

UTJECAJ FOSFORA I CINKA NA ZAJEDNICU NEMATODA PRI UZGOJU FEFERONA (*Capsicum annuum* L.)

Mirjana Brmež⁽¹⁾, Ivana Varga⁽¹⁾, Teuta Benković–Lačić⁽²⁾, Z. Lončarić⁽¹⁾

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

SAŽETAK

*Zajednica nematoda proučavana je prilikom uzgoja feferona pod utjecajem gnojide Zn i P. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi promjene zajednice nematoda u tlu pod utjecajem aplikacije P, Zn i njihove kombinacije (P+Zn). Analiza zajednice nematoda u istraživanju uključila je ispitivanja promjene ukupnoga broja nematoda i ukupnoga broja rodova te analizu trofičkih grupa. Uznemirenost zajednice utvrđena je pomoću indeksa uznemirenja: MI, MI 2–5 i PPI, te odnosa PPI/MI, a raznolikost zajednice utvrđena je pomoću H' indeksa. Kod većeg uznemirenja utvrđen je rast ukupne brojnosti nematoda, što je posljedica povećanja brojnosti kolonizera, dok se broj rodova nematoda smanjuje kod većeg uznemirenja zajednice. Rodovi nematoda koji nisu pokazali osjetljivost s obzirom na prisutnost P i Zn su *Acrobeloides*, *Aphelenchoides*, *Aphelenchus*, *Dipterophora*, *Ditylenchus*, *Eucephalobus*, *Eudorylaimus*, *Mesodorylaimus*, *Paratylenchus*, *Plectus*, *Pratylenchus*, *Prodorylaimus*, *Rhabditis*, *Tylenchorhynchus* i *Tylenchus*. Vrijednosti MI, PPI i PPI/MI nisu se statistički značajno razlikovale ovisno o tretmanima, dok se MI 2–5 pokazao kao izvrstan parametar koji odražava uznemirenje zajednice. Omnivore rodova *Panagrolaimus* i *Microdorylaimus* bile su prisutne samo u kontrolnome tretmanu. Općenito su se omnivore pokazale kao vrlo osjetljive na uznemirenje te je njihova brojnost smanjena kod svakog uznemirenja za 50% u odnosu na kontrolu.*

Ključne riječi: *Capsicum annuum*, indeksi uznemirenja, P, trofičke grupe, zajednica nematoda, Zn

UVOD

Nematode predstavljaju dominantnu skupinu mikrofaune u tlu te imaju važnu ulogu u hranidbenoj mreži tla i kruženju tvari u tlu (Bongers i Bongers, 1998.; Neher, 2001.). Struktura zajednice nematoda u tlu odražava zdravlje tla i ekosustava. Budući da zajednice nematoda brzo reagiraju na različite promjene u tlu, analizom strukture zajednice nematoda može se procijeniti utjecaj uznemirenja na uvjete u tlu. Od 1970–ih godina nematode se koriste kao bioindikatori onečišćenja staništa (Neher, 2001.).

Posljednjih godina, zbog sve većega naglaska na očuvanje okoliša i smanjenja onečišćenja agroekosustava, provedena su brojna istraživanja analize promjene strukture zajednice nematoda u tlu radi procjene utjecaja zakiseljavanja, onečišćenja teškim metalima, aplikacije pesticida, kalcizacije i gnojide na zdravlje tla (Bongers i Ferris, 1999.; Ekschmitt i sur., 2001.; Georgieva i sur., 2002.; Smit i sur., 2002.; Ferris i Matute, 2003.; Brmež, 2004.; Brmež i sur., 2004.; Tenuta i Ferris, 2004.; Shukurov i sur., 2006.; Shao i sur., 2008.; Bert i sur., 2009.; Chen i sur., 2009.; Benković–Lačić i Brmež, 2013.).

