌های پارازیتسم و ژن‌های مهم برای نشو و نما نماتدها هستند. ترکیب فن‌آوری RNAi و ایجاد گیاهان تراریخته مقاوم به نماتدها با روش‌های موجود و مرسوم کنترل نماتدها از جمله کنترل شیمیایی، می‌تواند زمینه‌ساز کنترل پایدار و موثر این نماتدهای انگل گیاهی مهم در آینده باشد.

کلمات کلیدی: اصول کنترل، ارقام مقاوم، خاموشی RNA، زیست‌فن‌آوری، نماتدهای انگل گیاهی.

مقدمه

در یک بررسی این مقدار حدود ۱۷۳ میلیارد دلار آمریکا در سال برآورد شده است (۱). کنترل نماتدها به‌طور کلی شامل انواع روش‌های فیزیکی و زراعی از جمله تناوب زراعی، کنترل زیستی با قارچ‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوآها، نماتدها و سایر عوامل کنترل زیستی و کنترل شیمیایی می‌باشد. ایجاد و به‌کارگیری

نماتدها متعلق به جانوران و گروه مهمی از عوامل بیمارگر گیاهی هستند. گونه‌های مختلف نماتدهای انگل گیاهی، سالانه خسارت زیادی را به انواع محصولات کشاورزی وارد می‌کنند. ارزیابی کمی خسارت مالی نماتدها به محصولات مشکل است، اما

در سلول‌های دریافت کننده ظاهر شود. اولین ورود dsRNA از مجرای روده، به وسیله پروتئین SID-2 صورت می‌گیرد که یک پروتئین بیان شونده در سلول‌های روده است و فعالیت آن نیازمند پروتئین دیگری به نام SID-1 است. انتشار سیستمیک RNAi توسط SID-1 و برخی پروتئین‌های دیگر انجام می‌گیرد. در *C. elegans* پروتئین متصل شونده به dsRNA (RDE-4) و آنزیم مرتبط با RNaseIII (Dicer) به محل راه‌انداز dsRNA وصل شده و آن‌ها را به RNAهای ۲۵-۲۱ نوکلئوتیدی کوتاه مداخله‌گر (siRNAs) تبدیل می‌کنند. سپس DCR-1، RDE-4 و RDE-1 (پروتئین آرگونات) با siRNAهای اولیه حاصل برای تشکیل کمپلکس بارگیری RISC (کمپلکس خاموشی القا شده توسط RNA) همراهی می‌کنند. RISC رشته رهبر siRNA را برای یافتن mRNAهای هدف و بریدن آن‌ها برای ممانعت از ترجمه به کار می‌گیرد.

هلیکازها نیز در این فرآیند نقش دارند و ممکن است در تغییر ترکیب dsRNA راه‌انداز و قابل دسترس کردن آن‌ها برای Dicer و کمپلکس‌های بارگیری RISC نقش داشته باشند. کارایی بالای RNAi در گیاهان و *C. elegans* به علت یک مرحله تکمیلی در همانندسازی RNA است. در *C. elegans*، siRNAهای اولیه، RdRP را به RNAهای هومولوگ و ساخت نوع دوم siRNAها در فرآیندی بدون دخالت Dicer هدایت می‌کنند (۵). siRNAهای نوع دوم که در انتهای 5' تری فسفات دارند از siRNAهای اولیه فراوان‌تر بوده و خاموشی پس از رونویسی بسیار موثرتری را سبب می‌شوند (۶).

