دانش بیماری‌شناسی گیاهی (شاپای ا: ۶۲۹۰-۲۵۸۸، شاپای چ: ۹۲۷۰-۲۲۵۱)
سال نهم، جلد ۲، بهار و تابستان ۱۳۹۹
Plant Pathology Science (eISSN:2588-6290, pISSN:2251-9270)
Vol. 9(2), 2020

Extensional Article

Assessment of the structure of the nematode community as an index for soil health

Farnaz Fekrat, Reza Ghaderi✉
Department of Plant Protection, Shiraz University, Shiraz, Iran
Received: 03.10.2020 Accepted: 08.30.2020
Fekrat F, Ghaderi R (2020) Assessment of the structure of the nematode community as an index for soil health. Plant Pathology Science 9(2):129-136. DOI: 10.2982/PPS.9.2.129.

Abstract

By studying the structure of the nematode community, healthy and unhealthy soils can be identified in terms of biodiversity and nutrient network. This information is useful for managing soil nutrient networks. The study of the nematode population structure as a biological indicator of soil health is based on the assessment of biodiversity indices, nutrition groups, population dynamics, soil nutrient network profile, biomass and metabolic profile. Practical applications for studying the structure of nematode populations in agricultural and natural ecosystems are described.

Key words: Feeding groups, Metabolic footprint, Soil food web profile

مقاله ترویجی

ارزیابی ساختار جامعه نماتدها به عنوان شاخصی برای سلامت خاک

فرناز فکرت، رضا قادری✉
گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز
دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۹
فکرت ف، قادری ر (۱۳۹۹) ارزیابی ساختار جامعه نماتدها به عنوان شاخصی برای سلامت خاک. دانش بیماری‌شناسی گیاهی ۹(۲): ۱۳۶-۱۲۹. DOI:10.2982/PPS.9.2.129.

چکیده

مطالعه ساختار جامعه نماتدها می‌تواند خاک‌های سالم و ناسالم را از نظر تنوع زیستی و شبکه غذایی مشخص کند و این اطلاعات برای مدیریت شبکه‌های غذایی خاک سودمند است. مطالعه ساختار جامعه نماتدها به عنوان شاخص زیستی سلامت خاک براساس ارزیابی شاخص‌های تنوع زیستی، گروه‌های تغذیه، دینامیک جمعیت، پروفیل شبکه غذایی خاک، زیست‌توده و نگاره متابولیک است. کاربردهای عملی مطالعه ساختار جامعه نماتدها در زیست‌بوم‌های کشاورزی و طبیعی شرح داده شده است.

واژگان کلیدی: پروفیل شبکه غذایی خاک، گروه‌های تغذیه، نگاره متابولیک

✉ Corresponding author: rghaderi@shirazu.ac.ir

مقدمه

دخالت بشر در محیط زیست و انواع مشکلات ناشی از آن، در دراز مدت بر سلامت خاک اثر گذاشته است. ارزیابی این تغییرات گاه توسط اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی امکان‌پذیر نیست بلکه لازم است از شاخص‌های زیستی استفاده کرد. شاخص‌های زیستی (شناساگرهای زیستی)، موجودات زنده‌ای هستند که به سرعت تحت تأثیر تغییرات قرار گرفته و وضعیت سلامت یک زیست‌بوم را نشان می‌دهند (Angst et al. 2017, Tolfa et al. 2017). آن‌ها یک یا گروهی از گونه‌های موجودات زنده هستند که عملکرد، فراوانی، تنوع یا وضعیت فیزیولوژیکی‌شان بیانگر شرایط زیست‌بوم است (Karr 1981). در اواخر قرن بیستم، نقش نماتدها در تبادل‌های زیستی درون خاک مورد توجه قرار گرفت (Bongers 1990, Yeates et al. 1993, Bongers and Bongers 1998). فراوانی و حضور همه‌جایی نماتدها آن‌ها را به بزرگ‌ترین نشانگرهای پایش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل کرده است (Yeates et al. 2009). نماتدها به دلیل داشتن راهبردهای تولیدمثل محافظه‌کارانه، به صورت ذاتی جمعیت پایداری دارند، بنابراین تغییرات مشاهده شده در ساختار جامعه نماتدها (Nematode community structure) را تا حد زیادی می‌توان به اثرهای تغییر شرایط محیطی نسبت داد (Trett et al. 2009). نماتدها قادر به دور شدن از شرایط تنش نیستند و به دلیل داشتن کوتیکول نفوذپذیر و تماس نزدیک با آب درون خاک، سریع‌تر از بقیه موجودات در معرض آلاینده‌های محیطی قرار می‌گیرند. گروه‌های مختلف نماتدها به اختلال‌ها و دست‌ورزی محیط زیست پاسخ‌هایی متفاوت نشان می‌دهند (Bongers and Ferris 1999). نماتدها عادت‌های تغذیه‌ای متفاوتی دارند که به آسانی از روی تغییرات دستگاه گوارش آن‌ها قابل تشخیص است (Ferris and Bongers 2009, Yeates et al. 2009).

