

ENTOMOPATOGENE NEMATODE, PRIRODNI NEPRIJATELJI ŠTETNIH INSEKATA

Aleksandar Ivezić

Poljoprivredna stručna služba Kikinda,
Prognozno-izveštajna služba zaštite bilja Srbije
E-mail: aleksandarivezic@yahoo.com

Izvod

U biološkoj zaštiti bilja primenjuje se veliki broj različitih korisnih organizama, a među njima i određene vrste nematoda. Sa aspekta biološkog suzbijanja štetočina, najznačajniju grupu čine entomopatogene nematode, koje predstavljaju prirodno i ekološko rešenje za suzbijanje mnogih štetnih insekata. Uspešnost ovih organizama u kontroli štetočina počiva na specifičnom odnosu između nematoda i bakterija, pri čemu nematode u svom crevnom traktu prenose bakteriju koja ubija insekta domaćina. Kao biološki agensi, najveću pažnju privlače nematode iz dve familije: Steinernematidae i Heterorhabditidae. U porodici Steinernematidae izdvaja se rod *Steinernema* Travassos 1927, dok je u porodici Heterorhabditidae najznačajniji rod *Heterorhabditis* Poinar, 1976. Entomopatogene nematode se primenjuju za suzbijanje brojnih poljoprivrednih štetočina među kojima su insekti iz redova Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Blattodea, Orthoptera i Heteroptera. Entomopatogene nematode se odlikuju brojnim osobinama koje ih čine izrazito pogodnim biološkim agensima: širok spektar domaćina, aktivno traženje domaćina, ubijanje domaćina u roku od 48 sati, jednostavno laboratorijsko gajenje i terenska primena, dugoročna efikasnost, kompatibilnost sa većinom hemijskih sredstava i bezbednost po životnu sredinu.

KLjučne reči: entomopatogene nematode, biološka borba, Steinernematidae, Heterorhabditidae

UVOD

Suzbijanje poljoprivrednih štetočina radi sprečavanja gubitaka u prinosu čini osnovnu delatnost zaštite bilja. U savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji, aplikacija sintetičkih insekticida predstavlja najzastupljeniji način kontrole štetnih insekata i zaštite gajenih useva. S obzirom da gotovo sva sredstva za zaštitu bilja spadaju u grupu otrova, upotreba takvih sredstava donosi određenu opasnost za korisne organizme i životnu sredinu. Integralna poljoprivredna proizvodnja probleme prekomerne upotrebe hemijskih sredstava rešava multidisciplinarnim pristupom koji uključuju mehaničke, hemijske, biološke i druge mere suzbijanja poljoprivrednih štetočina. Među navedenim merama, rastom ekološke svesti,

biološke metode suzbijanja štetočina postaju sve zastupljenije i dobijaju značajnije mesto u poljoprivrednoj praksi. Biološka kontrola podrazumeva upotrebu prirodnih neprijatelja (parazita, predatora i patogena) u cilju smanjenja populacija štetnih organizama (Ehler, 1990). Korisni organizmi su sastavni deo svakog ekosistema, ali u slučaju intenzivne poljoprivredne proizvodnje, njihova brojnost je najčešće nedovoljna za uspešnu kontrolu štetnih organizama. Radi uspostavljanja ravnoteže između prirodnih neprijatelja i poljoprivrednih štetočina, biološka kontrola podrazumeva periodičnu komercijalnu primenu laboratorijski uzgojenih korisnih organizama, kao i introdukciju novih vrsta prirodnih neprijatelja u određene agroekosisteme.

U biološkoj zaštiti bilja primenjuju se veliki broj različitih korisnih organizama, a među njima i određene vrste nematoda (Nježić, 2016). Nematode ili valjkasti crvi naseljavaju gotovo sva prirodna staništa i predstavljaju vrlo raznovrsnu i izrazito brojnu grupu organizama. Prisutni su na kopnu, slatkoj i slanoj vodi, pa čak i u određenim staništima gde su uslovi za život krajnje nepovoljni (polarni krajevi, dno jezera ili okeana) (Brmež, 2004). Ove beskičmenjake karakteriše oblo, izduženo, tanko i nesegmentirano telo (Hodda, 2011). Pored toga što se sve vrste nematoda odlikuju sličnim morfološkim karakteristikama, određene nematode se razlikuju u građi usnog aparata što ukazuje na raznovrsne načine ishrane. Prema načinu ishrane nematode mogu biti: bakterivorne, fungivorne, omnivorne, parazitarne i predatorske (Yeates, 1993). Iako je do sada opisano više od 30 000 vrsta nematoda, smatra se da je ukupan broj ovih organizama između 500 000 i milion (Gaugler i Bilgrami, 2004). Prve nematode koje parazitiraju na insektima su registrovane još u 17. veku (Nickle, 1984), ali je tek 1930. godine detaljnije razmotrena mogućnost komercijalne upotrebe ovih organizama u kontroli poljoprivrednih štetočina (Smart, 1995). Povezanost ove grupe organizama sa insektima je opisana u više od 30 porodica insekata (Stock i Hunt, 2005). Uspešnost ovih organizama u insekticidnoj kontroli počiva na specifičnom odnosu između nematoda i gram negativnih bakterija iz familije *Enterobacteriaceae* Rahn, 1937 (Weischer i Brown, 2000). U tom mutualističkom odnosu, nematoda u svom crevnom traktu aktivno prenosi bakterije i štiti ih od uslova spoljašnje sredine, dok bakterije predstavljaju izvor hrane za nematode (Nježić, 2016). Prva entomopatogena nematoda, uspešno primenjena za suzbijanje štetnih insekata, bila je *Steinernema carpocapsae*, Weiser 1955 (Rhabditida: Steinernematidae). Ova vrsta je pre 50 godina prvi put komercijalno primenjena u Australiji u zasadima ukrasnog bilja za suzbijanje vinove pipe *Otiorynchus sulcatus*, Fabricius 1775 (Coleoptera: Curculionidae), ali i u zasadima crne ribizle za suzbijanje ribizlinog savijača *Synanthedon tipuliformis* Clerck, 1759 (Lepidoptera: Sesiidae) (Georgis, 2002). Od tada je broj identifikovanih entomopatogenih nematoda značajno povećan, pa je samo iz