ارقام مقاوم یکی از روش‌های اصلی کنترل نماتدهای انگل گیاهی است (۲). علاوه بر بهره‌گیری از ژن‌های مقاومت طبیعی در گیاهان و ایجاد گیاهان مقاوم با انتقال این ژن‌های مقاومت به ارقام پایه حساس، راه‌کارهای دیگری نیز برای ایجاد گیاهان مقاوم وجود دارد. یکی از این روش‌ها، استفاده از فن‌آوری RNAi است. این روش که در موجودات مختلف Post-Transcriptional Gene Silencing (PTGS) و RNA Silencing نیز نامیده می‌شود، یک سازوکار دفاعی در برابر اسیدنوکلیک‌های مهاجم به سلول بوده و یکی از پدیده‌های تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها به شمار می‌رود. پدیده خاموشی ژن از طریق سازوکار RNAi اولین بار در مورد نماتد آزادزی *Caenorhabditis elegans* مطرح شد (۳، ۴). در دسترس بودن توالی‌های ژنومی و تولید قطعات بزرگ از ESTهای گونه‌های نماتدهای انگل، واکاوی کلی رونوشت‌های نماتدی را ممکن کرده است. مقایسه رونوشت‌های ژن‌های بافت‌های مراحل رشدی مختلف، کتابخانه‌هایی از ژن‌های نماتد که به طور اختصاصی در غده‌های مریایی بیان می‌شوند، یا طی انتقال به مرحله انگلی تحریک به فعالیت می‌شوند، فراهم کرده است و ژن‌های نامزد زیادی برای پارازیتسم از طریق این راه‌کارها به دست آمده است.

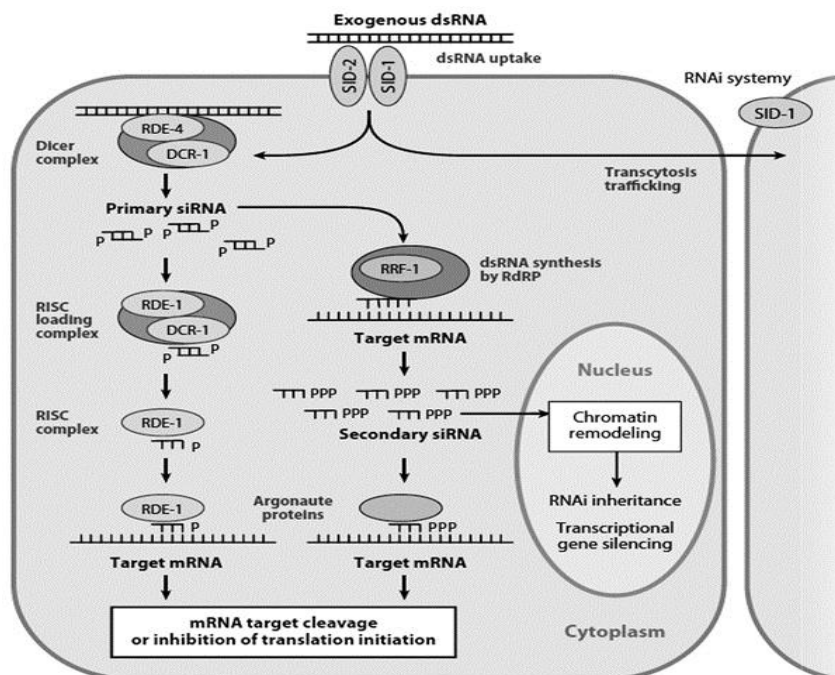
RNAi از طریق وارد کردن dsRNA خارجی به نماتدها

RNAi راه‌اندازی شده با dsRNA خارجی (شکل ۱) شامل گرفتن dsRNA توسط گروه اولیه‌ای از سلول‌ها به‌ویژه سلول‌های اپیتلیومی روده است که با انتشار سیستمیک، خاموشی به سلول‌ها یا بافت‌های دورتر ادامه می‌یابد و می‌تواند در غیاب رونوشت ژن هدف

"مصلحی، مروری بر کاربرد فن آوری RNAi در نماتدشناسی گیاهی"

شناسایی عملکرد ژن و همچنین ایجاد مقاومت در گیاهان در مورد نماتدهای انگل گیاهی نیز مطرح شده است.