کاربرد نماتدها برای محاسبه شاخص‌های تنوع زیست‌بوم

برای توصیف ساختار جوامع نماتدها از شاخص‌های تنوع آرایه‌های نماتد (گونه، جنس یا خانواده) استفاده می‌شود. مهم‌ترین آن‌ها شاخص‌های غنای گونه‌ای (Species richness)، تنوع گونه‌ای (Species diversity) و یکنواختی گونه‌ها (Species evenness) هستند، اما شاخص‌های متعدد دیگری نیز برای محاسبه تنوع نماتدها در یک زیست‌بوم ارائه شده است (Neher and Darby 2009, Ferris 2012).

کاربرد نماتدها برای برآورد شاخص‌های عملکرد زیست‌بوم

شاخص‌های تنوع ناهمگونی موجودات زنده در یک زیست‌بوم را نشان می‌دهند، اما اطلاعاتی درباره عملکرد (Function) و خدمات (Services) یک زیست‌بوم ارائه نمی‌دهند. نخستین شاخص‌های عملکرد

زیست‌بوم بر اساس عادت‌های مختلف تغذیه در نماتدها تعیین گردید (Yeates et al. 1993). پس از آن راهبردهای دینامیک جمعیت، یعنی گروه‌های c-p (Colonizer-persister) مورد توجه قرار گرفت (Bongers and Bongers 1998). کولونیزرها (گونه‌های فرصت‌طلب، با استراتژی r) چرخه زندگی کوتاه و باروری بالا داشته در واکنش به تغییرات منابع یا محیط نوسان جمعیتی زیادی نشان می‌دهند، اما پرسیسترها (گونه‌های دارای قدرت رقابت، با استراتژی K) چرخه زندگی طولانی‌تر و باروری کمتر داشته جمعیت‌شان را در سطح نسبتاً ثابت حفظ می‌کنند. هر خانواده از نماتدها، در چارچوب مقیاس r-k در یکی از پنج گروه c-p قرار می‌گیرد که با افزایش درجه، حساسیت نماتد به تغییر شرایط محیطی بیشتر می‌شود (Bongers 1990, Bongers and Bongers 1998, Ferris and Bongers 2009). تلفیق عادت‌های تغذیه نماتد با گروه‌های c-p منجر به ارائه گروه‌های کارکردی (functional guilds) گردید و سپس شاخص‌های گروه MI (maturity index family) اطلاعات جامع‌تری درباره عملکرد زیست‌بوم‌ها ارائه دادند (Bongers and Bongers 1998, Ferris et al. 2001, Ferris and Bongers 2009, Ferris 2012).

