

نماتدها، نشانگرهای زیستی آلودگی خاک به فلزات سنگین

هادی کریمی پور فرد^۱

استادیار پژوهش بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران. karimipourfard@yahoo.com

دریافت: مرداد ۱۳۹۶ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

چکیده

فراوانی و حضور همه جایی نماتدها در اکوسیستم‌های مختلف آنها را به یکی از بهترین نشانگرها جهت پایش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل کرده است. از بین ارگانسیم‌های موجود در خاک، نماتدها بعنوان یکی از بهترین شاخص‌های زیستی جهت شناسایی اختلالات موجود در خاک از جمله آلودگی خاک به فلزات سنگین مطرح می‌باشند. تحقیقات انجام شده پیرامون تاثیر فلزات سنگین از جمله سرب، کادمیوم، کروم، مس، نیکل، روی و سلنیوم روی جنس‌های مختلف نماتدها از گروه‌های مختلف تغذیه‌ای و از طریق تحلیل شاخص‌های مرتبط با تنوع و اجتماع نماتدها نشان دهنده تاثیر قابل توجه افزایش غلظت فلزات مذکور روی جمعیت برخی از جنس‌های نماتدها است؛ اما با وجود خصوصیات منحصر بفرد نماتدها در پایش آلودگی‌های خاک، تعمیم دادن اثرات مشاهده شده آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین بر روی اجتماع نماتدها، دشوار به نظر می‌رسد؛ چرا که نوع اکوسیستم، مقیاس مکانی و همچنین خصوصیات منطقه ای از جمله pH خاک، پوشش گیاهی و وجود فون نماتدهایی که از قبل در خاک حضور دارند می‌تواند تجزیه و تحلیل نتایج این گونه اطلاعات را تحت تاثیر قرار دهد؛ بنابراین لازم است، در تحلیل شاخص‌های جمعیتی نماتدها، جنس‌هایی از نماتدها را که باعث ابهام در پیشگویی می‌شوند را حذف و بر روی جنس‌های شناخته شده‌ای که قابلیت بروز واکنش به یک محرک مداخله‌گر در محیط خاک را دارند، متمرکز گردد. در این صورت تحلیل شاخص‌های جمعیتی هم قابلیت پیشگویی خوبی دارند و هم از لحاظ اقتصادی با صرفه تر هستند. مثال‌هایی از جنبه‌های کاربردی و تجاری نماتدها در پایش آلودگی زیستگاه‌های آبی به آلودگی‌هایی مانند آلودگی‌های ناشی از مواد شیمیایی در سایر کشورها وجود دارد. در این راستا بهره‌گیری از نتایج تحقیقات سایر کشورها، توسعه تحقیقات کاربردی در این زمینه و رفع محدودیت‌های موجود می‌تواند زمینه ساز استفاده از نماتدها در پایش آلودگی خاک به فلزات سنگین باشد.

واژه‌های کلیدی: اجتماع نماتد، محیط زیست، پایش زیستی، فلزات سنگین.

۱ - آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران.

مقدمه

انسان به طور دائم و موقت در معرض ۳۵ نوع فلز قرار دارد. از این تعداد ۲۳ فلز جزء عناصر سنگین هستند. این فلزات در مقادیر کم به طور طبیعی در محیط و رژیم غذایی وجود دارند؛ اما در اثر آلودگی های ناشی از فعالیتهای انسانی غلظت آنها در محیط زیاد شده و در نتیجه پس از وارد شدن به زنجیره غذایی انسان اثرات سمی حاد و مزمنی برای بدن ایجاد می کنند. فلزات سنگین بدلیل عدم تجزیه توسط فرایندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت از آلاینده های پایدار و بادوام محیط زیست به شمار می آیند. یکی از نتایج مهم پایداری این فلزات، تجمع زیستی فلزات در زنجیره غذایی بخصوص در اعضای بالاتر این زنجیره است که این تجمع می تواند به چندین برابر آنچه در آب یا هوا یافت می شود، برسد. فلزات سنگین می توانند منجر به بروز اختلالات در سلامتی انسان و بروز عوارضی همچون سرطان ها گردند. مهمترین این عناصر به طور کلی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، نیکل، روی و وانادیوم هستند. عناصری مانند آرسنیک و سلنیوم نیز به دلیل خواص ویژه سمی، از اهمیت ویژه ای برخوردارند (محمد شفيعی و محمد شفيعی، ۲۰۱۶).

نماتدها نقش مهمی را در فرآیندهای مرتبط با اکثر زیست بومها^۱ بازی می کنند. در شبکه غذایی خاک، نماتدها باعث تبدیل مواد آلی به مواد معدنی قابل جذب توسط گیاهان شده و در رشد گیاهان و تولید محصول نقش مهمی را ایفا می کنند (اینگام و همکاران، ۱۹۸۵). علاوه بر اینکه نماتدها باعث ایجاد بیماری در انسان، جانوران و گیاهان می شوند، با تنظیم جمعیت حشرات باعث کاهش خسارت ناشی از آفات حشره ای نیز می گردند (ویگلرچیو، ۱۹۹۱). هر متر مربع از خاک یا رسوبات مربوط به منابع آبی می تواند حاوی میلیونها نماتد متعلق به بیش از ۴۰۰ گونه باشد. فراوانی و حضور همه جایی نماتدها در اکوسیستم های مختلف آنها را به

بزرگترین نشانگرهای پایش آلودگی های زیست محیطی تبدیل کرده است (یتس و همکاران، ۲۰۰۹).