اعمال RNAi خارجی علیه نماتدهای انگل گیاهی با این فرض که سازوکاری مشابه با RNAi در *C. elegans* می‌تواند در مورد نماتدهای انگل گیاهی نیز مطرح باشد، در سال‌های گذشته این پدیده برای



شکل ۱- تصویر نموداری از مسیر RNAi اعمال شده از خارج در نماتد *C. elegans* (۶)

گرفتن dsRNA می‌تواند از طریق منفذ دفعی-ترشجی یا آمفیدها که دو اندام درشت هستند و دارای نورون‌هایی مرتبط با محیط بیرون هستند، انجام گیرد (۶). در مورد نماتدهای انگل گیاهی ساکن، تخم و لارو سن دوم تفریح شده از تخم تنها مراحل هستند که می‌توانند برای غوطه‌ورسازی استفاده شوند (۷). تلاش برای خاموش کردن ژن‌های بیان شده در سایر بافت‌های لارو سن دوم نماتدهای انگل گیاهی نشان داده است که در بیشتر موارد فقط شناور کردن نماتدها در dsRNA برای راه‌اندازی RNAi کافی نیست. بنابراین برخی مواد شیمیایی، محرک دریافت RNAها به وسیله نماتدها مورد استفاده قرار گرفت. در برخی

C. elegans می‌تواند از باکتری حاوی پلاسمیدی که dsRNA تولید می‌کند، تغذیه کند و یا ریزتزریق به بدن نماتد برای دریافت مستقیم dsRNA انجام شود. با این حال، نماتدهای انگل گیاهی به‌ندرت در خارج از میزبان خود تغذیه کرده و زنده می‌مانند و به‌شدت در اثر ریزتزریق آسیب می‌بینند. با وجود برخی مثال‌ها از وارد کردن dsRNA به وسیله الکتروپوراسیون، در RNAi در نماتدهای انگل گیاهی عموماً از طریق شناورسازی انجام می‌شود. dsRNA پس از خورده‌شدن به‌وسیله نماتد، توسط سلول‌های روده دریافت و یا از طریق پوست نماتد در طی شناورسازی گرفته می‌شود. چنین مطرح شده است که

RNAi راه‌اندازی شده در گیاه علیه نماتدها

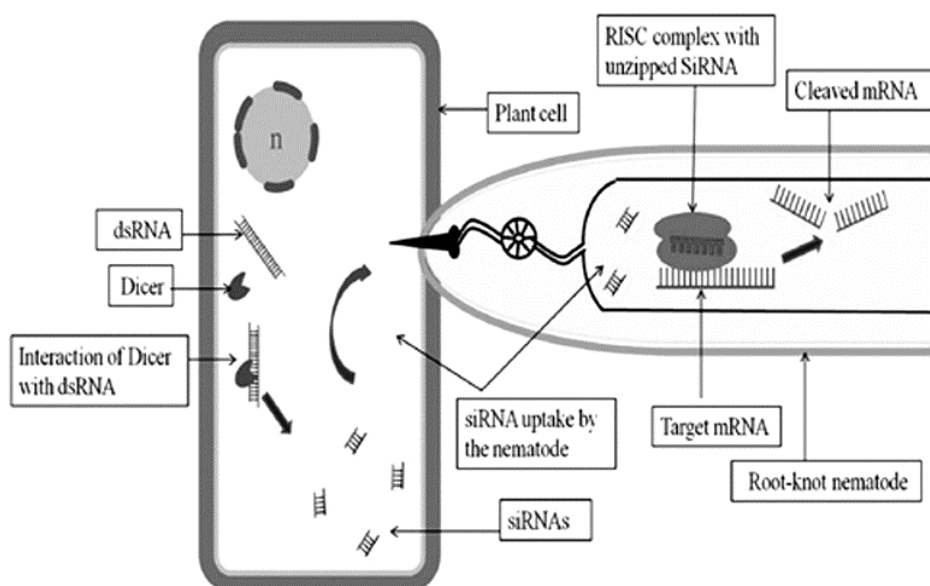
یک مشکل بالقوه در القای RNAi به‌وسیله شناورسازی، ناپایداری این نوع خاموشی است. یک راه‌برد جایگزین که می‌تواند از این مساله جلوگیری کند، وارد شدن dsRNA از طریق گیاه میزبان به مرحله آلوده کننده نماتد است. در این مورد، dsRNA داخل مکان تغذیه‌ای تولید شده و توسط نماتد خورده می‌شود. RNAi اعمال شده در گیاه، نیاز به کاربرد تحریک مصنوعی برای گرفتن dsRNA را متفی کرده و تحویل متناوب راه‌اندازها را ممکن می‌سازد. اعمال RNAi با بهره‌گیری از گیاه میزبان با اهداف مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. ژن‌های هدف به‌طور معمول شامل ژن‌های خانه‌دار، ژن‌های پارازیتسم و افکتور و ژن‌های مرتبط با نشوونمای نماتدها است (۹). در این روش، گیاهان برای بیان dsRNA مهندسی می‌شوند. این نوع RNA یک RNA خودمکمل دارای توالی‌های رمزشونده ۸۰۰-۴۰ نوکلئوتیدی کلون‌شده در جهات سنس و آنتی‌سنس بوده که توسط یک ناحیه غیررمزشونده برای تشکیل ساختار سنجاق‌سری (Hairpin) جدا می‌شوند. توالی رمزشونده مربوط به ژن هدف نماتد است و طوری انتخاب می‌شود که با هیچ توالی رمزشونده میزبان منطبق نباشد تا اثر ناخواسته ایجاد نشود. dsRNAهای حاصل توسط آنزیم Dicer گیاه می‌توانند به siRNAها تبدیل شوند (۱۰). ماهیت مولکول هدایت کننده RNAi گیاهی نامشخص است. سلول‌های گیاهی از طریق فعال کردن دستگاه RNAi خود به حضور RNA سنجاقی پاسخ داده و سبب بریدن RNA سنجاقی و تجمع siRNAها در سیتوپلاسم می‌شوند (شکل ۲). برخی از ژن‌های نماتدهای انگل گیاهی که خاموشی