Sposobnost nematoda za prilagodbu neke staništu određen je c–p grupama, čija skala ima vrijednosti 1–5. Prvoj c–p grupi pripadaju kolonizeri, tolerantni na različita onečišćenja (najčešće bakterivore), a grupama 4–5 perzisteri (predatori i omnivori). Zajednice kolonizera tolerantne su na stresne uvjete, posebno onečišćenja teškim metalima ili povećanoj količini nitrata iz gnojiva u tlu (Tenuta i Ferris, 2004.; Shukurov i sur., 2006.). Perzisteri pripadaju c–p grupama 4–5 i pokazatelji su stabilnog agroekosustava, vrlo su osjetljive na uznemirenja (De Goede, 1993.; Bongers i Ferris, 1999.; Brmež i sur., 2004.; Ferris i sur., 2004.).

Cilj je ovog istraživanja utvrditi promjene zajednice nematoda u tlu pod utjecajem mineralne gnojide fosforom, aplikacije cinka, kao teškoga metala u tlu i kombinacije mineralne gnojide fosforom i cinkom pri uzgoju feferona.

(1) Dr.sc. Mirjana Brmež, red.prof., Ivana Varga, mag.ing.agr. (ivana.varga@pfos.hr), dr.sc. Zdenko Lončarić, red.prof. – Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d, 31000 Osijek, Hrvatska, (2) Dr.sc. Teuta Benković–Lačić – Veleučilište u Slavanskom Brodu, Poljoprivredni odjel, Dr. Mile Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

MATERIJAL I METODE

Pokus je postavljen u proljeće, 27. travnja 2010. godine na lokalitetu Donja Vrba (45°09' s.z.š. i 18°06' i.z.d.) u blizini Slavenskoga Broda. Kao supstrat korišteno je tlo iz voćnjaka na području Donje Vrbe.

Kemijske karakteristike tla određene su prije postavljanja pokusa. Kemijskom analizom uzoraka određena je pH reakcija tla i to u 1:5 (v/v) suspenziji tla u vodi i 1 M KCl otopini (ISO, 1994.). Organska tvar tla određena je bikarbonatnom metodom (ISO, 1998.), a P i K ekstrahirani su amonij-laktat metodom (Egner i sur., 1960.).

Plastične posude volumena 3,5 dm³ napunjene su s 5 kg tla. Provedena su 4 različita tretmana mineralne gnojibde: 0 (kontrola), 25 mg kg⁻¹ P₂O₅ (tripleksa), 1 mg kg⁻¹ Zn (ZnCl₂) i 25 mg kg⁻¹ P₂O₅ (tripleksa) + 1 mg kg⁻¹ Zn (ZnCl₂). Svi su tretmani u pokusu postavljeni u 4 ponavljanja (svaka posuda=jedno ponavljanje, a ukupno je postavljeno 16 posuda). U posude su posađeni feferoni te je uzgoj proveden u kontroliranim plastičkim uvjetima.

Uzorci tla za potrebe analize promjena u zajednici nematoda prikupljeni su mjesec dana nakon postavljanja pokusa (27. svibnja 2010.). Iz svake posude pomoću sonde za uzimanje uzoraka (promjera 2 cm) prikupljeni su uzorci do dubine posude (13 cm). Masa jednog uzorka bila je 100 g, a ukupno je prikupljeno i analizirano 16 uzoraka tla.

Nematode su u uzorcima tla izdvojene metodom pomoću boca (Seinhorst, 1956.). Nakon izdvajanja nematoda iz tla, brojnost nematoda utvrđena je pregledom uzoraka pod lupom, a zatim pregledom pod mikroskopom. Determinacija nematoda do roda provedena je pomoću sljedećih ključeva za determinaciju: Andrassy (1984., 1988., 1993.), Bongers (1994.), Hunt (1993.), Mai i Lyon (1975.) i Zullini (1982.).

Promjene zajednica nematoda u istraživanju uključuju promjene ukupnoga broja nematoda, ukupnoga broja rodova, trofičkih grupa: bakterivore, fungivore, fitoparazitarne nematode, omnivore i predatori (Yeats i sur., 1993.), te indeksa uznemirenja: indeks zrelosti tla – *Maturity index* (MI) i indeks zrelosti tla 2–5 – *Maturity index 2–5* (MI 2–5), fitoparazitarni indeks – *Plant parasitic index* (PPI), odnos MI/PPI te indeks raznolikosti tla – *Shannon – Weaver diversity index* (H').

