

NEMATODE - BIOINDIKATORI PROMJENA U AGROEKOSUSTAVU

NEMATODES - BIOINDICATORS OF CHANGES IN AGROECOSYSTEMS

Teuta Benković-Lačić, Mirjana Brmež

SAŽETAK

Nematode, kao jedne od mogućih bioindikatora onečišćenja tla, predstavljaju „ogledalo“ ekološkog stanja poljoprivrednog tla i promjena koje se u njemu događaju antropogenim utjecajem te kao takve pokazuju održivost agroekosustava i zdravlja tla. Nematofauna tla je značajna u znanstvenim istraživanjima zbog velike brojnosti i raznolikosti vrsta, kao i raznolikosti trofičkih grupa. To omogućuje svrstavanje nematoda po različitim klasifikacijama i izračun velikog broja indeksa. Indeksi uznemirenja zajednice nematoda (MI, PPI, PPI/MI, Σ MI, MI2-5, Σ MI2-5), te ekološki (trofički) indeksi raznolikosti (H' , λ , E1, N1, N2) korišteni zajedno u različitim istraživanjima mogu jasnije otkriti razlike u ekološkim uvjetima tla.

Ključne riječi: nematode, indikatori, c-p grupe, indeksi

ABSTRACT

Nematodes, as one of the possible indicators of soil contamination, can reflect the ecological condition of agricultural soils and the changes that occur in it caused by human activity. They demonstrate the sustainability and health of the soil ecosystem. Soil nematodes are important in scientific research due to the large number and diversity of species, as well as the diversity of trophic groups. That allows classification of nematodes and the ability to calculate a large number of indices. Disturbance indices of nematodes community (MI, PPI, PPI / MI, Σ MI, MI2-5, Σ MI2-5), and ecological (trophic) diversity indices (H' , λ ,

E1, N1, N2) when used together, can clearly detect differences in ecological conditions of the soil.

Key words: nematodes, indicators, c-p groups, indices

UVOD

Tlo kao supstrat za život mnogobrojnim organizmima osigurava neophodne funkcije ekosustava kao što su povećanje produktivnosti biljaka, reguliranje odnosa tlo-voda-biljka i mineralizacija hranjiva, razgradnja organske tvari (Neher, 1999), te može poslužiti za različita istraživanja vezana uz stabilnost agroekosustava. Ekosustav tla podržava veliku biološku raznolikost mikrofaune (gljivice, bakterije, protozoa i alge) i mezofaune (protozoa, artropoda i nematode) koja je u njemu uključena. Odum (1969) je ekosustav definirao kao zajednicu bioloških organizama na nekom području, koji neprestano izmjenjuju fizičku okolinu i dozvoljavaju kruženje energije i tvari unutar sustava. Nematode, kao jedne od mogućih bioindikatora i određivanje njihove strukturalne zajednice prisutne u tlu, mogu biti „ogledalo“ ekološkog stanja poljoprivrednog tla i promjena koje se u njemu događaju antropogenim djelovanjem i kao takve nam pokazuju održivost agroekosustava i zdravlja tla (Benković-Lačić i sur., 2013). Također, nematode imaju važnu ulogu u procesima koji pružaju korist ekosustavu, kao što je opskrbljivanje hranom, vodom i zrakom, ali i reguliranje štetnika i bolesti, od kojih ljudsko društvo u potpunosti ovisi (Wall, 2004).

Ekološko značenje nematoda počiva na njihovoj velikoj brojnosti i raznolikosti vrsta, kao i raznolikosti trofičkih grupa (Yeates, 2003) i načinu reprodukcije. Trofičke grupe omogućavaju klasifikaciju prema načinu ishrane što ekolozima koristi u razumijevanju mjesta koje nematode zauzimaju unutar hranidbenog lanca (Brmež, 2004). Trofička klasifikacija zemljišnih nematoda razlikuje osam osnovnih grupa: (1) biljnoparazitne nematode, (2) bakterivore, (3) fungivore, (4) omnivore, (5) predatori, (6) nematode koje se hrane jednostaničnim eukariotima, (7) nematode koje se hrane različitim infektivnim stadijima parazita, (8) nematode koje se hrane substratom (Yeates i sur., 1993). Međutim, treba istaknuti da je u ekološkim istraživanjima opće prihvaćena podjela na prvih pet trofičkih grupa. Pojavljivanje trofičkih grupa koje su manje

zastupljene u tlima (fungivore, omnivore i predatori) u većem broju u odnosu na trofičke grupe koje se više pojavljuju u tlima (bakterivore i biljni paraziti) ukazuju na veću bioraznolikost zajednice (Wasilewska, 1979).