مهم ترین صفت یک نشانگر، نشان دادن تغییر در برابر عامل تنش زا می باشد اما پاسخ نشانگر نباید آنچنان حساس باشد که تغییرات زیست شناختی بی اهمیت یا تصادفی را نشان دهد (حمیدیان و یحیی آبادی، ۱۳۹۴). یک نشانگر یا شاخص^۲ می بایست قادر به اجرای یک یا چند کارکرد باشد؛ به طوری که هم منعکس کننده فرآیندهای بوم شناختی^۳ قبلی باشد و هم فرآیندهای بوم شناختی آینده را پیش بینی نماید. موفقیت انجام هر دو کارکرد مذکور به دانش بوم شناختی نسبتاً کاملی وابسته است. اتصال و ارتباط بین فرآیندهای زیست بوم و تنوع جمعیتی حتی برای جوامعی که به خوبی مطالعه شده اند، هنوز روشن نیست. بنابراین تعجب آور نیست که ارتباط بین فرآیندهای زیست بوم و تنوع نماتدها نیز همچنان به صورت کامل مشخص نشده است (نهر و داربی، ۲۰۰۹). از بین موجودات موجود در خاک، نماتدها بعنوان یکی از بهترین موجودات جهت تعیین وضعیت خاک و به عنوان نشانگر زیستی خاک مطرح می باشند (اکشیت و کورتالس، ۲۰۰۶). علاوه بر نماتدها سایر موجودات خاکزی از جمله کرم های خاکی نیز از شناساگرهای مهم آلودگی خاک از جمله تجمع عناصر سنگین و مواد شیمیایی از طریق اندازه گیری تجمع مواد مذکور در بدن کرم های خاکی می باشند (حمیدیان و یحیی آبادی، ۱۳۹۴). در طی یک دوره ده ساله از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ میلادی، تقریباً ۲۰۰ مقاله در مجلات علمی بین المللی در زمینه استفاده از نماتدها بعنوان نشانگرها و شاخص های تعیین وضعیت خاک و رسوبات دریاها به چاپ رسیده است. اخیراً نیز استفاده از نشانگرهای زیستی از جمله نماتدها جهت تعیین وضعیت خاک های مختلف در اروپا مورد توجه واقع شده است؛ زیرا این نشانگرها به عنوان ابزار پایش در راهبردهای حفاظت خاک مورد بهره برداری قرار می گیرند (اکشیت و کورتالس، ۲۰۰۹). استفاده از نماتدها به عنوان نشانگرهای

² Index³ Ecological¹ Ecosystems

شاخص‌های تنوع، امکان ارزیابی تنوع موجود زنده را در یک اکوسیستم بدون اشاره مستقیم به آن موجود زنده یا اکوسیستم، فراهم می‌آورد. برای تاکسون‌های نماتدی ساکن خاک و آب‌های شیرین پنج گروه موسوم به گروه‌های c-p تعریف می‌گردد که گروه یک شامل نماتدهایی با نسل کوتاه، تولید تخم‌های کوچک، باکتری خوار و رشد جمعیت زیاد تحت شرایط غنی از مواد غذایی و متحمل نسبت به آلاینده‌ها و محصولات ناشی از تجزیه مواد بوده و با کاهش بیوماس میکروبی لارو مقاوم تولید می‌کنند. گروه دو نماتدهایی با نسل کوتاه و نرخ تولید مثلی نسبتاً بالا شامل باکتری خوارها، قارچ خوارها و تعداد کمی از شکارگرها هستند و در پاسخ به محیط‌های غنی از مواد غذایی نسبت به نماتدهای گروه یک کندتر عمل می‌کنند و فاقد لارو مقاوم و بسیار متحمل به آلاینده‌ها و سایر اختلالات می‌باشند. گروه سه نسل طولانی‌تر نسبت به نماتدهای گروه دو دارند و حساسیت بیشتری نسبت به اختلالات محیطی نشان می‌دهند.

این گروه شامل نماتدهای باکتری خوار، قارچ خوار و بعضی شکارگرها هستند. گروه چهار نماتدهایی با نسل طولانی و بعلت نفوذپذیری بالای کوتیکول، حساسیت زیادی به آلاینده‌ها دارند و شامل شکارگرهای بزرگ، همه چیز خواران کوچک و تعدادی از باکتری خوارها می‌شوند. نماتدهای راسته *Dorylamida* با جثه کوچک و نماتدهایی با نسبت پایین گناد به حجم بدن در این گروه هستند؛ و در نهایت گروه پنجم شامل نماتدهای راسته *Dorylamida* با جثه بزرگ، نماتدهای همه چیز خوار بزرگتر و شکارگرها هستند که نرخ تولید مثلی پایین، فعالیت متابولیکی کم و حرکت آهسته دارند و بعلت نفوذ پذیر بودن کوتیکول حساسیت زیادی به آلاینده‌ها و سایر اختلالات دارند (فریس و بونگرز، ۲۰۰۹). هر چند اگر سری‌های c-p در سطح جنس‌ها و گونه‌ها طبقه‌بندی شود مفیدتر خواهد بود اما به علت نقص اطلاعات در زیست‌شناسی و میزان حساسیت اعضای یک جنس، سطح خانواده به این سرهای c-p

زیستی در اکوسیستم‌های آبی و خاکی به علت وجود خصوصیات منحصر به فردی است که در نماتدها وجود دارد. نماتدها را در تمامی سیستم‌های خاکی و آبی که شامل خاکهای اسیدی جنگلی، خاکهای شدیداً آلوده، خاکهای دارای بافت سنگین رُسی، رسوبات موجود در عمق دریاها، مواد گیاهی در حال پوسیدن، در کمپوست و تمامی زیستگاه‌هایی که مواد آلی در حال پوسیدن در آنها وجود دارد، می‌توان یافت.

نماتدها از لحاظ طول عمر نیز بسیار متفاوت هستند؛ به طوری که چرخه زندگی برخی به چند روز محدود می‌شود و در برخی دیگر این چرخه زندگی چند ماه و حتی یک سال به طول می‌انجامد (بونگرز و فریس، ۱۹۹۹). شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد نماتدها بهترین شاخص جهت تعیین وضعیت شبکه غذایی و محیطی خاک می‌باشند؛ بطوری که تعیین فراوانی، تنوع و توده زیستی^۱ نماتدهای موجود در یک نمونه خاک اطلاعات زیادی در مورد شرایط موجود در خاک از جمله غنای مواد آلی^۲ و آلودگی‌های خاک در اختیار ما قرار می‌دهند (فریس و بونگرز، ۲۰۰۶). برخی از گونه‌های نماتدها نسبت به آلودگی‌ها بسیار حساس و برخی دیگر نسبت به آلودگی‌ها بسیار متحمل هستند. گونه‌های نماتد موجود در یک نمونه مجموعه‌ای از جمعیت‌ها می‌باشند که به عنوان اجتماع نماتد^۳ در نظر گرفته می‌شوند. فون نیز به فهرستی از تاکسون‌های موجود در یک نمونه، مزرعه و یا مقیاس وسیع‌تر اطلاق می‌شود (یتس و همکاران، ۲۰۰۹). ارزیابی سهم نسبی و مطلق هر تاکسون در مجموعه جمعیتی نماتدها زمانی که این مطالعات به گروه خاصی از نماتدها مانند نماتدهای انگل گیاهی اختصاص یابد عملی بوده و از شاخص‌های مربوط به تنوع از جمله: شاخص‌های غنای گونه‌ها مانند شاخص‌های Shannon diversity index، Simpson's diversity index استفاده می‌شود. این شاخص‌ها و دیگر

¹ Biomass

² Organic enrichment

³ Nematode assemblage

طولانی) طبقه‌بندی می‌شود؛ افزایش یافتند (ویس و لارینک، ۱۹۹۱).