Indeks zrelosti tla – *Maturity index* (MI) se izračunava pomoću formule (Bongers, 1990.):

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

gdje je: $v(i)$ – vrijednost c–p grupe, a $f(i)$ – frekvencija te grupe u uzorku.

Indeks zrelosti tla 2–5 (MI 2–5) i fitoparazitarni indeks (PPI) računaju se istom formulom kao MI, samo što su u izračunu MI 2–5 isključene nematode c–p grupe 1, dok u izračunu PPI ulaze samo fitoparazitarne nematode u tlu.

Indeks raznolikosti tla, *Shannon – Weaver diversity index* (H'), računa se pomoću formule (Shannon i Weaver, 1949.):

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

gdje je: p_i – relativna brojnost vrste, izračunava se kao udio određene (n_i) vrste u ukupnome broju jedinki u zajednici (n).

Statistička analiza podataka provedena je analizom varijance, koristeći program Poljoprivredna statistika VV-Stat (Vukadinović, 2013.)

REZULTATI I RASPRAVA

Nakon provedene kemijske analize tla korištenog u ovom istraživanju, utvrđena je vrijednost $pH_{(H_2O)}=5,52$ i $pH_{(KCl)}=4,21$. Koncentracija pristupačnoga P iznosila je 4,7 mg 100 g⁻¹ tla, dok je pristupačnost K iznosila 9,46 mg 100 g⁻¹ tla. Analizom organske tvari, utvrđeni sadržaj humusa iznosi 1,95%.

Tablica 1. Utjecaj fosfora i cinka na ukupnu brojnost nematoda (u 100 g tla)

Table 1. Phosphorus and zinc influence on total number of nematodes (100 g soil)

	Tretmani gnojibde/Fertilization treatments			
	(1) kontrola	(2) P	(3) Zn	(4) P + Zn
Ukupna brojnost nematoda/Total number of nematodes	485	509	603	754

Analiza ukupne brojnosti nematoda pokazala je određenu razliku između tretmana (Tablica 1.). Iako je najveća ukupna brojnost nematoda izmjerena pri aplikaciji tretmana P+Zn (754), istovremeno takva je gnojidba rezultirala smanjenjem raznolikosti, odnosno najmanjom prosječnom brojnosti rodova nematoda (Tablica 2.).

Analiza ukupne brojnosti nematoda pokazala je određenu razliku između tretmana (Tablica 1.). Iako je najveća ukupna brojnost nematoda izmjerena pri aplikaciji tretmana P+Zn (754), istovremeno takva je gnojidba rezultirala smanjenjem raznolikosti, odnosno najmanjom prosječnom brojnosti rodova nematoda (Tablica 2.).

Tablica 2. Utjecaj fosfora i cinka na prosječnu ukupnu brojnost rodova nematoda (u 100 g tla)

Table 2. Phosphorus and zinc influence on average number of nematodes genera (100 g soil)

	Tretmani gnojibde/Fertilization treatments				LSD
	(1) kontrola	(2) P	(3) Zn	(4) P + Zn	
Prosječna brojnost rodova/Average number of nematodes genera	16,50 ^a	18,00 ^a	15,25 ^{ab}	13,75 ^b	2,61

U usporedbi po kolonama vrijednosti iste slovne oznake nisu statistički značajne $P \leq 0,05$

In columns comparison means with the same letter are not significantly different from each other $P \leq 0,05$

Dodatkom tretmana P+Zn, odnosno povećanjem uznemirenja zajednice nematoda, došlo je do porasta ukupne brojnosti nematoda, zbog toga što prilikom uznemirenja zajednice dolazi do bržega razmnožavanja nematoda iz c-p grupe 1, kojoj pripadaju kolonizeri, a njihova je karakteristika da imaju kraći životni vijek, daju veliki broj sitnih jaja i time naglo podižu ukupnu brojnost. Veća brojnost rodova ukazuje na stabilniju zajednicu, dok, nasuprot tome, niža brojnost rodova ukazuje na uznemirenost staništa, kao što je slučaj u ovom istraživanju. Tenuta i Ferris (2004.) također navode da su kolonizeri tolerantni na različita onečišćenja, posebno teškim metalima. Bongers i Ferris (1999.) utvrdili su da se nakon uznemirenja tla unosom organskih gnojiva povećava broj kolonizera c-p grupe I. Prema tome, ukupna brojnost nematoda i brojnost rodova pokazala se kao izvrstan pokazatelj uznemirenja nematoda gnojodbom.