C-P GRUPE

Bongers (1990) je kategorizirao nematode po kolonizer – perzister (c-p) grupama koje su rangirane na skali od 1 do 5, a služe za izračunavanje indeksa uznemirenja i zrelosti ekosustava. Kolonizeri pripadaju nematodama na donjem kraju c-p ljestvice i smatraju se organizmima koji se lako prilagođavaju uznemirenim i obogaćenim sredinama pa njihova prisutnost ukazuje na raspoloživost resursa u tlu. Perzisteri su nematode koje se nalaze na gornjem kraju c-p ljestvice i njihova prisutnost u određenim sredinama upućuje na stabilne ekosustave sa složenim hranidbenim lancem. Nematode se na razini porodice svrstavaju u jednu od pet c-p grupa, a rodovi i vrste unutar porodice imaju istu c-p vrijednost.

c-p 1

Nematode c-p grupe 1 imaju kratak životni ciklus, a veliki dio njihovog tijela zauzimaju gonade koje proizvode veliki broj malih jaja. U uvjetima obogaćene sredine npr. pri dodatku organskog gnojiva, njihova brojnost ubrzano raste. Ovo su prvenstveno bakterivore, s velikom metaboličkom aktivnosti. Tolerantne su na onečišćenja i produkte razgradnje organske tvari. Ovi primarni kolonizeri formiraju inaktivni stadij „*dauer larvae*“ kada opada mikrobiološka biomasa i aktivnost u tlu.

c-p 2

Nematode c-p grupe 2 imaju kratak životni ciklus. Također je izražena njihova visoka stopa reprodukcije, iako je ona niža nego kod nematoda iz grupe c-p 1. One sporije reagiraju na obogaćivanje tla u smislu reprodukcije i ishrane u usporedbi s nematodama iz grupe c-p 1. Pojavljuju se u svim sredinama, bilo da su resursi u tlu u izobilju ili u nedostatku. Iako su vrlo tolerantne na različita onečišćenja i druge poremećaju u tlu, one ne formiraju inaktivni stadij „*dauer larvae*“.

c-p 3

Nematode c-p grupe 3 imaju duži životni ciklus i veću osjetljivost na različita uznemirenja u usporedbi s nematodama iz grupe c-p 2.

c-p 4

Nematode c-p grupe 4 imaju gonade koje u odnosu na veličinu njihovog tijela ne zauzimaju veliki dio, a produciraju manji broj većih jaja. Imaju dugi životni ciklus i propusnu kutikulu koja im osigurava visoku osjetljivost na različita onečišćenja. U ovu grupu nematoda pripadaju veći predatori, manje omnivore i neke bakterivore.

c-p 5

Nematode s dugim životnim vijekom, niskom reprodukcijom energijom, malom metaboličkom aktivnošću i sporim kretanjima, karakteristične su za c-p grupu 5. Gonade su male u odnosu na volumen tijela i proizvode mali broj velikih jaja. Kod ovih nematoda postoji iznimno visoka osjetljivost na onečišćenja i različita uznemirenja. U ovu grupu pripadaju velike omnivore i veliki predatori koji imaju usku ekološku amplitudu unutar koje je moguć opstanak.

Treba istaknuti kako novim spoznajama o hranidbenim navikama i ponašanju tijekom života nematoda dolazi i do premještanja određenih porodica iz jedne c-p grupe u drugu.