پژوهش‌ها، محرک‌های سلول‌های عصبی برای تحریک خوردن dsRNA توسط نماتد به‌کار رفتند. اکتوپامین و سروتونین گروهی از این ترکیبات شیمیایی هستند که فعالیت نورون‌های M3 را که انقباض مری در طی تغذیه *C. elegans* تحت کنترل دارند، تنظیم می‌کنند. در آزمایش‌های مختلف، شناورکردن نماتدهای سیستی *Globodera pallida* و *Heterodera glycines, rostochiensis* در dsRNA با حضور اکتوپامین، گرفتن ماده از داخل محلول به سیستم گوارشی را تحریک کرده و اجازه خاموشی کارآمد ژن‌های بیان شده در روده، اپی‌درم، اسپرم، دستگاه تولیدمثلی ماده، آمفی‌دها و غده‌های مری را فراهم کرد. شناورسازی لارو سن دوم نماتد گره ریشه در dsRNA در حضور رسورسینول، اکتوپامین یا رسورسینول همراه با سروتونین سبب خوردن محلول‌ها و خاموشی ژن‌های بیان شده در روده و غده‌های مری شد. به‌طور چشم‌گیری دسته‌های مختلفی از نماتدهای یک‌گونه به یک شیوه به محرک‌ها پاسخ نمی‌دهند و این نشان می‌دهد که محرک‌های عصبی ممکن است به‌طور کامل برای تحریک خوردن محلول توسط لارو سن دوم نماتد گره ریشه مورد نیاز نباشند (۶). از میان انواع ژن‌های نماتدها که با این روش مورد مطالعه گرفته و خاموشی آن‌ها بررسی شده است، می‌توان به ژن‌های مربوط به کالرتیکولین، پلی‌گالاکتروناز، پراکسیداز، NADPH اکسیداز، کیتین سنتاز، برخی پپتیدهای عصبی، پروتئین شوک حرارتی ۷۰، سیستئین پروتئیناز، آمینوپپتیداز، سلولاز، پکتات لیاز و کوریزمات موتاز اشاره کرد (۶،۸).

"مصلحی، مروری بر کاربرد فن آوری RNAi در نماتدشناسی گیاهی"

به تازگی نیز در مطالعه‌ای، سازه‌های RNAi دو ژن مربوط به کلاژن پوست *M. incognita* (*Mi-col-1*) و *Lemmi-5*، با وارد کردن به گوجه‌فرنگی سبب کاهش معنی‌داری در تعداد افراد ماده، تعداد کیسه تخم و تعداد تخم در داخل هر کیسه شد (۱۱).