مطالعات نشان داده که نسبت نماتدهای شکارگر نسبت به نماتدهای همه چیز خوار با سطح اول آلودگی به عنصر روی (100 mg/kg) به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد اما فراوانی نماتدها و شاخص بلوغ به ترتیب در میزان های 200 mg/kg تا 400 mg/kg کاهش می‌یابد. البته تفاوت‌هایی نیز در فراوانی نسبی تاکسون‌های بخصوصی دیده شده است؛ به عنوان مثال، فراوانی نسبی نماتدهای مولد زخم ریشه (*Pratylenchus*) در مواجهه با غلظت‌های بالای عنصر روی در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (کورتالس و همکاران، ۱۹۹۶). در مطالعه دیگری تأثیر حداکثر میزان کاربرد روی در طی چند سال بر روی اجتماع نماتدهای موجود در خاک بررسی گردید، مشخص شد که غنای گونه‌ای^۱ و شاخص بلوغ به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که جمعیت نماتدهای قارچ‌خوار کاهش و جمعیت نماتدهای انگل گیاهی، شکارگرها و همه‌چیزخوارها نسبت به تیمارهای شاهد دو برابر شد، بنابراین این نتایج نشان داد که اجتماع نماتدها می‌تواند نشان‌دهنده و شاخصی جهت مقادیر بالای عناصری مانند روی باشد (ناگی، ۲۰۰۹).

اختصاص یافته است (بونگرز، ۱۹۹۰). از دیگر شاخص‌های مختص آنالیز اجتماع نماتدها، شاخص‌های بلوغ^۱ (MI) هستند که این شاخص براساس تاکسون‌های نماتدی به غیر از نماتدهای انگل گیاهی و اندازه‌گیری مداخله‌گرهای زیست محیطی تعیین می‌شود (مقادیر پایین MI مربوط به محیط‌هایی است که در آنها اختلال ایجاد شده). شاخص دیگر از زیر مجموعه شاخص‌های بلوغ شاخص^۲ PPI است که این شاخص مانند MI است ولی فقط برای نماتدهای انگل گیاهی استفاده می‌گردد و فراوانی آنها با توانایی بقای گیاهان میزبان آنها که تحت تأثیر غنای زیست بوم است، تعیین می‌گردد. این شاخص تحت شرایط فقر مواد غذایی اکوسیستم‌های طبیعی برخلاف MI، پایین‌تر است (فریس و بونگرز، ۲۰۰۹). شاخص^۳ PPI/MI نیز تحت شرایط فقر مواد غذایی پایین‌تر بوده و یک نشانگر حساس به غنای اکوسیستم‌های کشاورزی است (بونگرز و همکاران، ۱۹۹۷؛ بونگرز و کورتالس، ۱۹۹۵).

در مطالعاتی که با استفاده از رسوبات فاضلاب حاوی فلزات سنگین اثرات کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی بر روی نماتدها بررسی گردیده است. نتایج این بررسی نشان داده، جمعیت نماتدی مانند *Pristionchus* که یک جنس از دیپلوگاسترید^۴ و جزو نماتدهای شکارگر و باکتری خوار از گروه r-strategist (نماتدهای دارای اندازه‌های کوچک، طول عمر کم، جمعیت ناپایدار و تولید مثل بالا) دسته‌بندی می‌گردد، افزایش یافت؛ اما نماتدهای دوریلیمید که عادت تغذیه‌ای شکارگری و همه چیزخواری^۵ دارند از جمله نماتدهای *Mesodorylaimus Ecumenicus*, *Aprocelaimellus* و *Paravulvus* و جزء گروه k-strategist (نماتدهای درشت، دارای نسل محدود، جمعیت پایدار و عمر

¹ Maturity indices

² The Plant Parasite Index

³ The Plant Parasite Index / Maturity Index ratio

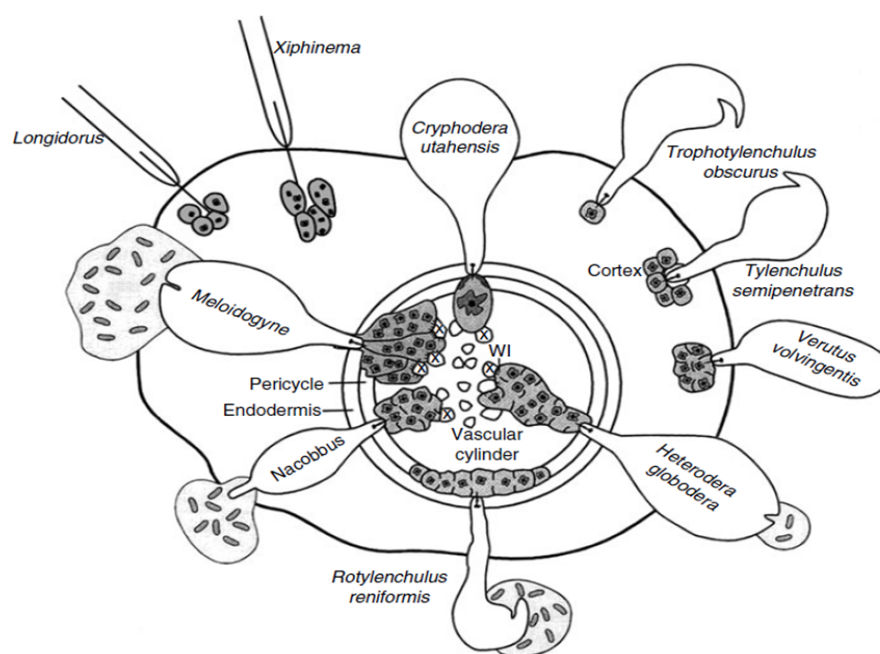
⁴ Diplogastrid

⁵ Omnivores

⁶ Species richness



شکل ۱- نمای میکروسکوپی از انواع نماتدهای خاکزی پس از استخراج از خاک با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر



شکل ۲- چند گونه از نماتدهای انگل گیاهی موجود در خاک و نحوه تغذیه آنها از نواحی مختلف ریشه گیاهان میزبان