شاخص کم MI (جمعیت تمام نماتدها به غیر از نماتدهای انگل گیاهی) بیانگر محیط برهم خورده (مثل عملیات خاک‌ورزی) و یا غنی شده (مثل اضافه شدن نهاده‌های کشاورزی از قبیل کود و سم) است و مقادیر زیاد آن بیانگر پایداری زیست‌بوم و محیط دست نخورده است. شاخص PPI (plant parasitic index) مشابه MI بوده ولی فقط برای نماتدهای انگل گیاهی قابل محاسبه است. با این استدلال که فراوانی آن‌ها با سلامت گیاهان میزبان‌شان مرتبط است و آن نیز به میزان غنی‌سازی زیست‌بوم (میزان نهاده‌های کشاورزی از قبیل کود و سم‌های شیمیایی یا حیوانی) وابسته است. شاخص PPI/MI شاخصی حساس برای تعیین میزان غنی‌سازی زیست‌بوم‌های کشاورزی محسوب می‌شود. شاخص MI2-5 شبیه MI است، با این تفاوت که گونه‌های فرصت‌طلب سری یک (c-p1) که عمدتاً شامل نماتدهای باکتری خوار زیرراسته Rhabditina هستند، حذف می‌شوند. شاخص ΣMI شاخص دیگری از خانواده MI برای تمام نماتدهای سیستم، شامل انگل‌های گیاهی، بر اساس این ادعا است که کل جامعه اطلاعات کاملی با توجه به برهم‌خوردگی و شرایط محیطی فراهم می‌نماید. اگر یک زیست‌بوم خاک نهاده غذایی دریافت دارد، نماتدهای فرصت‌طلب باکتری‌خوار و قارچ‌خوار بسیار سریع نسبت به افزایش منابع مربوطه واکنش نشان می‌دهند. نماتدهای انگل گیاهی در یک دوره کوتاه واکنش نشان نمی‌دهند ولی بعد در نتیجه بالا رفتن سلامت گیاه، جمعیّت‌شان افزایش می‌یابد (Bongers and Bongers 1998, Ferris and Bongers 2009, Ferris 2012).

شاخص‌های تکمیلی عملکرد زیست‌بوم

فریس و همکاران (Ferris et al. 2001, 2004) مفاهیم شاخص‌های عملکرد را با تعریف شاخص‌های دیگری از جمله شاخص غنی‌سازی (Enrichment index, EI)، شاخص ساختار (Structure index, SI)، شاخص پایه (Basal index, BI) و شاخص کانال (Chanel index, CI) اصلاح کردند تا بر اساس ساختار جامعه نماتدها دیدگاه جامع‌تری در زمینه عملکرد زیست‌بوم به دست آید. این محققان، نماتدهای فرصت‌طلب عمومی گروه c-p2 (فون پایه) را نماینده گروهی دانستند که با حضور دائم و مقاوم در اکثر شبکه‌های غذایی خاک، قادر به زنده ماندن حتی در بدترین شرایط هستند. دو محور از این حالت پایه نماتد بیرون می‌آید، یکی شاخص غنی‌سازی (EI) را تعریف می‌کند که حاکی از فراوانی وزنی نماتدهای باکتری‌خوار c-p1 و قارچ‌خوار c-p2 است و دیگری شاخص ساختار (SI) است که از نسبت وزنی نماتدهای گروه‌های c-p3-5 به گروه‌های c-p2-5 به دست می‌آید. شاخص پایه (BI)، نسبت وزنی نماتدهای c-p2 به کل نماتدهای موجود می‌باشد. وضوح بیشتر در مورد شاخص غنی‌سازی توسط شاخص کانال (CI) ارائه شده است که نشان دهنده جریان نسبی منابع در داخل شبکه غذایی از طریق مسیرهای تجزیه به واسطه قارچ‌ها و باکتری‌ها است (Ruess and Ferris 2004). فرمول‌های محاسبه این شاخص‌ها در برخی منابع (Ferris et al. 2001, Ferris and Bongers 2009, Ferris 2013) ارائه شده است و همچنین از طریق نرم‌افزار آنلاین NINJA و با بارگذاری فایل حاوی فهرست آرایه‌های نماتد قابل برآورد است (Sieriebriennikov et al. 2014).