آن‌ها از طریق مهندسی ژنتیک در چند گیاه میزبان مورد بررسی قرار گرفته شامل ژن‌های مربوط به *Integrase*، پپتید ترش‌چی 16D10، پروتئین بزرگ اسپرم، برخی فاکتورهای رونویسی، *GAPDH*، برخی پروتئین‌های ریبوزومی، سرین پروتئاز، سیستئین پروتئاز و تعدادی ژن پارازیتسم مهم در نماتدها می‌باشد (۸).



شکل ۲- RNAi ایجاد شده به وسیله میزبان، از طریق برهم‌کنش بین سلول گیاه میزبان و نماتد گره ریشه. dsRNA وارد شده به گیاه میزبان به وسیله آنزیم Dicer سلولی نوع RNAse III شناسایی می‌شود که dsRNA را به قطعات کوتاه ۲۵-۳۰ نوکلئوتیدی به نام siRNAها برش می‌دهد. نماتد حین نفوذ به داخل میزبان، siRNAها را از راه استایلیت می‌بلعد. سپس این siRNAهای حاصل از میزبان، از طریق ماشین RNAi نماتد پردازش شده و siRNAهای تک‌رشته‌ای به کمپلکس RISC چسبیده و mRNA هدف با توالی‌های مشخص بریده شده و ترجمه آن مهار می‌شود (۸).

Radopholus similis) و نماتد پژمردگی کاج (*Bursaphelenchus xylophilus*) انجام شده است (۶۸). به‌عنوان مثال، در یک تحقیق، RNAi موثری در گیاه توتون با خاموشی ژن کاتپسین S (*Rs-cps*) که نوعی سیستئین پروتئیناز بوده و نقش کلیدی در نماتدها و سایر انگل‌ها بازی می‌کند، علیه نماتد *R. similis* انجام شد (۱۲).

بیشتر مطالعات RNAi نماتدهای انگل گیاهی، بر روی نماتدهای گره ریشه (*Meloidogyne spp.*) و نماتدهای مولد سیست (*Heterodera spp.*) و (*Globodera spp.*) انجام گرفته است. اما در موارد معدودی کارهایی نیز بر روی نماتدهایی چون نماتد زخم (*Pratylenchus spp.*)، نماتد پوسیدگی سیب‌زمینی (*Ditylenchus destructor*)، نماتد حفار

است فنوتیپ موردنظر ظاهر نشود. به عنوان مثال اگرچه غوطه ورکردن لارو سن دوم نماتد گره ریشه می تواند منجر به حذف کارآمد رونوشت های هدف در ۹۰ درصد از لاروها شود، فنوتیپ تنها در درصد کمتری از نماتدها ممکن است مشاهده شود. در نماتدهای انگل داخلی، ترسیم رابطه مستقیم بین یک فنوتیپ و یک عملکرد ژن در بیشتر موارد ساده و مستقیم نیست. مراحل انگلی نماتد در بافت ریشه قرار دارند و مطالعه و بررسی فیزیولوژیک را مشکل می سازند. به علاوه، مشکلات تفسیر فنوتیپ، می تواند مربوط به انگل اجباری بودن و وابستگی نزدیک نشوونمای نماتد و موفقیت در ایجاد رابطه انگلی باشد. نشوونمای نماتد به فراهم شدن مواد غذایی از میزبان و تمایز سلول های میزبان به سلول های تغذیه ای کارآمد وابسته است. در نتیجه، نقص در القای سلول تغذیه ای ممکن است منجر به کاهش تعداد انگل در میزبان، کاهش در تولید نتاج و یا افزایش افراد نر به نسبت افراد ماده شود (۶).

چشم انداز RNAi در کنترل نماتدهای انگل گیاهی

چنانچه ذکر شد، ژن های مقاومت محدودی در گیاهان شناسایی شده است و این امر سبب شده که تعداد کمی گیاه مقاوم و تنها علیه بعضی نماتدها وجود داشته باشد. با توجه به روند رو به رشد پژوهش های انجام گرفته در زمینه کنترل نماتدهای انگل گیاهی با استفاده از فن آوری RNAi چنین به نظر می رسد که در سال های پیش رو، ژن های هدف مهم تر و بیشتری برای خاموشی، شناسایی و مطرح شوند. یکی از اهداف مهم کنترلی می تواند تمرکز بر روی ژن های پارازیتسم نماتدهای مهمی چون نماتد گره ریشه و نماتدهای سیستمی باشد. اما در صورتی که بر