zemljišnih insekata determinisano 83 različite vrste entomopatogenih nematoda (Grewal i sar., 2001). Determinisanjem novih vrsta entomopatogenih nematoda upotrebom molekularnih tehnika, povećao se i broj vrsta koje su pronašle praktičnu primenu u suzbijanju različitih štetnih insekata (Hazir i sar., 2003).

Biologija i životni ciklus

Entomopatogene nematode su endoparaziti koji aktivno parazitiraju različite stadijume insekata, prodirajući u njihove telesne duplje kroz prirodne otvore (usni aparat, anus, stigme) ili direktnom penetracijom kroz kutikulu (Smart, 1995). Ukoliko nematode u telo insekta prodru kroz usni aparat ili anus, u hemocel doppevaju probijanjem zida creva. U slučaju penetriranja kroz stigme, nematode u hemocel doppevaju probijanjem zida traheja. (Smart, 1995). Insekte parazitiraju larve entomopatogenih nematoda, koje prolaze kroz četiri larvena stupnja. Jedino je treći larveni stupanj infektivan, jer u probavnom traktu nosi bakteriju. Larve svoje domaćine najčešće pronalaze u zemljištu, registrujući pokrete plena, ili rastuću koncentraciju ugljen-dioksida koje domaćin oslobađa prilikom disanja (Gaugler i sar, 1997). Infektivne larve imaju zatvorena usta i analni otvor i ne hrane se sve dok ne pronađu insekta domaćina. Njihova veličina varira u zavisnosti od vrste u opsegu od 0,5 do 1,5 mm (Divya i Sankar, 2009). Kada infektivna larva nematode penetrira u hemocel domaćina, dolazi do otpuštanja simbiotskih bakterija (*Xenorhabdus* spp. kod *Steinernema*, *Photorhabdus* spp. kod *Heterorhabditis*) koje se rapidno umnožavaju u hemolimfi, uzrokujući smrt domaćina u roku od 24 do 72 sata (Divya i Sankar, 2009). Infektivna larva tek tada počinje sa ishranom hraneći se bakterijama i jedinjenjima koje bakterije proizvode (antibiotici). Bakterija pretvara insekta u pogodnu sredinu za razvoj nematoda, proizvodnjom širokog spektra antibiotika (Akhurst i Bedding, 1986), ali i sintezom jedinjenja koja mumificiraju domaćina i sprečavaju razgradnju tkiva sve dok traje ishrana i razmnožavanje nematoda (Slika 1) (Divya i Sankar, 2009). Iako su bakterije primarni uzročnici smrti domaćina i same nematode sintetišu određene toksine koji su letalni za insekte (Burman, 1981).



Slika 1. Mumificirana larva parazitirane grčice i izlazak novih generacija entomopatogenih nematoda kroz usni otvor (Majić, 2019)