شامل *Anaplectus sp*، *Aphelenchus sp* و بیشتر نماتدهای گروه سفالوبید^۱ از جمله گونه‌های جنس‌های *cephalobus* و *Eucephalobus* می‌باشد. گروه دوم تاکسون‌هایی هستند که میزان متوسطی از روی (بین ۱۰۰ تا ۵۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم) باعث کاهش جمعیت آنها می‌گردد و گروه سوم که تاکسون‌های متحمل به روی هستند فقط سطوح بالای روی (1000 mg/kg) باعث کاهش جمعیت آنها می‌گردد که از جمله نماتدهای مربوط

تأثیرات فلزات سنگین بر نماتدها و استفاده از این ویژگی در جهت کاربرد نماتدها به عنوان نشانگرهای زیستی

روی (Zn)

براساس واکنش و حساسیت نماتدها نسبت به عنصر روی سه گروه تاکسونی را می‌توان تعیین کرد. یکی تاکسون‌های حساس به روی که در مقادیر بالاتر از ۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش جمعیت نشان می‌دهند و

¹ Cephalobid

کاهش pH می‌گردد. نماتدهای شکارگر و بخصوص نماتدهای همه‌چیزخوار حساسیت بالایی نسبت به غلظت-های بالای مس و کاهش pH نشان دادند. با افزایش غلظت مس، جنس‌های *Acrobeloides*، *Acrobeles*، *Basiria*، *Cervidellus*، *Diphtherophora*، *Merlinius* و *Trichodorus* به طور معنی‌داری کاهش و جمعیت *Chiloplacus* افزایش یافت.

براساس نظر ناگی (۱۹۹۹) فلز مس در میزان ۱۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیچ تأثیر سمی حادی بر روی نماتدها ندارد و فقط پنج تا شش سال پس از آلودگی ممکن است روی برخی پارامترها تأثیر بگذارد. نماتدهای قارچ خوار (مخصوصاً *Aphelenchoides* و *Paraphelenchus*) از لحاظ فاکتور افزایش فراوانی کل در تیمارهای حاوی میزان بالای مس نسبت به تیمارهای شاهد، شاخص‌های خوبی به نظر می‌رسند و همچنین در تیمارهایی که میزان مس بالایی دارند نسبت گونه‌های جنس *Pratylenchus* افزایش و برخی از نماتدهای باکتری خوار از جمله *Chiloplacus* و *Heterocephalobus* کاهش یافت. در مطالعاتی که توسط یتس و همکاران (۲۰۰۳) صورت گرفت در تیمارهایی که حاوی مس بودند تعداد لاروهای جنس *Heterodera* (نماتدهای سیستی) به طور معنی‌داری افزایش یافت. در مطالعه‌ای که در هلند بر روی اثرات مس روی جمعیت نماتدهای موجود در خاک طی یک دوره ده ساله و بین سالهای ۱۹۸۲ الی ۱۹۹۲ میلادی صورت گرفته چهار سطح از میزان مس در چهار سطح pH خاک بکار رفته است و در طول سالهای آزمایش تناوبی از محصولاتی مانند ذرت، سیب زمینی و چاودار در زمین مورد آزمایش کشت شدند و نتایج این آزمایش نشان دهنده کاهش معنی‌دار جمعیت نماتدها در تیمارهایی بوده که با میزان بالاتری از مس تیمار شده بودند؛ به طوری که جمعیت نماتدها از ۵۰۰۰ نماتد در ۱۰۰ گرم خاک در تیمارهای شاهد (بدون مصرف مس) به کمتر از ۱۰۰۰ نماتد در تیمارهایی که بیشترین میزان مس در آنها

به گروه متحمل به روی می‌توان به جنس‌های *Aphelenchoides*، *Acrobeloides*، *Ditylenchus* و نماتدهای رابدیتید^۱ اشاره نمود (ناگی، ۲۰۰۹). براساس مطالعات جورجیو و همکاران (۲۰۰۲) یک همبستگی مثبت بین غلظت‌های روی و تعداد برخی نماتدهای انگل گیاهی وجود دارد به طوری که غلظت‌های بالای روی، منجر به افزایش فراوانی دو جنس *Pratylenchus* و *Criconemoides* می‌گردد. براساس کلیه یافته‌های اشاره شده پیرامون تأثیر روی بر نماتدها می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که عنصر روی نمی‌تواند اثرات مضر و مخرب برجسته‌ای روی اجتماع نماتدها داشته باشد؛ اما در غلظت‌های بالای روی، برخی فاکتورهای جمعیتی نماتدها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. همچنین در این گونه مطالعات می‌بایست عواملی همچون شرایط خاک مانند pH و ظرفیت بافری خاک و فون نماتدهایی که به طور طبیعی و قبل از انجام آزمایش در خاک وجود دارند، مد نظر قرار گیرند (ناگی، ۲۰۰۹).

مس (Cu)

در آزمایش‌هایی که توسط کورتالس و همکاران (۱۹۹۶) صورت پذیرفته فاکتورهایی از جمله فراوانی کل، شاخص بلوغ و نسبت نماتدهای همه چیز خوار به شکارگر، در غلظت‌های مختلف مس مورد بررسی قرار گرفته است. از بین عوامل مذکور نسبت نماتدهای همه چیز خوار به شکارگر از حساس‌ترین فاکتورها به غلظت مس بود. نماتدهای باکتری خوار از گروه *r-strategist* و بخصوص نماتدهای آزادزی از خانواده *Rhabditidae* کاملاً به غلظت‌های بالای مس متحمل و جمعیت آنها به طور معنی‌داری با افزایش غلظت مس نسبت به سایر تیمارها با غلظت پایین‌تر مس، افزایش یافت. در مقابل گونه‌های جنس‌های *Clarkus*، *Aprocelaimellus* و *Plectus* بیشترین حساسیت را نسبت به غلظت‌های بالای مس نشان دادند. غلظت بالای مس در خاک منجر به

¹ Rhabditid

پارامترهای نماتدشناختی را رد کرده است. البته در این مطالعه به افزایش فاکتورهایی مانند فراوانی کل و غنای جنس^۱، اما نه در حد معنی‌دار اشاره شده است. در کرت-هایی که با نیکل تیمار شده بودند برخی از تاکسون‌ها مانند خانواده *Alaimidae* جنس‌های *Pratylenchus* و *Paraphelenchus* و خانواده Tylenchorhynchidae افزایش قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد پیدا کردند. همچنین جنس‌های *Acrobeles* و *Prismatolaimus* مانند آزمایش کورتالس و همکاران (۱۹۹۶) کاهش یافتند. با توجه به نتایج فوق و دیگر آزمایش‌های انجام شده اینگونه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نیکل می‌تواند اثر منفی روی اجتماع نماتدها داشته باشد، اما نه در غلظت‌های پایین و یا در حدود غلظت‌های مجاز. در غلظت پایین، نیکل می‌تواند اثر افزایش بر روی برخی پارامترهای نماتد شناختی داشته باشد (ناگی، ۲۰۰۹).