در ایران، تنها پژوهش انجام گرفته در زمینه RNAi نماتدهای انگل گیاهی شامل خاموشی ژن *16D10* نماتد گره ریشه و بررسی اثر آن در میزان آلودگی گوجه فرنگی در برابر *M. javanica* است. در این بررسی، قطعه ای از ژن هدف کلون شده و ساختار سنجاق سری حاصل با روش شناورسازی در معرض لاروهای سن دوم نماتد قرار داده شد. خورده شدن ساختارهای ایجاد شده توسط نماتد سبب کاهش معنی داری در فاکتورهای تولیدمثلی نماتد و کاهش آلودگی گیاه میزبان شد (۱۳).

یک جایگزین برای تولید گیاهان تراریخته، ایجاد dsRNA حاصل از ویروس در سلول های تغذیه ای است. ویروس های با ژنوم RNA به طور سیستمیک در گیاهان تکثیر می شوند و به هنگام تکثیر خود، سنتز مولکول های dsRNA را نیز میانجی گری می کنند. وارد کردن توالی های اختصاصی نماتد در ناقلین ویروسی اجازه تولید dsRNAها را در سلول های گیاهی فراهم می کند. ویروس جغجغه ای توتون (Tobacco Rattle Virus) یکی از ویروس هایی است که آزمایش هایی با بهره مندی از آن انجام شده است. از آنجایی که این ویروس بدون ایجاد علائم تخریبی در داخل ریشه و بافت های آلوده حرکت کرده و تکثیر می شود، بیشتر مورد توجه بوده است. با این حال، استفاده از ویروس برای راه اندازی RNAi در گیاهان با مشکلات و کاستی هایی نیز همراه است (۶).

مشابه تمامی پژوهش های علمی به ویژه در سطح مولکولی، به کارگیری RNAi نیز با محدودیت ها و مشکلاتی همراه است. به عنوان مثال، هنگام به کارگیری RNAi برای نماتدهای انگل گیاهی، حتی زمانی که حذف رونوشت های هدف تایید شده باشد، ممکن

"مصلحی، مروری بر کاربرد فن آوری RNAi در نماتدشناسی گیاهی"

در ایران با توجه به محدودیت‌های موجود در کارهای مولکولی و دانش کم یا ناقص در علوم نوین کاربردی، پژوهش‌های کمی در این زمینه انجام شده است. اما کم و بیش پژوهش‌هایی در زمینه خاموشی RNA در مورد سایر عوامل بیماری‌زا به ویژه ویروس‌ها و برخی آفات انجام شده است. در مورد نماتدهای انگل گیاهی به جز یک مورد، مطالعه مکتوب دیگری وجود ندارد. امید است با ترویج روش‌های جدید و رفع مشکلات و محدودیت‌ها، امکان پژوهش در انواع زمینه‌های مقاومت گیاهان از جمله خاموشی RNA نماتدها نیز فراهم شده و پژوهشگران بتوانند همراه با علم روز، با مطالعه عمیق و رفع نواقص و ایرادات احتمالی، در ایجاد گیاهان مقاوم بومی و کاهش استفاده از سموم گام بردارند.

روی ژن‌های حفاظت شده مهم برای بقا و نشو و نما، بیشتر نماتدها کارهای بیشتری انجام گیرد، گیاهان تراریخته حاصل می‌توانند در برابر دامنه وسیع‌تری از انواع نماتدها مقاوم شوند. نظر به این‌که هر علم جدید و پژوهش نوین با سختی‌ها و عیب‌هایی همراه است و به‌ویژه این‌که امروزه ایجاد گیاهان تراریخته و مصرف آن‌ها با اما و اگرهایی همراه است، چنین به نظر می‌آید که با رفع نواقص و ایرادات و بهینه‌سازی روش‌ها، در آینده‌ای نه چندان دور شاهد تولید گیاهانی با کیفیت مناسب و مقاوم در برابر تعداد زیادی از آفات و عوامل بیماری‌گر از جمله نماتدها باشیم. بدیهی است که گیاهان میزبان مهم و اقتصادی و ژن‌های مهم نماتدها در اولویت پژوهش‌ها خواهند بود.