INDEKSI UZNEMIRENJA ZAJEDNICE NEMATODA

***Maturity index* – Indeks zrelosti tla (MI)**

Razvoj MI predstavlja značajan napredak u tumačenju odnosa između zajednice nematoda i ekološke funkcije tla (Neher i sur., 2005). C-p klasifikacija dovela je do formiranja Maturity indeksa (MI) koji predstavlja srednju vrijednost c-p grupa ili prosjek distribucije učestalosti c-p grupa čija vrijednost se kreće od 1.0 do 5.0. Nematode koje se hrane na višim biljkama (biljnoparazitne) i zauzimaju oko 10 % vrsta koje žive u tlu (Bongers i Ferris, 1999) su isključene iz izračuna MI. Pojavnost i gustoća ovih nematoda je u velikoj mjeri određena strukturom zajednice, biljkom domaćinom i njezinom

energijom rasta (Bongers i Ferris, 1999). Vrijednosti MI kreće se u rasponu manjem od 2.0 za tla koja su pogođena različitim razinama uznemirenja do onih u rasponu 4.0 do 5.0 u netaknutim okruženjima bez uznemirenja. Niže vrijednosti MI ukazuju na veću prisutnost kolonizera (niža vrijednost c-p grupe) koji se javljaju u ranim fazama sukcesije. Izračunava se po formuli

$$MI = \frac{\sum [v(i) * f(i)]}{\sum fi}$$

$v(i)$ predstavlja vrijednost c-p grupe, $f(i)$ brojnost iste c-p grupe u uzorku, a fi brojnost svih nematoda u uzorku.

***Plant parasitic index* – Biljnoparazitni indeks (PPI)**

Bongers (1990) je predložio i indeks u koji je uključio samo porodice biljnoparazitnih nematoda – *Plant parasitic index* (PPI) jer su one bile isključene pri računanju MI. Isključene su iz izračuna zbog potpuno različitog načina života u odnosu na ostale slobodnoživuće nematode. Njihov životni ciklus potpuno ovisi o prisutnosti viših biljaka u tlu, jer se hrane na njihovom korijenju, pa ne postoje biljnoparazitne nematode c-p grupe 1. PPI se izračunava na isti način kao i MI, ali vrijednosti c-p grupa i ukupnih nematoda odnose se na biljnoparazitne nematode. PPI predstavlja srednju vrijednost c-p grupa, ali se vrijednost kreće od 2.0 do 5.0, jer je najmanja c-p grupa kod biljnoparazitnih nematoda 2.0.

PPI/MI (Odnos *Plant parasitic index* i *Maturity index* – Odnos biljnoparazitnog indeksa i indeksa zrelosti tla)

Važan pokazatelj stanja i promjena unutar zajednice nematoda u tlu je i odnos između PPI/MI (Brmež, 2004), te se isti može koristiti u interpretaciji uznemirenja ekosustava. U ekosustavima koji su stabilni, bez uznemirenja, vrijednost ovog indeksa ne prelazi 0.9, a pri uznemirenjima (npr. gnojidba) vrijednost mu raste do 1.6 i više (Bongers i sur., 1997).

Suma *Maturity index* – Sumirani indeks zrelosti tla (Σ MI)

Yeates (1994) predlaže modifikaciju MI utemeljenu na spajanju slobodnoživućih i biljnoparazitnih nematoda (Σ MI), na temelju tvrdnji kako kompletan sastav zajednice osigurava cjelovite informacije s obzirom na uznemirenja i uvjete sredine. U uvjetima obogaćivanja tla organskom i mineralnom gnojibdom povećava se brojnost bakterivora i fungivora, dok se brojnost biljnoparazitnih nematoda može povećati tek poslije, kao rezultat povećane snage rasta biljke domaćina. Ipak, utvrđeno je kako bi uključivanje biljnoparazitnih nematoda u MI dovelo do indeksa koji je manje osjetljiv na promjene u okolišu (Bongers i sur., 1997).

Maturity index 2-5 - Indeks zrelosti tla 2-5 (MI 2-5)

Drugu modifikaciju MI predlaže prvo Popovici (1992) pa zatim i Bongres i sur. (1995). Oni predlažu uklanjanje slobodnoživućih nematoda c-p vrijednosti 1 iz izračuna MI (MI 2-5). MI 2-5 je predložen tijekom istraživanja MI i koncentracije bakra u poljoprivrednom tlu (Popovici, 1992). Tada je postalo očito kako postoji snažan međuodnos između smanjenja brojnosti nematoda iz viših c-p grupa i stresnih uvjeta sredine uzrokovanih onečišćenjem. U određenim slučajevima onečišćenja mogu biti uzrok povećane mikrobiološke aktivnosti što djeluje pozitivno na brojnost nematoda c-p grupe 1 i ne moraju nužno odražavati dugoročne promjene u ekološkom stanju tla. Nematode iz c-p grupe 2-5 pružaju bolje informacije o uvjetima unutar hranidbenog lanca tla. Ovaj indeks je identičan MI osim što su isključene nematode c-p grupe 1.

