مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷

مروری بر کاربرد فن‌آوری 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 معمولا با شناورسازی نماتدها در dsRNAها یا siRNAهای مربوط به ژن‌های هدف نماتدها قابل انجام است. سه گروه اصلی از ژن‌های هدف برای خاموشی، ژن‌های خانه‌دار، ژن‌های پارازیتیسم و ژن‌های مهم برای نشو و نمای 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

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 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 وکنترل شیمیایی می‌باشد. ایجاد و به کارگیری

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

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 اسیدنوکلئیک‌های مهاجم به سلول بوده و یکی از پدیده‌های تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها به‌شمار می‌رود. پدیده خاموشی ژن از طریق سازوکار RNAi اولین بار در مورد نماتد آزادزی *Caenorhabditis elegans* مطرح شد (۴،۳). 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 به‌طور اختصاصی در غده‌های مریایی بیان می‌شوند، یا طی انتقال به مرحله انگلی تحریک به فعالیت می‌شوند، فراهم کرده است و ژن‌های نامزد زیادی برای پارازیتیسم از طریق این راه‌کارها به دست آمده است.

RNAi از طریق وارد کردن dsRNA خارجی به نماتدها

RNAi راه‌اندازی شده با dsRNA خارجی (شکل۱) 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 در سلول‌های دریافت کننده ظاهر شود. اولین ورود dsRNA از مجرای روده، به‌وسیله پروتئین SID-2 صورت می‌گیرد که یک پروتئین بیان شونده در سلول‌های روده است و فعالیت آن نیازمند پروتئین دیگری به‌نامSID-1 است. انتشار سیستمیک RNAi توسطSID-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. سپسDCR-1، RDE-4 و RDE-1 (پروتئین آرگونات) با siRNAهای اولیه حاصل برای تشکیل کمپلکس بارگیری RISC (کمپلکس خاموشی القاشده توسط RNA) همراهی می‌کنند. RISC رشته رهبر siRNA را برای یافتن mRNAهای هدف و بریدن آن‌ها برای ممانعت از ترجمه به کار می‌گیرد.

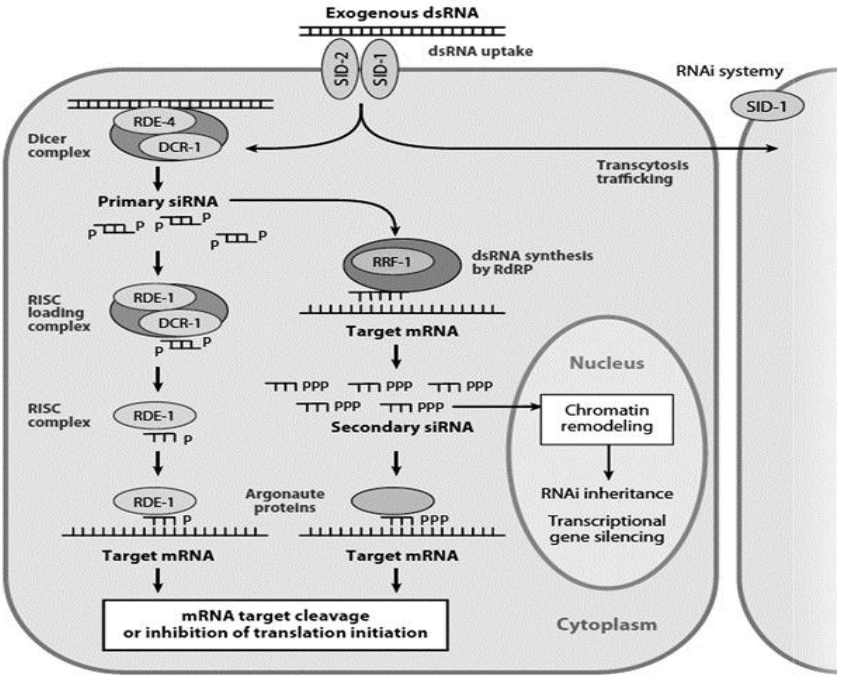
هلیکازها نیز در این فرآیند نقش دارند و ممکن است در تغییر ترکیب dsRNA راه‌انداز و قابل دسترس کردن آن‌ها برای Dicer و کمپلکس‌های بارگیری RISC نقش داشته باشند. کارآیی بالای RNAi در گیاهان و *C. elegans* به‌علت یک مرحله تکمیلی در همانندسازی RNA است. در *C. elegans*، siRNAهای اولیه، RdRP را به RNAهای هومولوگ و ساخت نوع دوم siRNAها در فرآیندی بدون دخالت Dicer هدایت می‌کنند (۵). siRNAهای نوع دوم که در انتهای′5، تری‌فسفات دارند از siRNAهای اولیه فراوان‌تر بوده و خاموشی پس از رونویسی بسیار موثرتری را سبب می‌شوند (٦).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