پروفیل شبکه غذایی خاک

پروفیل شبکه غذایی خاک (Soil food web profile) به عنوان قالبی برای توسعه شاخص‌های فوق ارائه گردید (Ferris et al. 2001). این پروفیل بر دو محور اصلی یعنی شاخص غنی‌سازی (EI) و شاخص ساختار (SI) استوار است. بر اساس این شاخص‌ها هر زیست‌بوم در یکی از چهار قسمت پروفیل (Quadrat) قرار می‌گیرد. خاک‌های قسمت A دارای کانال تجزیه باکتریایی و شبکه غذایی برهم‌خورده با ترکیباتی با نسبت کربن به ازت پایین غنی‌شده‌اند. هستند خاک‌های قسمت B دارای شبکه غذایی در حال تکامل با ترکیبات حاوی مقادیر پایین کربن به ازت غنی شده‌اند و فرآیند تجزیه از کانال‌های باکتریایی صورت می‌گیرد. خاک‌های قسمت C دارای شبکه غذایی ساختاریافته هستند، نسبت کربن به ازت در آن‌ها متوسط تا بالا است و تجزیه توسط قارچ‌ها و باکتری‌ها و به صورت متعادل انجام می‌شود. خاک‌های قسمت D دارای شبکه غذایی تخریب شده هستند، از نظر عناصر غذایی فقیر هستند و تجزیه عمدتاً از طریق قارچ‌ها است (Ferris et al. 2001, 2004).

زیست‌توده و نگاره متابولیک نماتدها

در حالی که شاخص‌های تنوع و عملکرد، ابزارهای توصیفی مفیدی برای ارزیابی شبکه غذایی و شرایط زیست‌بوم هستند، اما اطلاعات کاملی در مورد میزان فعالیت شبکه غذایی زیست‌بوم ارائه نمی‌دهند. به عنوان مثال، جوامع مختلف با تعداد زیاد یا کم نماتد ممکن است دارای شاخص‌های تنوع، MI، غنی سازی و ساختار یکسان باشند. با ایجاد شاخص‌های ساختار و عملکرد شبکه غذایی و جمع‌آوری اطلاعات در مورد زیست‌شناسی و رفتار نماتدها، ارزش مطالعه زیست‌توده (Biomass) و متابولیسم در بوم‌شناسی بیشتر از پیش شده است. در حقیقت، برای عملکرد یک زیست بوم، فرآیندهای مختلف مانند برگشت غذا، کربن، نیتروژن و فسفر به خاک توسط موجودات زنده درون خاک (از جمله نماتدها)، ضروری هستند که هر کدام در جذب کربن در شبکه غذایی و جریان انرژی درون خاک سهمی دارند، لذا کربن و انرژی منابعی هستند که اندازه و فعالیت شبکه غذایی را تعیین می‌کنند. جهت تعیین سهم نماتدها در این مقوله می‌توان از داده‌های ریخت‌سنجی نماتدها، شاخص‌های بسیار مفیدی همچون زیست‌توده و میزان کربن مصرفی توسط نماتدها را محاسبه نمود (Ferris 2010, Van den Hoogen et al. 2019). نگاره متابولیک (Metabolic footprint) ابزار ارزشمندی است که اطلاعات بیشتری را درباره کیفیت خاک و عملکرد یک زیست‌بوم ارائه می‌دهد (Ferris 2010). هر نگاره متابولیک یک محور تولید (production component) و یک محور تنفس (Respiration component) دارد. محور تولید بیانگر میزان کربن مصرف شده طی فرآیند رشد و تولید تخم است و با اندازه نماتد همبستگی مثبت دارد. محور تنفس میزان کربن مصرفی در فعالیت متابولیکی نماتد را برآورد می‌کند (Ferris 2010, 2013). لذا نگاره متابولیک، محاسبه مجموع اجزای تولید و تنفس برای آرایه‌های نماتدی است. نگاره متابولیک غنی‌سازی (Enrichment footprint) مرتبط به آن دسته از نماتدهایی است که بیشترین سرعت پاسخ‌گویی به غنی‌سازی زیست‌بوم را دارند در حالی که نگاره متابولیک ساختاری (structure footprint) مربوط به سطوح بالای تغذیه‌ای نماتدهاست که نقش تنظیمی در شبکه غذایی دارند. برای تعیین نگاره عملکردی (Functional footprint) یک زیست‌بوم، بایستی نگاره متابولیک غنی‌سازی و ساختاری نماتد را در یک محیط محاسبه کرد.