Ukupno su analizom uzoraka tla determinirana 32 roda nematoda, koje pripadaju u trofičke grupe bakterivora, fitoparazitnih nematoda, fungivora, omnivora i predatora (Tablica 3.).

Pojedini rodovi nematoda nisu pokazali nikakvu osjetljivost s obzirom na uznemirenje P i Zn te su utvrđeni u svim tretmanima pokusa. Utvrđeni rodovi nematoda prisutni u svim tretmanima od bakterivora su: *Acrobeloides*, *Eucephalobus*, *Rhabditis* i *Plectus*; od fitoparazitnih nematoda: *Paratylenchus*, *Pratylenchus*, *Tylenchus* i *Tylenchorhynchus*; od fungivora: *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Dipterophora* i *Ditylenchus*; te od omnivora: *Eudorylaimus*, *Mesodorylaimus* i *Prodorylaimus*. Nasuprot tome, nematode rodova *Panagrolaimus* i *Microdorylaimus* bile su prisutne samo u kontrolnim

posudama. Ekschmitt i Korthals (2006.) u rezultatima istraživanja navode da su nematode podreda Adenophorea vrlo osjetljive na onečišćenje tla, dok su neki rodovi podreda Secernentea otporni na onečišćenja. Autori navode da su rodovi *Chiloplacus* i *Pratylenchus* dobri bioindikatori onečišćenja s Cu, *Paratylenchus* i *Criconemoides* za Cr, te *Tylenchus* i *Cephalobus* za Zn, što se može zaključiti prema njihovoj pozitivnoj korelaciji s tim metalima. Bakterivore porodice Rhabditidae nisu osjetljive i naseljavaju staništa koja su onečišćena te, prema tome, mogu biti pokazatelji onečišćenja staništa (Bongers i Ferris, 1999.). Nadalje, Bouwman i Vangronsveld (2004.) te Korthals i sur. (2000.) navode da su nematode porodice *Rhabditidae* najbrojnije u tlu nakon uznemirenja onečišćenjem teškim metalima (Ni, Pb, Cr, Cd, Cu i Zn). Fiscus i Neher (2002.), prema rezultatima istraživanja, navode da su nematode roda *Plectus* otpornije na uznemirenje tla gnojodbom. Smit i sur. (2002.) iznose da su na prisutnost Zn (do 3200 mg kg⁻¹ Zn suhoga tla) u tlu najosjetljivije nematode roda *Eucephalobus*, *Anaplectus* i *Cephalobus*, dok su najmanju osjetljivost pokazale nematode roda *Acrobeloides*, *Aphelenchoides* i *Mesodorylaimus*. Georgieva i sur. (2002.) istraživali su utjecaj 5 različitih tretmana (Ni, Zn+Ni, Cu, Zn+Cu i Zn) na promjene zajednica nematoda u tlu te zaključuju da aplikacija Cu, Zn+Cu i Zn dovodi do smanjenja broja rodova u tlu, smanjivši brojnost perzistera u korist kolonizera, te smanjenja MI 2–5. Bakonyi i sur. (2003.) također su utvrdili da aplikacijom (oko 270 mg kg⁻¹) teških metala (Cd, Cr, Se i Zn) dominiraju nematode rodova *Acrobeloides*, *Rhabditis*, *Pratylenchus* i *Tylenchorhynchus* te kod tretmana Zn utvrdili najbrojnije zajednice roda *Acrobeloides*.