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



شکل۱- تصویر نموداری از مسیر RNAi اعمال‌شده از خارج در نماتد *C. elegans* (۶)

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، RNAi در نماتدهای انگل گیاهی عموما 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 گرفتن dsRNA می‌تواند از طریق منفذ دفعی-ترشحی یا آمفیدها که دو اندام درشت هستند و دارای نورون‌هایی مرتبط با محیط بیرون هستند، انجام گیرد (٦). در مورد نماتدهای انگل گیاهی ساکن، تخم و لارو سن دوم تفریخ شده از تخم تنها مراحلی 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

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

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 rostochiensis*، *Heterodera glycines* و *Globodera pallida* 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 یک گونه 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 (٦).

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 (٦،٨).

RNAi راه‌اندازی شده در گیاه علیه نماتدها

یک مشکل باالقوه 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 منتفی 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 پارازیتیسم و افکتور و ژن‌های مرتبط با نشوونمای نماتدها است (۹). در این روش، گیاهان برای بیان dsRNAها 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 فعال‌کردن دستگاه RNAi خود به حضور RNA سنجاقی پاسخ داده و سبب بریدن RNA سنجاقی و تجمع siRNA ها در سیتوپلاسم می‌شوند (شکل۲).

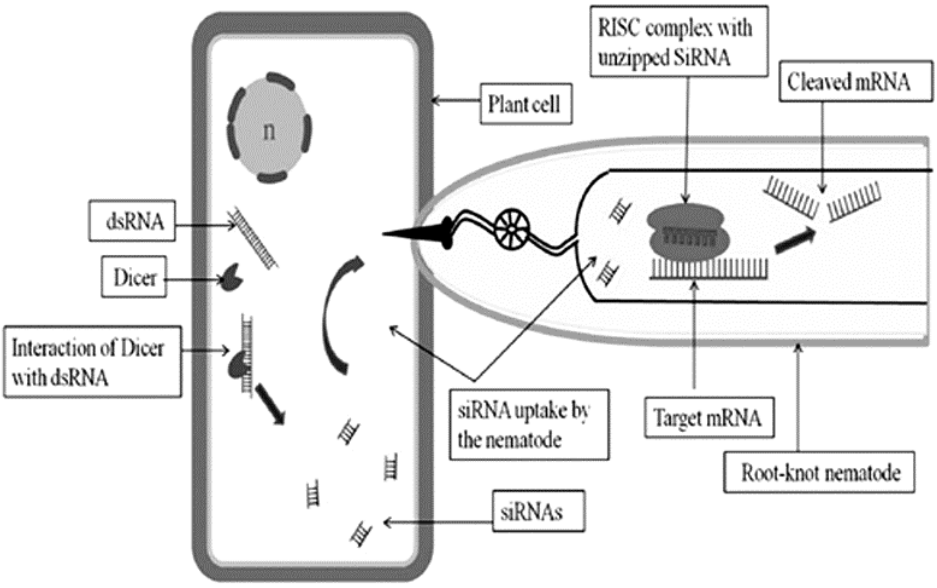
برخی از ژن‌های نماتدهای انگل گیاهی که خاموشی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

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

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).



شکل۲- RNAi ایجاد شده به‌وسیله میزبان، از طریق برهم‌کنش بین سلول گیاه میزبان و نماتد گره ریشه. dsRNA وارد شده به گیاه میزبان به‌وسیله آنزیم Dicer سلولی نوع RNAse III شناسایی می‌شود که dsRNA را به قطعات کوتاه ۲۵-۲۰ نوکلئوتیدی به نام siRNAها برش می‌دهد. نماتد حین نفوذ به داخل میزبان، siRNAها را از راه استایلت 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).