Suma *Maturity index* 2-5 - Sumirani indeks zrelosti tla 2-5 (Σ MI 2-5)

Ovaj indeks se izračunava kao MI za sve nematode iz c-p grupa 2-5 (Neher i Campbell, 1996), uključujući i biljnoparazitarne nematode, jer one također pružaju informacije o uznemirenju unutar zajednice nematoda.

EKOLOŠKI (TROFIČKI) INDEKSI RAZNOLIKOSTI

H' ili Shannon–Weaver Index

H' je korisna mjera koja odražava raznolikost zajednice nematoda (Shannon i Weaver, 1949; Cheng i sur., 2008), a osjetljiv je na rijetke rodove nematoda. Način izračuna Shannon indeksa prikazan je u tablici 1.

λ -Simpson index, indeks dominacije

Indeks dominacije mjeri uobičajene rodove nematoda koji se pojavljuju u određenom uzorku tla, a povećava se kada su vrste nejednako uznemirene (prati povećanje dominacije).

Agroekosustav karakterizira tipična nejednakost distribucije trofičkih grupa unutar zajednice nematoda u tlu, pa bi H' indeks mogao biti prikladniji u ekološkim istraživanjima od λ indeksa (Neher i Campbell, 1994). Način na koji se izračunava indeks dominacije prikazan je u tablici 1.

E1 - Evenness index

Evenness index (E1) se koristi u ekološkim istraživanjima za ocjenu ravnoteže unutar zajednice nematoda. Način njegovoga izračuna prikazan je u tablici 1.

N1, N2 – Hill's index

Hillovi indeksi (brojevi) raznolikosti (N0, N1 i N2) su najlakši za interpretaciju zato što definiraju pojedinačne rodove, pa tako N0 predstavlja broj svih rodova u uzorku tla, N1 brojne rodove koji se pojavljuju u uzorku tla, a N2 veoma brojne rodove u tlu (Ludwig i Reynolds, 1988).

Indeks N1 predstavlja antilogaritam H' indeksa, a N2 recipročnu vrijednost λ indeksa. Iako se raznolikost najčešće izjednačava s vrstama unutar ekoloških istraživanja, može se primijeniti na sve vrste klasifikacijskih razina (rodovi, porodice, trofičke grupe). U tablici 1. navedene su formule za izračunavanje ovih indeksa.

Tablica 1. Ekološki (trofički) indeksi raznolikosti i formule za izračunavanje

Table 1. Ecological (trophic) diversity indices and calculation formula

Indeksi	Formula	Literatura
H' - Shannon index	$H' = -\sum p_i (\ln p_i)^*$	Shannon i Weaver (1949)
N1 - Hills index	$N1 = e^{H'} = \exp [-\sum p_i (\ln p_i)]$	Neher i sur. (2004)
λ – Simpson index	$\lambda = \sum p_i^2$	Simpson (1949)
N2 - Hills index	$N2 = 1/\lambda$	Neher i sur. (2004); Ludwig i Reynolds (1988)
E1 - Evenness index	$E = H'/\ln(S)^*$	Ludwig i Reynolds (1988)

* p_i – udio trofičke grupe i proporcionalno ukupnoj zajednici nematoda

*S – broj trofičkih grupa

ZAKLJUČAK

U provedenim istraživanjima o nematofauni tla posljednjih dva desetljeća nematode pokazuju svoje sposobnosti promjene i prilagodbe ekološkim procesima u tlu.

Vrijednosti indeksa uznemirenja mogu varirati između različitih načina poljoprivredne proizvodnje. Funkcija i struktura nematofaune tla mijenja se kao odgovor na dodatak organskih ili mineralnih gnojiva, pri različitim obradama tla, pri kalcizaciji, drenaži ili pri utjecaju teških metala, pa se tako mijenjaju i vrijednosti indeksa uznemirenja i trofičkih indeksa raznovrsnosti

Ekološki indeksi opisuju relativnu brojnost i ravnomjernost pojave pet trofičkih grupa nematoda. Oni se izračunavaju iz promjenjive populacije različitih grupa zajednice nematoda u tlu i mogu pružiti procjenu heterogenosti organizama u ekosustavu, ali bez izravnih naznaka o organizmima ili funkcijama ekosustava.