Tablica 3. Utvrđeni rodovi nematoda i njihova prisutnost (+) u pojedinim tretmanima (u 100 g tla)

Table 3. Identified nematode genera and their presence (+) in certain treatments (100 g soil)

Rodovi nematoda/ Nematode genera	Tretmani gnojidbe/Fertilization treatments			
	(1) kontrola	(2) P	(3) Zn	(4) P + Zn
Bakterivore/Bacterial feeders				
<i>Acrobeloides</i>	+	+	+	+
<i>Acrolobus</i>	–	+	+	–
<i>Alaimus</i>	+	+	–	–
<i>Cephalobus</i>	–	+	–	–
<i>Diploscapter</i>	+	+	+	–
<i>Eucephalobus</i>	+	+	+	+
<i>Heterocephalobus</i>	+	+	–	–
<i>Metateratocephalus</i>	–	+	+	+
<i>Panagrolaimus</i>	+	–	–	–
<i>Plectus</i>	+	+	+	+
<i>Prismatolaimus</i>	–	+	–	–
<i>Rhabditis</i>	+	+	+	+

Rodovi nematoda/ <i>Nematode genera</i>	Tretmani gnojidbe/ <i>Fertilization treatments</i>			
	(1) kontrola	(2) P	(3) Zn	(4) P + Zn
Fitoparazitne nematode/<i>Plant parasitic nematodes</i>				
Filenchus	+	-	+	-
Malenchus	-	+	+	-
Paratylenchus	+	+	+	+
Pratylenchus	+	+	+	+
Psilenchus	+	+	-	+
Tylenchorhynchus	+	+	+	+
Tylenchus	+	+	+	+
Fungivore/<i>Fungal feeders</i>				
Aphelenchoides	+	+	+	+
Aphelenchus	+	+	+	+
Dipterophora	+	+	+	+
Ditylenchus	+	+	+	+
Omnivore/<i>Omnivores</i>				
Apocerlaimellus	-	+	-	-
Dorylaimus	+	-	+	+
Enchodelus	-	+	-	-
Eudorylaimus	+	+	+	+
Mesodorylaimus	+	+	+	+
Microdorylaimus	+	-	-	-
Prodorylaimus	+	+	+	+
Tylencholaimellus	+	+	-	+
Predatori/<i>Predators</i>				
Clarkus	-	+	+	+

Prosječna zastupljenost trofičkih grupa nematoda ovisno o tretmanima prikazana je u Tablici 4. Najviša je zastupljenost fitoparazitnih nematoda (40%), dok je najmanja zastupljenost predatorskih nematoda (1%). Brojnost omnivora smanjila se za 50% kod svih tretmana u

odnosu na kontrolu, dok je brojnost predatora bila vrlo niska u svim tretmanima pokusa.

Zhang i sur. (2006.) nakon provedene mineralne gnojidbe ZnSO₄ (0, 100, 200, 400, 800 Zn mg kg⁻¹), zaključuju da se broj fitoparazitnih nematoda značajno ne mijenja.

Tablica 4. Utjecaj fosfora i cinka na zastupljenost pojedine trofičke grupe (%)

Table 4. Phosphorus and zinc influence on presence of trophic groups (%)

Trofička grupa/ <i>Trophic group</i>	Tretmani gnojidbe/ <i>Fertilization treatments</i>				Prosjek (%)/ <i>Average (%)</i>
	Zastupljenost trofičke grupe (%)/ <i>Presence of trophic groups (%)</i>				
	(1) kontrola	(2) P	(3) Zn	(4) P + Zn	
Bakterivore	36	34	23	36	32
Fitoparazitne nematode	40	42	47	32	40
Fungivore	16	19	25	27	22
Omnivore	8	4	4	4	5
Predatori	0	1	1	1	1

Provedena analiza indeksa uznemirenja, koristeći MI, MI 2–5, PPI te odnos PPI/MI i indeksa uznemirenja H', prikazana je u Tablici 5. Od korištenih indeksa uznemirenja statistički značajne razlike vrijednosti indeksa ovisno o koncentraciji P i Zn u tlu pokazao je MI 2–5. Vrijednost MI 2–5 indeksa uznemirenja bila je najviša u uzorcima iz kontrolnih posuda (2,58) te se vrijednost indeksa smanjila ovisno o tretmanu gnojidbe. Iako je najniža vrijednost H' utvrđena kod aplikacije teškoga metala, tj. Zn, ona nije bila statistički značajna. Ekschmitt i sur. (2001.) izdvajaju MI kao najbolji pokazatelj stanja zajednica nematoda i aktivne mikroflore u tlu, pri čemu je aktivnija mineralizacija dušika i razgrad-