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 (*Radopholus similis*)و نماتد پژمردگی کاج (*Bursaphelenchus xylophillus*) انجام شده است (۶،۸). 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).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

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 گوجه‌فرنگی در برابر *M. javanica* است. در این بررسی، قطعه‌ای 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 معنی‌داری در فاکتورهای تولیدمثلی نماتد و کاهش آلودگی گیاه میزبان شد (۱۳).

یک جایگزین برای تولید گیاهان تراریخته، ایجاد dsRNA حاصل از ویروس در سلول‌های تغذیه‌ای است. ویروس‌های با ژنوم RNA به‌طور سیستمیک در گیاهان تکثیر می‌شوند و به هنگام تکثیر خود، سنتز مولکول‌های dsRNA را نیز میانجی‌گری می‌کنند. وارد کردن توالی‌های اختصاصی نماتد در ناقلین ویروسی اجازه تولید dsRNAها را در سلول‌های گیاهی فراهم می‌کند. ویروس جغجغه‌ای توتون (Tobacco Rattle Virus) یکی از ویروس‌هایی است که آزمایش‌هایی با بهره‌مندی از آن انجام شده است. از آن‌جایی که این ویروس بدون ایجاد علائم تخریبی در داخل ریشه و بافت‌های آلوده حرکت کرده و تکثیر می‌شود، بیشتر مورد توجه بوده است. با این‌حال، استفاده از ویروس برای راه‌اندازی RNAi در گیاهان با مشکلات و کاستی‌هایی نیز همراه است (٦).

مشابه تمامی پژوهش‌های علمی به‌ویژه در سطح مولکولی، به‌کارگیری RNAi نیز با محدودیت‌ها و مشکلاتی همراه است. به‌عنوان مثال، هنگام به‌کارگیری RNAi برای نماتدهای انگل گیاهی، حتی زمانی که حذف رونوشت‌های هدف تایید شده باشد، ممکن است فنوتیپ موردنظر ظاهر نشود. به‌عنوان مثال اگرچه غوطه‌ورکردن لارو سن دوم نماتد گره ریشه می‌تواند منجر به حذف کارآمد رونوشت‌های 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 می‌سازند. به‌علاوه، مشکلات تفسیر فنوتیپ، می‌تواند مربوط به انگل اجباری بودن و وابستگی نزدیک نشوونمای نماتد و موفقیت در ایجاد رابطه انگلی باشد. نشوونمای نماتد به فراهم‌شدن مواد غذایی از میزبان و تمایز سلول‌های میزبان به سلول‌های تغذیه‌ای کارآمد وابسته است. در نتیجه، نقص در القای سلول تغذیه‌ای ممکن است منجر به کاهش تعداد انگل در میزبان، کاهش در تولید نتاج و یا افزایش افراد نر به نسبت افراد ماده شود (٦).

چشم‌انداز RNAi در کنترل نماتدهای انگل گیاهی

چنان‌چه ذکر شد، ژن‌های 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 پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه کنترل نماتدهای انگل گیاهی با استفاده از فن‌آوری RNAi چنین به نظر می‌رسد که در سال‌های پیش‌رو، ژن‌های هدف مهم‌تر و بیشتری برای خاموشی، شناسایی و مطرح شوند. یکی از اهداف مهم کنترلی می‌تواند تمرکز بر روی ژن‌های پارازیتیسم نماتدهای مهمی چون نماتد گره ریشه و نماتدهای سیستی باشد. اما در صورتی که بر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

روی ژن‌های حفاظت شده مهم برای بقا و نشو و نمای 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 بیمارگر از جمله نماتدها باشیم. بدیهی است که گیاهان میزبان مهم و اقتصادی و ژن‌های مهم نماتدها در اولویت پژوهش‌ها خواهند بود.

در ایران با توجه به محدودیت‌های موجود در کارهای مولکولی و دانش کم یا ناقص در علوم نوین کاربردی، پژوهش‌های کمی در این زمینه‌ها 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.

فهرست منابع

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.** Specfic 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]

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 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 novelest 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.1.7.3]