کاربردهای عملی مطالعه ساختار جامعه نماتدها

اغلب اقدام‌های کشاورزان که سعی در بهبود عملکرد محصول دارند به طور ناخواسته در دراز مدت منجر به کاهش فواید و خدمات یک زیست‌بوم کشاورزی می‌گردد (Ferris 2010). هنگامی که خاک یک زیست‌بوم کشاورزی با زیست‌بوم طبیعی مجاور مقایسه می‌شود، مشخص می‌گردد که دخالت بشر در زیست‌بوم خاک می‌تواند به شدت بر فراوانی و تنوع جامعه نماتدها در خاک اثر بگذارد (Sánchez-

Moreno and Navas 2007). یکی از شایع‌ترین اثرهای تخریبی در زیست بوم‌های کشاورزی، کشت مکرر در خاک است (McSorley et al. 2008). میزان تنوع زیستی با کشت زمین، اضافه کردن مقادیر بالای آفت‌کش‌ها و کودها، انجام عملیات خاک‌ورزی، جمع‌آوری بقایای گیاهی، اسیدی شدن خاک و آلودگی به عناصر سنگین کاهش می‌یابد (Neher 2001, Navas et al. 2010). قرار دادن نماتدها در گروه‌های c-p برای پیش‌بینی حساسیت آرایه‌ها به عوامل تنش‌زا مفید است. به عنوان مثال زنده‌مانی گروه‌های c-p بالا در خاک در اثر کاربرد ترکیبات شیمیایی از جمله کودهای شیمیایی نیتروژنه (Sohlenius 1990, Yeates 1997, Zhang et al. 2019) کاهش می‌یابد. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که حتی گرم شدن آب و هوا و در نتیجه خشکی لایه‌های خاک، جامعه نماتدهای خاک را در یک زیست‌گاه تغییر می‌دهد (Ma et al. 2018).

نتیجه‌گیری

استفاده از نماتدها در نقش شاخص‌های زیستی، با ادغام طبقه‌بندی رفتارهای تغذیه‌ای نماتدها با ویژگی های زیستی، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است و به نظر می‌رسد با پیشرفت روش‌های مولکولی و قدرتمندتر شدن رهیافت‌های آماری، ارزیابی ساختار جمعیت نماتدها نقش پررنگ‌تری را به عنوان شاخص‌های زیستی در خاکهای مختلف دارد . در حال حاضر با مطالعه ساختار جامعه نماتدها می‌توان خاک‌های سالم و ناسالم را از نظر تنوع زیستی و شبکه غذایی تشخیص داد و اثر اقدام‌های زراعی و تنش‌های مختلف را بر عملکرد یک زیست‌بوم برآورد نمود و در نهایت از این اطلاعات در راستای مدیریت شبکه‌های غذایی خاک بهره جست.

منابع References

1. Angst S, Mueller CW, Cajtham T, Angst G, Lhotáková Z, Bartuška M, Špaldoňová A, Frouz J (2017) Stabilization of soil organic matter by earthworms is connected with physical protection rather than with chemical changes of organic matter. Geoderma 289:29–35.
2. Bongers T, Bongers M (1998) Functional diversity of nematodes. Applied Soil Ecology 10:239–251
3. Bongers T, Ferris H (1999) Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. Trends in Ecology and Evolution 14:224–228.
4. Bongers T (1990) The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia 83:14–19.
5. Ferris H, Bongers T (2009) Indices Developed Specifically for Analysis of Nematode Assemblages. Pp. 124-145. In: MJ Wilson, T Kakouli-Duarte (Eds.). Nematodes as Environmental Indicators. CABI Publishing, England.