کادمیوم (Cd)

در مطالعات انجام شده توسط کورتالس (کورتالس و همکاران، ۱۹۹۶). غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و همچنین در مطالعه‌ای که در هلند صورت گرفته مقادیر ۰/۵ الی ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای سطوح غیرآلوده تا سطوح دارای آلودگی بالا به کادمیوم مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده این فلز سنگین اثر حاد سمی بر روی فاکتورهایی مانند فراوانی نماتد، درصد نماتدهای همه چیز خوار و شکارگر و شاخص بلوغ در اجتماع نماتدها، حتی در خاکهای شنی با pH پایین که اثر کادمیوم بیش از حد انتظار است، نداشت. در مطالعه دیگری در غلظت ۱۹۰ mg/kg هیچ تغییر قابل مشاهده‌ای در پارامترهای جمعیتی ملاحظه نگردید و فقط ضریب بلوغ کاهش یافت. در تحقیق مشابه‌ای که توسط ناگی و همکاران (۲۰۰۴) تأثیرات وابسته به غلظت کادمیوم مورد بررسی

مصرف گردیده بود تقلیل پیدا کرد (کورتالس و همکاران، ۱۹۹۶). بنابراین هر چند در این آزمایش‌ها همبستگی بالایی بین افزایش میزان مس و کاهش جمعیت نماتدها در خاک به اثبات رسید اما پیش بینی غلظت‌های مختلف مس موجود در خاک از روی جمعیت‌های نماتدهای موجود در خاک بدلیل سطح پایین دقت و صحت پیش بینی، نتایج قابل قبولی را به دنبال نخواهد داشت (اکشیت و کورتالس، ۲۰۰۹). در مجموع این گونه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اثرات مس بر روی اجتماع نماتدهای موجود در خاک کاملاً متغیر است. در غلظت‌های پایین مس که برای نماتدها مضر نیست یکسری واکنش‌های متصل به هم در برخی گروه‌ها قابل ردیابی است؛ برای مثال انواع مختلف گروه‌های تغذیه‌ای نماتدها به سطح متوسطی از مس به طرق مختلف واکنش نشان می‌دهند بدین ترتیب که نماتدهای شکارگر و همه‌چیزخوار به شدت کاهش پیدا می‌کنند؛ در صورتی که نماتدهای گیاهی فقط در برخی موارد کاهش می‌یابند. این در حالی است که نماتدهای قارچ خوار اغلب در این سطح از غلظت مس افزایش می‌یابند. این یافته‌ها اهمیت شبکه غذایی در بررسی اثرات فلزات سنگین از جمله مس بر روی نماتدها را نشان می‌دهد (ناگی، ۲۰۰۹).

نیکل (Ni)

در بررسی‌های انجام شده غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل می‌تواند اثرات سمی حاد و مضر روی نماتدها داشته باشد و با افزایش نیکل از میزان مذکور به صورت مرحله به مرحله باعث کاهش معنی‌داری روی پارامترهایی از جمله فراوانی کل نماتد، انتشار گروه‌های تغذیه‌ای (بخصوص کاهش در نماتدهای همه‌چیزخوار و شکارگر) و شاخص بلوغ نماتدها می‌گردد. جنس‌های *Acrobeles*، *Prismatolaimus*، *Clarkus*، *Plectus* حساس‌ترین جنس‌ها به آلودگی ناشی از نیکل هستند (کورتالس و همکاران، ۱۹۹۶). برخلاف نتایج فوق، ناگی (۱۹۹۹) هرگونه اثر مضر غلظت‌های بالای نیکل بر روی

¹ Genus richness

همبستگی وجود نداشته، اما با افزایش میزان سرب برخی پارامترهای مرتبط با نماتدها از جمله غنای تاکسونی^۱ و تنوع و توده بدنی نماتدها، کاهش یافته و همچنین مشخص گردیده که اعضای زیر راسته *Dorylamina* بیشترین حساسیت را به آلودگی سرب دارند؛ به طوری که غلظت های ۲۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم و ۳۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب باعث کاهش قابل توجه تعداد نماتدهای دوریلیمید گردید (زولینی و پرتی، ۱۹۸۶).

کروم (Cr)

اکثر نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در مورد اثر کروم نشان دهنده اثر کروم بر اجتماع نماتدها می باشد. یکی از برجسته ترین نتایج حاصل از مطالعات، افزایش در نسبت شکارگرها با افزایش آلودگی به کروم است که این با اطلاعات موجود مبنی بر حساسیت نماتدهای شکارگر به فلزات سنگین در تضاد است. در مطالعه مذکور جنس *Mononchus* (نماتدهای شکارگر) نسبت به افزایش سطوح غلظت کروم متحمل و جمعیت نسبی آن با افزایش سطح آلودگی به کروم افزایش می یابد (ناگی، ۲۰۰۹). در نتایج حاصل از مطالعات ناگی (۱۹۹۹) اثرات مضر کروم بر جمعیت نماتدها به خوبی نشان داده شده است. به طوری که کروم باعث کاهش فراوانی نماتدها، غنای تاکسونی و شاخص بلوغ گردیده است. تاکسون هایی مانند جنس های *Aprocelaimellus*، *Pratylenchus* و *Heterocephalobus Ecumericus* کاهش و جنس های *Prismatolaimus*، *Eudorylaimus* و *Tylenchorhynchus* ناپدید شدند. در صورتی که برخی جنس ها مانند *Acrobeloides*، *Helicotylenchus* و *Paraphelenchus* در کرت هایی که حاوی سطح کروم قابل دسترس ۱/۴ mg/kg بودند افزایش یافتند. همچنین در مطالعات تکمیلی توسط ناگی و همکاران (۲۰۰۴) مشخص گردید که کروم دارای اثر منفی وابسته به دُز بر روی پارامترهایی از جمله فراوانی،

قرار گرفته، فاکتورهای نماتد شناختی در سطوح غلظت- های ۱۹۰-۲۶ mg/kg تأثیری روی بیشتر فاکتورهای مذکور نداشتند؛ اما در این مطالعات نماتدهای قارچ خوار و بیشتر تاکسون های مربوط به نماتدهای همه چیزخوار و شکارگر به طور معنی داری افزایش و نسبت به نماتدهای باکتری خوار و انگل گیاهی به طور معنی داری کاهش یافت. در نتیجه اجتماع نماتدها می تواند به عنوان موجودات غیر حساس به آلودگی های کادمیوم مطرح باشند که این مسئله با دانستنیهای ما در مورد حساسیت اکثر جانوران بی مهره موجود در خاک تضاد آشکار دارد (کامنگا و همکاران، ۲۰۰۱).