Zajednička uporaba indeksa uznemirenja i trofičkih indeksa raznovrsnosti, na regionalnoj razini, može jasnije otkriti razlike u ekološkim uvjetima tla, nego kada se upotrebljava samo jedna vrsta indeksa.

LITERATURA

1. Benković-Lačić, T., Brmež, M., Ivezić, M., Raspudić, E., Pribetić, D., Lončarić, Z. i Grubišić, D. (2013): Influence of organic and inorganic fertilizers on nematode communities in cornfield. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (2): 235-240.
2. Bongers, T. (1990): The Maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83: 14-19.
3. Bongers, T., de Goede, R.G.M., Korthals, G.V., Yeates, G.W. (1995): Proposed changes of c-p classification for nematodes. *Russian Journal of Nematology*, 3: 61-62.
4. Bongers, T., Meulen, H., Korthals, G.V. (1997): Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, 6: 195-199.
5. Bongers, T., Ferris, H. (1999): Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 14 (6): 224-228.
6. Brmež, M. (2004): Zajednice nematoda kao bioindikatori promjena u agroekosustavu. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, pp. 100.
7. Cheng, Z., Grewal, P.S., Stinner, B.R., Hurto K.A., Hamza, H.B. (2008): Effects of long-term turfgrass management practices on soil nematode community and nutrient pools. *Applied Soil Ecology*, **38**: 174–184.
8. Ludwig, J.A., Reynolds, J.F. (1988): *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley, New York.
9. Neher, D.A., Campbell, C.L. (1994): Nematode communities and microbial biomass in soil with annual and perennial crops. *Applied Soil Ecology*, 1: 17-28.
10. Neher, D.A., Campbell, C.L. (1996): Sampling for regional monitoring of nematode communities in agricultural soil. *Journal of Nematology*, 28: 196-208.
11. Neher, D.A. (1999): Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, 45: 159-185.

12. Neher, D.A., Bongers, T., Ferris, H. (2004): Computation of Nematode community indices. Society of Nematologists Workshop, 2 August 2004, East Park, Colorado
13. Neher, D.A., Wu, J., Berbercheck, M.E., Anas, O. (2005): Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*, 30: 47-64.
14. Odum, E.P. (1969): The strategy of ecosystem development. *Science*, 164: 262-270.
15. Popovici, J. (1992): Nematodes as indicators of ecosystem disturbance due to pollution. *Studia Universitatis Babes-Bolyai Biologia*, 37 - 2.
16. Shannon, C.E., Weaver, W. (1949): The Mathematical Theory of Communication, Shao, Y., Zhang, W., Shen, J., Zhou, L., Xia, H., Shu, W., Ferris, H. and Fu, S. (2008): Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 2040-2046. University of Illinois, Urbana, IL.
17. Simpson, E. H. (1949): Measurement of diversity. *Nature* 163, 688.
18. Wall, D.H. (2004): *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments*. Island Press, Washington.
19. Wasilewska, L. (1979): The structure and function of soil nematode communities in natural ecosystems and agrocenoses. *Polish Ecological Studies*, 5: 97–145.
20. Yeates, G.W., Bongers, T., de Goede, R.G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S. (1993): Feeding habits in nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25: 315–331.
21. Yeates, G.W. (1994): Modification and qualification of the nematode Maturity index. *Pedobiologia*, 38: 97-101.
22. Yeates, G.W. (2003): Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils*, 37: 199-210.

Adrese autora – Author`s addresses:

Dr. sc. Teuta Benković-Lačić,

e-mail: tblacic@vusb.hr

Veleučilište u Slavonskom Brodu, Poljoprivredni odjel,

Dr. Mile Budaka1,

35000 Slavonski Brod, Hrvatska

Prof. dr. sc. Mirjana Brmež

e-mail: mirjana.brmez@pfos.hr

Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište u Osijeku

Kralja Petra Svačića 1d,

31000 Osijek, Hrvatska

Primljeno – Received:

15.03.2013.