6. Ferris H (2010) Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web. European Journal of Soil Biology 46:97–104.
7. Ferris H (2012) Nematodes as Bio indicators. Pp. 677-698. In: RH Manzanilla-López, N Marbán-Mendoza (Eds.). Practical Plant Nematology. Biblioteca Básica de Agricultura Publication, Mexico.
8. Ferris H, Bongers T, de Goede RGM (2001) A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. Applied Soil Ecology 18:13–29.
9. Ferris H, Bongers, T, de Goede RGM (2004) Nematode Faunal Analyses to Assess Food Web Enrichment and Connectance. Pp.503–510. In: RC Cook, DJ Hunt (Eds.). Proceedings of the Fourth International Congress of Nematology, Tenerije, Spain, 8-13 June 2002, Nematology Monographs and Perspectives, Volume 2. Leiden, The Netherlands, Brill.
10. Hodda, M., Peters, L. and Traunspurger, W. (2009) Nematode Diversity in Terrestrial, Freshwater Aquatic and Marine Systems. Pp. 45-93. In: MJ Wilson, T Kakouli-Duarte (eds.). Nematodes as Environmental Indicators. CABI Publishing, England.
11. Karr JR (1981) Assessment of Biotic Integrity Using fish Communities. Fisheries 6:21-27.
12. Ma Q, Yu H, Liu X, Xu Z, Zhou G, Shi Y (2018) Climatic warming shifts the soil nematode community in a desert steppe. Climatic Change 150:243–258.
13. McSorley R, Wang KH, Church G (2008) Suppression of root-knot nematodes in natural and agricultural soils. Applied Soil Ecology 39:291–298.
14. Navas A, Flores-Romero P, Sánchez-Moreno S, Camargo JA, McGawley EC (2010) Effects of heavy metal soil pollution on nematode communities after the Aznalcóllar mining spill. Nematropica 40:13-30.
15. Neher DA, Darby BJ (2009) General Community Indices that can be used for Analysis of Nematode Assemblages. Pp.107-123. In: MJ Wilson, T Kakouli-Duarte (Eds.). Nematodes as Environmental Indicators. CABI Publishing, England.
16. Neher DA (2001) Role of nematodes in soil health and their use as indicators. Journal of Nematology 33:161.
17. Ruess L, Ferris H (2004) Decomposition Pathways and Successional Changes. Pp. 547–556. In: R Cook, DJ Hunt (Eds.). Proceedings of the Fourth International Congress of Nematology, Tenerije, Spain, 8-13 June 2002, Nematology Monographs and Perspectives, Volume 2. Leiden, The Netherlands, Brill.
18. Sánchez-Moreno S, 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. Sieriebriennikov B, Ferris H, de Goede RGM (2014) NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. European Journal of Soil Biology 61:90–93.

20. Sohlenius B (1990) Influence of cropping system and nitrogen input on soil fauna and microorganisms in a Swedish arable soil. Biology and Fertility of Soils 9:168-173.
21. Tolfa I, Velki M, Vukovic R, Ecimovic S, Katanic Z, Loncaric Z (2017) Effect of different forms of selenium on the plant–soil–earthworm system. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 180:1–10.
22. Trett MW, Urbano BC, Forster SJ, Trett SP (2009) Commercial aspects of the use of nematodes as bioindicators. pp. 275-314. In: MJ Wilson, T Kakouli-Duarte (Eds.). Nematodes as Environmental Indicators. CABI Publishing,
23. Van den Hoogen J, Geisen S, Routh D, Ferris H, Traunspurger W, Wardle DA, Bardgett RD, Crowther TW (2019) Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. Nature 572:194–198.
24. Yeates GW (1997) Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tablelands (NSW): comparison of native and improved grasslands. Pedobiologia 41:526–536.
25. Yeates GW, Bongers TD, de Goede, RGM, Freckman DW, Georgieva SS (1993) Feeding habits in soil nematode families and genera an outline for soil ecologists. Journal of Nematology 25:315–331.
26. Yeates GW, Ferris H, Moens T, Van der Putten WH (2009) The role of nematodes in ecosystems. pp.1-44. In: MJ Wilson, T Kakouli-Duarte (eds.). Nematodes as Environmental Indicators. CABI Publishing, England.
27. Zhang ZW, Li Q, Zhang HY, Hu YY, Hou SL, Wei HW, Lü XT (2019) The impacts of nutrient addition and livestock exclosure on the soil nematode community in a degraded grassland. Land Degradation and Development 30:1574–1583.