سرب (Pb)

اطلاعات کمی پیرامون تأثیر سرب بر نماتدهای خاکزی وجود دارد. ناگی (۱۹۹۹) نشان داد که غلظت ۱۸۸ mg/kg سرب نسبت به شاهد فاقد اثرات زیان آور بر نماتدهاست؛ یعنی این غلظت سرب تأثیری بر فراوانی کل نماتدها، غنای تاکسونی، شاخص بلوغ و انتشار گروه های مختلف تغذیه ای نداشت و این در صورتی است که این میزان سرب از غلظت های بالا و مضر سرب به شمار می آید؛ اما در مطالعه دیگری (سانچز مورنو و ناواس، ۲۰۰۷)، سرب همبستگی منفی با برخی فاکتورها از جمله غنای تاکسونی و شاخص بلوغ داشته که البته این مطالعه در منطقه ای صورت پذیرفته که آلودگی خاک به سرب به طور قابل توجهی بیشتر از غلظت استفاده شده در مطالعه قبلی بوده است؛ بنابراین این یافته ها نشان می دهد که احتمال سمی بودن سرب برای اجتماع نماتدهای خاکزی وجود دارد و این سمیت فقط در غلظت های بالا رخ می دهد و علاوه بر اینکه سمیت آن به نوع خاک ارتباط دارد، با توجه به داده های محدود موجود نمی توان اثر سمیت آن بر نماتدها را قاطعانه مطرح نمود (ناگی، ۲۰۰۹). در تحقیقاتی که پیرامون تأثیر آلودگی سرب بر نماتدهای مقیم خزه انجام شده مشخص گردیده که علی رغم اینکه بین میزان آلودگی به سرب و فراوانی این نماتدها

¹ Taxon richness

سایر آزمایش‌های مشابه نشان دهنده کاهش شدید نماتدهای انگل گیاهی و قارچ خوار (در برخی موارد) و حذف کامل نماتدهای همه چیز خوار و شکارگر می‌باشد و این در حالی است که نسبت جمعیت نماتدهای باکتری خوار در سطوح بالای آلودگی سلنیوم افزایش یافته است (ناگی، ۲۰۰۹).

شاخص‌های مربوط به جامعه نماتدها چنانچه جنس‌هایی را که باعث ابهام در پیشگویی می‌شوند را حذف و بر روی جنس‌های شناخته شده که قابلیت بروز واکنش به یک محرک مداخله‌گر در محیط خاک را داشته باشند متمرکز گردد، هم قابلیت پیشگویی خوبی دارند و هم از لحاظ اقتصادی با صرفه‌تر هستند. در بررسی‌های انجام شده توسط ژائو و نهر (۲۰۱۲) با بررسی میزان همبستگی بین افزایش غلظت فلزات سنگین و جمعیت جنس‌های مختلف نماتد از گروه‌های مختلف تغذیه‌ای، جنس‌هایی را که همبستگی مثبت بالا و یا همبستگی منفی بالا با افزایش غلظت فلزات سنگین داشتند را تعیین و جنس‌هایی از گروه‌های مختلف تغذیه‌ای را برای این منظور بعنوان شاخص‌های تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین معرفی کردند؛ بعنوان مثال بین افزایش غلظت کادمیوم و افزایش جمعیت نماتدهای باکتری خوار مانند گونه‌های *Diploscapter* و *Eucephalobus* و *Prismatolaimus* و از گروه نماتدهای انگل گیاهی جمعیت *Meloidogyne* و *Paratylenchus* همبستگی مثبت و بالایی وجود داشت؛ اما در مورد نماتد باکتری خوار *Heterocephalobus* همبستگی منفی بالایی وجود داشت؛ بنابراین این جنس‌ها بعنوان شاخص‌های اختصاصی جهت جلوگیری از واکنش‌های مبهم سایر جنس‌ها معرفی شده‌اند. سایر جنس‌های شاخص نیز بر اساس میزان همبستگی بین جمعیت آنها (چه مثبت و چه منفی) و غلظت فلز سنگین مربوطه تعیین شدند (جدول ۱).

غناى تاکسونى و شاخص بلوغ نماتدها دارد. همچنین مشخص گردید که گسترش گروه‌های تغذیه‌ای و عادت تغذیه‌ای نماتدهای موجود در خاک با افزایش میزان آلودگی کروم، به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌گیرد به طوری که تیمارهای دارای آلودگی بالا به کروم، نسبت حساس‌ترین شکارگرها و همه‌چیزخواران به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بنابراین در یک نتیجه‌گیری کلی اجتماع نماتدها نسبت به آلودگی کروم یک سلسله واکنش‌های مبتنی بر حساسیت به کروم نشان می‌دهند. نماتدها دوریلیمید از گروه *k - strategist* از جمله نماتدهای حساس به کروم هستند. بدلیل تفاوت در سمیت دو شکل یونی کروم (*Cr III*) و شکل سمی‌تر آن (*Cr VI*)، ارزیابی‌های مرتبط با اثرات این فلز سنگین را با مشکل روبرو می‌کند. به طور کلی یافته‌ها حاکی از حساسیت پارامترهای جمعیتی نماتدها نسبت به آلودگی کروم بوده و تغییرات در چنین پارامترهایی می‌تواند به عنوان علائم هشدار دهنده اولیه آلودگی سیستم‌های خاکی به کروم مورد بهره‌برداری قرار گیرند (ناگی و همکاران، ۲۰۰۴).