nja organske tvari. Chen i sur. (2009.) utvrdili su da je uznemirenje tla manje kod nižih vrijednosti MI i H'. Georgieva i sur. (2002.) također su utvrdili smanjenje vrijednosti MI 2–5 nakon aplikacije teških metala (Cu, Zn i Ni). Pan i sur. (2010.) navode da aplikacija gnojiva (N i P) vrlo značajno utječe na promjenu PPI ($P < 0,001$), dok promjene MI i H' nisu statistički značajne. Shao i sur. (2008.) zaključuju da MI kao najčešće korišten ekološki indeks i pokazatelj stresnih uvjeta nije najbolji pokazatelj onečišćenja teškim metalima (Pb i Zn) tamo gdje je malen broj nematoda u tlu te da u njihovom istraživanju nije reflektirao stvarno onečišćenje teškim metalima.

Tablica 5. Utjecaj fosfora i cinka na vrijednost indeksa uznemirenja (MI, MI 2-5, PPI i PPI/MI) i raznolikosti (H')

Table 5. Phosphorus and zinc influence on disturbance (MI, MI 2-5, PPI i PPI/MI) and diversity (H') indices

	Tretmani gnojidbe/Fertilization treatments				LSD 0,05
	(1) kontrola	(2) P	(3) Zn	(4) P + Zn	
Indeksi uznemirenja/Disturbance indices					
MI	2,20 ^a	2,15 ^a	2,13 ^a	2,23 ^a	0,24
MI 2 – 5	2,58 ^a	2,30 ^b	2,25 ^b	2,30 ^a	0,22
PPI	2,05 ^a	2,13 ^a	2,07 ^a	2,07 ^a	0,09
PPI/MI	0,94 ^a	0,99 ^a	0,98 ^a	0,93 ^a	0,13
Indeks raznolikosti/Diversity index					
H'	1,18 ^a	1,18 ^a	1,14 ^a	1,18 ^a	0,10

U usporedbi po kolonama vrijednosti iste slovne oznake nisu statistički značajne $P \leq 0,05$

In columns comparison means with the same letter are not significantly different from each other $P \leq 0,05$

ZAKLJUČAK

Ukupno su analizom uzoraka tla determinirana 32 roda nematoda, koje pripadaju u trofičke grupe bakterivora, fitoparazitnih nematoda, fungivora, omnivora i predatora. Ukupna brojnost zajednice nematoda u tretmanima povećavala se proporcionalno povećanju uznemirenja, kao posljedica povećanja brojnosti nematoda c–p grupe 1, odnosno kolonizera, dok je ukupna brojnost rodova u tretmanima smanjena zbog većeg uznemirenja zajednice nematoda. Pojedini rodovi nematoda nisu pokazali osjetljivost s obzirom na uznemirenje P i Zn. Rodovi nematoda koji su prisutni u svim tretmanima od bakterivora su: *Acrobeloides*, *Eucephalobus*, *Rhabditis* i *Plectus*; od fitoparazitnih nematoda: *Paratylenchus*, *Pratylenchus*, *Tylenchus* i *Tylenchorhynchus*; od fungivora: *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Dipterophora* i *Ditylenchus*; te od omnivora: *Eudorylaimus*, *Mesodorylaimus* i *Prodorylaimus*. Nematode trofičke grupe omnivora očekivano su bile najosjetljivije na uznemirenje gnojidbom P i Zn, posebno rodovi omnivornih nematoda *Panagrolaimus* i *Microdorylaimus*. Brojnost omnivora smanjena je kod svakog uznemirenja za 50% u odnosu na kontrolu. Najboljim indikatorom uznemirenosti zajednice nematoda pokazao se indeks MI 2–5, koji je ukazao na statistički značajne razlike ($P < 0,05$) između svih tretmana i kontrole.