References

1. **Elling AA. 2013.** Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology* 103:1092–1102.
2. **Karssen G, Moens M. 2006.** Root-knot nematodes. In: Perry RN, Moens M (eds.) *Plant Nematology*. CAB International, Wallingford, UK, 59–90.
3. **Timmons L, Fire A. 1998.** Specific interference by ingested dsRNA. *Nature* 395:854.
4. **Hannon GJ. 2002.** RNA interference. *Nature* 418: 244–251.
5. **Sijen T, Steiner FA, Thijssen KL, Plasterk RHA. 2007.** Secondary siRNAs result from unprimed RNA synthesis and form a distinct class. *Science* 315:244–47.
6. **Rosso MN, Jones JT, Abad P. 2009.** RNAi and functional genomics in plant parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 47: 207–232.
7. **Fanelli E, Di Vito M, Jones JT, De Giorgi C. 2005.** Analysis of chitin synthase function in a plant parasitic nematode, *Meloidogyne artiellia*, using RNAi. *Gene* 349:87–95.
8. **Banerjee S, Banerjee A, Gill SS, Gupta, OP, Dahuja A, Jain PK, Srohi A. 2017.** RNA interference: a novel source of resistance to combat plant parasitic nematodes. *Frontiers in Plant Science* 8:834.
9. **Yadav BC, Veluthambi K, Subramaniam K. 2006.** Host generated double stranded RNA induces RNAi in plant parasitic nematodes and protects the host from infection. *Molecular and Biochemical Parasitology* 148: 219–222.

فهرست منابع

10. Lilley CJ, Bakhetia M, Charlton WL, Urwin PE. 2007. Recent progress in the development of RNA interference for plant parasitic nematodes. *Molecular Plant Pathology* 8:701–711.
11. Banarjee S, Gill SS, Gawade BH, Jain PK, Subramaniam K, Sirohi A. 2018. Host delivered RNAi of two cuticle collagen genes, *Mi-col-1* and *Lemmi-5* hampers structure and fecundity in *Meloidogyne incognita*. *Frontiers in Plant Science* 8:2266.
12. Li Y, Wang K, Lu Q, Du J, Wang Z, Wang D, Sun B, Li H. 2017. Transgenic *Nicotiana benthamiana* plants expressing a hairpin RNAi construct of a nematode *Rs-cps* gene exhibit enhanced resistance to *Radopholus similis*. *Scientific Reports* 7:13126.
13. Moslehi Sh. 2015. Molecular and traditional screening of some wild species, landraces and commercial cultivars of tomato against *Meloidogyne javanica* and evaluation of the silencing of nematode *16D10* gene using RNAi technology. Iran, University of Tabriz, PhD thesis.

A review on the application of RNAi technology in Nematology

Shalaleh Moslehi

Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

sh.moslehi@yahoo.com

Abstract

Nematodes are one of the most economically important groups of plant pathogens. The use of resistant or non-host crop plants, application of nematicides and more recently the use of microbial antagonists and biocontrol agents are the principal methods for management of nematodes. Taking advantage of nematode repellents, Proteinase inhibitors, Cry proteins of *Bacillus thuringiensis*, resistance genes, RNA interference (RNAi) etc. are among the novel methods of management. The use of host plant resistance against nematodes is limited because of low numbers of identified plant species that bearing resistance genes. Along with other control methods, RNA silencing is a novel tool to control of plant parasitic nematodes. RNAi is a cellular mechanism in which double-stranded RNA (dsRNA) molecules drive the post-transcriptional silencing of genes with homologous sequences. RNAi on parasitic nematodes is generally performed by soaking of nematodes in dsRNAs or siRNAs of target genes. Three main target genes of nematodes are house-keeping genes, parasitism or effector genes and the genes necessary for development of nematodes. A combination of the RNAi technology with existing technologies or treatments might provide the most effective and durable basis for future control of these important plant parasitic nematodes.

Keywords: Biotechnology, Control, Phytonematodes, Resistant cultivars, RNA silencing.