سلنیوم (Se)

سلنیوم یک میکرو المنت یا ریز عنصر غیر فلزی محسوب می‌گردد که اطلاعات کمی پیرامون اثر آن بر نماتدها در دسترس می‌باشد. ناگی (۱۹۹۹) یک تأثیر منفی شدید سلنیوم قابل دسترس در غلظت 36 mg/kg را در فراوانی کل نماتدها و غناى تاکسونى گزارش کرد. در بررسی دیگری که با شیب غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۹۰ و ۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سلنیوم صورت پذیرفته (ناگی و همکاران، ۲۰۰۴)، تراکم نماتدها به طور معنی‌داری در سطوح سوم و چهارم آلودگی کاهش یافته و غناى تاکسونى کاهش مداومی را در سطوح سوم و چهارم آلودگی نشان داده است. همچنین نتایج این آزمایش و

جدول ۱- واکنش جنس‌های مختلف نماتد به کاربرد فلزات سنگین از طریق بررسی میزان و جهت همبستگی بین غلظت فلزات سنگین و جمعیت جنس‌ها و گروه‌های تغذیه‌ای نماتد

آلودگی به فلزات سنگین		گروه‌های تغذیه‌ای و گروه‌های cp		جنس نماتد			
کادمیوم	کروم	مس	نیکل	رو	سلیوم		
					--	Ba2	<i>Acrobeles</i>
					++	Ba2	<i>Acrobeloides</i>
		++				Fu2	<i>Aphelenchoides</i>
	--			++		Pr5	<i>Aporcelaimellus</i>
			--			Ba2	<i>Cephalobus</i>
++						Ba1	<i>Diploscapter</i>
					--	Pr5	<i>Discolaimium</i>
					--	Pr5	<i>Discolaimus</i>
					--	Om4	<i>Ecumenicus</i>
++						Ba2	<i>Eucephalobus</i>
					--	Om4	<i>Eudorylaimus</i>
				++		Fu2	<i>Filenchus</i>
--						Ba2	<i>Heterocephalobus</i>
				++		Pl2	<i>Malenchus</i>
++						Pl3	<i>Meloidogyne</i>
++						Pl3	<i>Paratylenchus</i>
				++		Pl3	<i>Pratylenchus</i>
++						Ba3	<i>Prismatolaimus</i>
		++				Pr3	<i>Seinura</i>
				++		Pl3	<i>Tylenchorhynchus</i>

(--): شاخص خوب نشان دهنده همبستگی منفی بالا بین غلظت آلودگی به فلزات سنگین و جمعیت آن جنس. (++) شاخص خوب نشان دهنده همبستگی مثبت بالا بین غلظت آلودگی به فلزات سنگین و جمعیت آن جنس. گروه‌های تغذیه‌ای نماتدها (Ba): باکتری خوار، Fu: قارچ خوار، Pr: شکارگر، Om: همه چیز خوار، Pl: نماتدهای انگل گیاهی) و اعداد جلوی گروه‌های تغذیه‌ای نشان دهنده گروه‌های cp (یک الی پنج)

نتیجه‌گیری

در نظر گرفته نمی‌شود (ناگی، ۲۰۰۹)؛ اما نتایج تحقیقات جدید (ژائو و نهر، ۲۰۱۲) بر مبنای میزان همبستگی بین افزایش غلظت فلزات سنگین و کاهش یا افزایش جمعیت جنس‌های خاصی از نماتدها، توانسته با معرفی برخی جنس‌های نماتد بعنوان شاخص‌های اختصاصی، راهکاری عملی، هدفمند و با صرفه در جهت استفاده از نماتدها در پایش آلودگی‌های خاک به فلزات سنگین را فراهم آورده و بر محدودیت‌های کاربرد نماتدها در مطالعات قبلی فایز آید.

همچنین استفاده از شاخص‌های اختصاصی تجزیه و تحلیل جوامع نماتدی مانند شاخص بلوغ باعث افزایش کارایی استفاده از نماتدها به عنوان نشانگرهای زیستی می‌گردد. در این راستا آموزش و بهره‌گیری از افراد ماهر به منظور شناسایی نماتدها با استفاده از خصوصیات

همان گونه که در یافته‌ها و بحث‌های ذکر شده ملاحظه گردید، تعمیم دادن اثرات مشاهده شده آلودگی-های ناشی از فلزات سنگین بر روی اجتماع نماتدها، با محدودیت‌هایی روبرو است؛ چرا که نوع اکوسیستم، مقیاس مکانی و همچنین خصوصیات منطقه‌ای از جمله pH، پوشش گیاهی و وجود فون نماتدهایی که از قبل در خاک حضور دارند می‌تواند تجزیه و تحلیل نتایج این گونه اطلاعات را تحت تأثیر قرار دهد. از طرفی براساس معیارهای موجود تمایز بین سطح غلظت‌هایی که باعث مسمویت حاد می‌گردد و حداقل غلظت‌های قابل تحمل دشوار است. بیشتر استانداردهای موجود مربوط به سطوح غلظت کل آلودگی‌ها در خاک است در صورتی که معیار قابل دسترس بودن (که نشان‌دهنده ارتباط بیشتری است)

ریخت شناسی و همچنین انجام آنالیزهای جمعیتی ضروری می‌باشد.

رهیافت ترویجی

با توجه به بالا بودن هزینه‌های اندازه‌گیری و پایش خاکهای آلوده به فلزات سنگین مخصوصاً در مقیاس وسیع در روش‌های مرسوم به دلیل نیاز به تجهیزات و مواد آزمایشگاهی گران قیمت، انتخاب یک روش زیستی مانند استفاده از نماتدها بعنوان نشانگرهای زیستی جهت شناسایی اولیه احتمال آلودگی خاکها به فلزات سنگین و یا در تلفیق با روش‌های فیزیکی شیمیایی می‌تواند در پایش آلودگی‌های خاک به فلزات سنگین در مقیاس وسیع کمک شایانی نماید. از بین موجودات موجود در خاک، نماتدها بعنوان یکی از بهترین موجودات جهت تعیین وضعیت خاک و به عنوان نشانگر زیستی خاک مطرح می‌باشند که این مهم از طریق تحلیل اجتماع نماتدها و شاخص‌های مرتبط با تغذیه و تولید مثل آنها به دلایل خصوصیات منحصر بفردی که دارند انجام می‌پذیرد. با توجه به کاربردهای عملی و تجربه‌های تجاری در زمینه شناسایی و تشخیص آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از ترکیبات شیمیایی از قبیل آفت کش‌ها در زیست بوم‌های آبی از طریق تحلیل اجتماع نماتدها و شاخص‌های مربوط به آنها در برخی کشورها، توسعه و تکامل تحقیقات در این زمینه با استفاده از نتایج تحقیقات جدید از جمله استفاده از جنس‌های اختصاصی نماتدها با رفع محدودیت‌ها قبلی