LITERATURA

- Andrassy, J. (1984.): Klasse nematoda. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart. pp. 509.
- Andrassy, J. (1988.): The superfamily Dorylamoidea (Nematoda) – a review of Family Dorylaimidae. Opus. Zoologica Budapest 23: 3–63.
- Andrassy, J. (1993.): A taxonomic survey of family Mononchidae (Nematoda). Acta Zoologica Hungaricae 39: 13–60.
- Bakonyi, G., Nagy, P., Kádár, I. (2003.): Long-term effects of heavy metals and microelements on nematode assemblage. Science direct – Toxicology letters (140–141): 391–410.
- Bert, W., Manhout J., Van Hoken, C., Borgonie, G., Decraemer, W. (2009.): Nematode assemblages in a nature reserve with historical pollution. Belgian Journal of Zoology 139 (1): 3–14.
- Benković-Lačić, T., Brmež, M. (2013.): Nematode-bioindikator promjena u agroekosustavu. Agronomski glasnik 1: 43–54.
- Bongers, T. (1990.): The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia 83 (1): 14–19.
- Bongers, T. (1994.): De Nematoden van Nederland. KNNV–bibliotheekuitgave 46. Pirola, Schoorl. pp. 408.

9. Bongers, T., Bongers, M. (1998.): Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10(3): 239–251.
10. Bongers, T., Ferris H. (1999.): Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 14 (6): 224–228.
11. Bouwman, L.A., Vangronsveld, J. (2004.): Rehabilitation of Nematode Fauna in Phytostabilized, Heavy Zinc–Contaminated, Sandy Soil. *Journal of Soils and Sediments* 4 (1): 17–23.
12. Brmež, M. (2004.): Nematode kao bioindikator promjena u agroekosustavu. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.
13. Brmež, M., Ivezić, M., Raspudić, E., Majić, I. (2004.): Dinamika populacije nematoda u pšenici. *Poljoprivreda* 10 (2): 5–9.
14. Chen, G., Qin, J., Shi, D., Zhang, Y., Ji W. (2009.): Diversity of Soil Nematodes in Areas Polluted with Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lanzhou, China. *Environmental Management* 44 (1): 163–172.
15. De Goede, R.G.M. (1993.): Terrestrial nematodes in a changing environment. Agricultural University. Department of Nematology. Wageningen. Netherlands.
16. Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960.): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden II. Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphor und Kaliumbestimmung. *K. Lantbr. Hogsk. Annlr. W.R.* 26. 199–215.
17. Ekschmitt, K., Bakonyi, G., Bongers, M., Bongers, T., Boström, S., Dogan, H., Harrison, A., Nagy, P., O'Donnell, A.G., Papatheodorou, E.M., Sohlenius B., Stamouf, G.P., Wolters V. (2001.): Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils. *European Journal of Soil Biology* 37 (4): 263–268.
18. Ekschmitt, K., Korthals, G.W. (2006.): Nematodes as Sentinels of Heavy Metals and Organic Toxicants in the Soil. *Journal of Nematology* 38 (1): 13–19.
19. Ferris, H., Matute, M.M. (2003.): Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology* 23: 93–110.
20. Ferris, H., Bongers, T., De Goede, R. (2004.): Nematode faunal analyses to assess food web enrichment and connectance. *Nematology Monographs & Perspectives* 2: 503–510.
21. Fiscus, D.A., Neher, D.A. (2002.): Distinguishing Sensitivity Of Free–Living Soil Nematode Genera To Physical And. Chemical Disturbances. *Ecological Applications* 12 (2): 565–575.
22. Georgieva, S.S., McGrath, S.P., Hooper, D.J., 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 (1): 27–42.
23. Hunt, D.J. (1993.): Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae – Their systematics and bionomics. CAB INT. Wallingford, UK. pp. 352.
24. ISO – International Organization for Standardization (1994.): Soil quality – Determination of pH. ISO 10390:1994.
25. ISO – International Organization for Standardization (1998.): Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. ISO 14235:1998.
26. Korthals G.W., Bongers, M., Fokkema, A., Dueck, T.A., Lexmond, T.M. (2000.): Joint Toxicity of Copper and Zinc to a Terrestrial Nematode Community in an Acid Sandy Soil. *Ecotoxicology* 9: 219–228.
27. Mai, W.F., Lyon, H.H. (1975.): Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes. Cornell University Press. London. pp. 219.
28. Neher, D.A. (2001.): Role of Nematodes in Soil Health and Their Use as Indicators. *Journal of Nematology* 33 (4): 161–168.
29. Pan, F., McLaughlin, N.B., Yu, Q., Xue, A.G., Xu, Y., Han, X., Li, C., Zhao, D. (2010.): Responses of soil nematode community structure to different long-term fertilizer strategies in the soybean phase of a soybean wheat corn rotation. *European Journal of Soil Biology* 46: 105–111.
30. Seinhorst, J.W. (1956.): The quantitative extraction of nematode from soil. *Nematologica* 1 (3): 249–267.
31. Shannon, C.E., Weaver, W. (1949.): The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.
32. Shao, Y., Zhang, W., Shen, J., Zhou, L., Xia, H., Shu, W., Ferris, H., Fu, S. (2008.): Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 2040–2046.
33. Shukurov, N., Pen-Mouratov, S., Steinberger, Y. (2006.): The influence of soil pollution on soil microbial biomass and nematode community structure in Navoiy Industrial Park, Uzbekistan. *Environment International* 32 (1): 1–11.
34. Smit, C.E., Schouten, A.J., Van den Brink, P.J., Esbroek, M.L.P., Posthuma, L. (2002.): Effect of Zinc Contamination on a Natural Nematode Community in Outdoor Soil Mesocosms. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 42: 205–216.
35. Tenuta, M. and Ferris, H. (2004.): Sensitivity of Nematode Life–History Groups to Ions and Osmotic Tensions of Nitrogenous Solutions. *Journal of Nematology* 36 (1): 85–94.
36. Yeates, G.W., Bongers, T.R., De Goede, G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S. (1993.): Feeding Habits in Soil Nematode Families and Genera — An Outline for Soil Ecologists. *Journal of Nematology* 25 (3): 315–331.
37. Vukadinović, V. (2013.): Poljoprivredna statistika VVStat – računalni program za statističku obradu podataka. (<http://ishranabilja.com.hr/kalkulatori.html>, pristupljeno 25.12.2013.)
38. Zhang, X.K., Li, Q., Wang, S.B., Jiang, Y., Liang, W.J. (2006.): Effect of zinc addition to soil on nematode community structure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 76: 589–594.
39. Zullini, A. (1982): Nematodi (Nematoda). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy, pp. 117.

INFLUENCE OF PHOSPHORUS AND ZINC APPLICATION ON SOIL NEMATODE COMMUNITY IN HOT PEPPER (*Capsicum annuum* L.)

SUMMARY

This research studied nematode communities in the soil during hot pepper cultivation and under influence of Zn and P fertilizer application. The aim of this study was to determine changes in soil nematode communities during the cultivation of hot pepper under the influence of P, Zn and their combination (P+Zn) application. The study included the examination of changes in nematodes structure in soil, their total abundance, the total number of genera and analysis of trophic groups. Changes in nematode community were determined using the MI, MI 2–5, PPI and their ratio (PPI/MI). The diversity of the community was investigated using H' index. Intensification in disturbance resulted in increased the total number of nematodes, as a result of reduction or elimination of the persisters in favor of colonizers, whereas larger disturbances decreased in genus richness soil nematode assemblages. The genera of nematodes which did not show sensitivity due to the presence of P and Zn are: Acrobeloides, Aphelenchoides, Aphelenchus, Dipterophora, Ditylenchus, Eucephalobus, Eudorylaimus, Mesodorylaimus, Paratylenchus, Plectus, Pratylenchus, Prodorylaimus, Rhabditis, Tylenchorhynchus and Tylenchus. The MI, PPI and PPI/MI did not significant distinguish the management regimes. The MI 2–5 was shown as an excellent parameter reflecting distress in nematode community structure. Omnivorous genera Panagrolaimus and Microdorylaimus were the most disturbance susceptible omnivores. Generally omnivorous were the most disturbance susceptible and their number reduced in all treatments by 50% compared to the control and according to that, omnivorous presents good parameter reflecting distress in nematode community.

Key-words: *Capsicum annuum*, disturbance indexes, nematode community, P, trophic groups, Zn

(Primljeno 29. siječnja 2014.; prihvaćeno 24. travnja 2014. – Received on 29 January 2014; accepted on 24 April 2014)