می‌تواند زمینه ساز استفاده از نماتدها در شناسایی خاکهای آلوده به فلزات سنگین بعنوان یک روش زیستی و اقتصادی در ابعاد تجاری و مقیاس وسیع باشد. در این راستا با استفاده از نتایج تحقیقات صورت گرفته در سایر کشورها و تجارب موجود در این زمینه، انجام تحقیقات مشابه متناسب با زیست بوم مناطق مختلف ایران می‌تواند به استفاده عملی از تحلیل اجتماع نماتدها از جمله شاخص‌های جمعیتی و تولیدمثلی، در پایش آلودگی‌های خاک به فلزات سنگین بیانجامد. موضوع این مقاله می‌تواند بعنوان یک ایده توسط دانشجویان و اساتید دانشگاهی و مراکز تحقیقاتی در قالب شرکت‌های دانش بنیان پیگیری و عملیاتی گردد و ضمن ایجاد انگیزه باب جدیدی را در خصوص همکاری بین محققین و صاحب نظران علوم خاک و آب، نماتدشناسی و محیط زیست باز نماید. علاوه بر اینکه این روش می‌تواند بعنوان یک راهکار تکمیلی در کنار سایر روش‌های مرسوم پایش آلودگی خاک به فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرد، در جهت راستی آزمایشی نتایج حاصل از روش‌های مرسوم نیز می‌تواند مورد بهره برداری قرار گیرد. بدیهی است بهبود و توسعه راهکارهای جدید در شناسایی خاکهای آلوده می‌تواند زمینه ساز اقدامات لازم و به موقع در جهت رفع یا کاهش آلودگی‌های خاک به فلزات سنگین به طرق مختلف از جمله گیاه پالایی باشد که این مهم می‌تواند متضمن سلامت محیط زیست، محصولات کشاورزی و به تبع آن سلامت جامعه باشد.

فهرست منابع

۱. حمیدیان، ا.ح. و یحیی آبادی، م. ۱۳۹۴. کاربرد نشانگرهای زیستی در پایش اکوسیستم خاک (با تاکید بر کرم‌های خاکی). نشریه مدیریت اراضی. جلد ۳. شماره ۲.
۲. محمد شفیع، م.ر. و محمد شفیع، ا.ح. ۱۳۹۵. فلزات سنگین، منابع و اثرات آن بر انسان. کنفرانس بین المللی معماری، شهرسازی، مهندسی شهری، هنر و محیط زیست. تهران، ایران.
3. Bongers, T. 1990. The maturity index: An ecological measure of an environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83: 14–19.
4. Bongers, T., and Ferris, H. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Tree*. 14 (6): 224-228.

5. Bongers, T., and Korthals, G. 1995. The behavior of MI and PPI under enriched conditions. *Nematologica*. 41 (3): 286.
6. Bongers, T., Van der Meulen, H., and Korthals, G. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*. 6: 195–199.
7. Ekschmitt, K., and Korthals, G.W. 2009. Molecular Markers, Indicator Taxa, and Community Indices: the Issue of Bioindication Accuracy. p. 94–106. In: M.J Wilson, and T Kakouli-Duarte, (ed.) *Nematodes as environmental indicators*. Wallingford, U.K: CAB.
8. Ferris, H., and Bongers, T. 2006. Nematode indicators of organic enrichment. *Journal of Nematology*. 38(1): 3–12.
9. Ferris, H., and Bongers, T. 2009. Indices developed specifically for analysis of nematode assemblages. p. 124–145 In: M.J Wilson, and T Kakouli-Duarte, (ed.) *Nematodes as environmental indicators*. Wallingford, U.K: CAB.
10. Georgieva, S.S., McGrath, S.P., Hooper, D.J., and Chambers, B.S. 2002. Nematode communities under stress: the long-term effects of heavy metals in soil treated with sewage sludge. *Applied Soil Ecology*. 20: 27–42.
11. Ingham, R.E., Trofymow, J.A., Ingham, E.R., and Coleman, D.C. 1985. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs*. 55: 119–140.
12. Kammenga, J.E., Van Gestel, C.A.M., and Hornung, E. 2001. Switching life-history sensitivities to stress in soil invertebrates. *Ecological Applications*. 11: 226–238.
13. Korthals, G.W., Van der Ende, A., Van Megen, H., Lexmond, T.M., Kammenga, J.E. and Bongers, T. 1996. Short-term effects of cadmium, copper, nickel and zinc on soil nematodes from different feeding and life-history strategy groups. *Applied Soil Ecology*. 4: 107–117.
14. Nagy, P. 1999. Effects of an artificial metal pollution on nematode assemblage of a calcareous loamy chernozem soil. *Plant and Soil*. 212: 35–47.
15. Nagy, P., Bakonyi, G., Bongers, T., Kadar, I., Fabian, M., and Kiss, I. 2004. Effects of microelements on soil nematode assemblages seven years after contaminating an agricultural field. *Science of the Total Environment*. 320: 131–143.
16. Nagy, P. 2009. Case Studies Using Nematode Assemblage Analysis in Terrestrial Habitats. p. 172–178 In: M.J Wilson, and T Kakouli-Duarte, (ed.) *Nematodes as environmental indicators*. Wallingford, U.K: CAB.
17. Neher, D.A., and Darby, B.J. 2009. General Community Indices that can be used for Analysis of Nematode Assemblages. . p. 107–123 In: M.J Wilson, and T Kakouli-Duarte, (ed.) *Nematodes as environmental indicators*. Wallingford, U.K: CAB.
18. Sanchez-Moreno, S., and Navas, A. 2007. Nematode diversity and food web condition in heavy metal polluted soils in a river basin in southern Spain. *European Journal of Soil Biology*. 43: 166–179.
19. Viglierchio, D.R. 1991. *The world of nematodes*. David R. Viglierchio, Davis, California.
20. Weiss, B., and Larink, O. 1991. Influence of sewage sludge and heavy metals on nematodes in an arable soil. *Biology and Fertility of Soils*. 12: 5–9.
21. Yeates, G.W., Percival, H.J., and Parshotam, A. 2003. Soil nematode responses to year-to-year variation of low levels of heavy metals. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 613–625.
22. Yeates, G.W., Ferris, H., Moens, T., and Van der Putten, W.H. 2009. The role of nematodes in ecosystems. . p. 1–44 In: M.J Wilson, and T Kakouli-Duarte, (ed.) *Nematodes as environmental indicators*. Wallingford, U.K: CAB.
23. Zhao, J., and Neher, D.A. 2012. Soil nematode genera that predict specific types of disturbance. *Applied Soil Ecology*. 64: 135– 141.
24. Zullini, A., and Peretti, E. 1986. Lead pollution and moss-inhabiting nematodes of an industrial area. *Water, Air and Soil Pollution*. 27: 403–410.