Larveni stadijum se završava sa četvrtim larvenim stupnjem nakon čega dolazi do pojave mužjaka i ženki I generacije, te sledi razmnožavanje i ovipozicija. Iz jaja se pile larve koje prolaze kroz četiri razvojna stupnja i iz kojih se u telu domaćina razvijaju adulti II generacije nematoda. Reprodukciom adulta II generacije pile se larve koje prolaze kroz dva larvena stupnja i tek u drugom stupnju stupaju u asocijaciju sa simbiotskim bakterijama. Iz larvi drugog stupnja razvijaju se infektivne larve trećeg stupnja, koje kroz usni otvor napuštaju domaćina i u zemljištu započinju traženje novog (Poinar, 1990). U pojedinim domaćinima se ne razvija II generacija nematoda, odnosno larve I generacije postaju infektivne i napuštaju domaćina, dok se u krupnijim insektima razvija i III generacija nematoda (Hazir i sar., 2003). Vremenski period od ulaska infektivne larve u domaćina do napuštanja domaćina varira u zavisnosti od temperature, vrste nematoda i vrste domaćina. Kod voštanog moljca *Galleria mellonella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Pyralidae), ciklus razvoja nematoda traje od 7 do 10 dana pri temperaturi od 25°C (Nguyen i Smart, 1992; Wouts, 1979; Wouts, 1980). U insektu srednje veličine produkuje se od 100 000 do 500 000 infektivnih larvi, koje napuštaju domaćina u roku od 7–10 dana i započinju traženje novog (Slika 2) (Smart, 1995). Kod Steinernematidae i Heterorhabditidae traženje domaćina se vrši vertikalno i horizontalno, pasivno i aktivno (Epsky i sar., 1988; Kaya, 1990; Nguyen i Smart, 1990; Parkman i sar., 1993; Timper i sar., 1988). Među različitim vrstama nematoda prisutna je razlika u načinu lociranja domaćina. Od krajnje pasivnih i statičnih vrsta koje čekaju insekta, do vrsta koje se aktivno kreću u potrazi za domaćinom (Nježić, 2016).



Slika 2. Infektivne larve koje napuštaju abdomen parazitiranog insekta (Ivezić, 2020)

Pasivno širenje nematoda se odvija pomoću kiše, vetra, zemljišta, insekata i ljudi. Aktivno širenje se meri centimetrima, dok se pasivno kretanje pomoću drugih organizama može meriti i kilometrima (Smart i Nguyen, 1994). Infektivne larve su veoma otporne na nepovoljne uslove u zemljištu i u odsustvu domaćina mogu da prežive od nekoliko nekoliko meseci do nekoliko godina, što pretežno zavisi od temperature, vlažnosti i vrste zemljišta (Malan i sar., 2006). Entomopatogenim nematodama pogoduju sve vrste zemljišta (Majić i sar., 2018; Majić i sar., 2019), no za lakše pronalaženje domaćina znatno više pogoduju peskovita zemljišta niske vlažnosti u odnosu na glinovita zemljišta, dok je optimalni temperaturni opseg između 15 i 20°C (Ames, 1990; Kaya, 1990; Kung i sar., 1991; Molyneux, 1985; Nguyen, 1988). Heterorhabditidae imaju slabiju sposobnost preživljavanja u odnosu na Steinernematidae (Molyneux, 1985). Sposobnost preživljavanja

infektivnih larvi u zemljištu zavisi i od populacije drugih zemljišnih organizama. Iako se svrstavaju u grupu prirodnih neprijatelja štetnih insekata, entomopatogene nematode isto tako imaju svoje prirodne neprijatelje. Važnu ulogu u populacionoj ekologiji entomopatogenih nematoda imaju različite bakterije, gljive, grinje, predatorske nematode i mnogi drugi zemljišni organizmi, pri čemu se naročito izdvajaju grinje kao značajni predatori entomopatogenih nematoda (Kaya, 1990; Nguyen i Smart, 1990; Epsky i sar, 1988; Nguyen, 1988; Walter, 1987).

Mraček i Puža (2016) navode da porodica Steinernematidae obuhvata više od 80 različitih vrsta, dok Hunt i Nguyen (2016) navode da je u rodu *Heterorhabditis* identifikovano 16 vrsta. Ono što je zajedničko za oba roda je da samo larva trećeg stupnja u svom probavnom traktu nosi bakteriju, te da je taj larveni stupanj jedini koji može duže vreme da preživi izvan domaćina. Vrste iz rodova *Steinernema* i *Heterorhabditis* se razlikuju po načinu razmnožavanja. Dok se kod predstavnika roda *Steinernema* razmnožavanje odvija kopulacijom mužjaka i ženki, kod vrsta iz roda *Heterorhabditis* prisutne su i hermafroditne i amfimiktične jedinke (Griffin i sar., 2001). Zbog toga kod vrsta roda *Heterorhabditis* jedna infektivna larva može izvršiti uspešnu infekciju domaćina razmnožavanjem, dok je kod *Steinernema* potrebno najmanje dve jedinke različitog pola (Nježić, 2016).

Primena entomopatogenih nematoda

Entomopatogene nematode su pokazale visok nivo efikasnosti u suzbijanju brojnih štetnih insekata, među kojima su predstavnici iz redova Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Blattodea, Heteroptera i Orthoptera (Georgis i Manweiler, 1994; Kaya, 1985; Klein, 1990; Nickle, 1984; Wouts, 1991). Entomopatogene nematode se uspešno primenjuju za suzbijanje zemljišnih štetočina, štetočina koje su aktivne iznad površine zemljišta, ali i za suzbijanje štetočina na nepristupačnim staništima (Arthurs i sar., 2004; Shapiro-Ilan i sar. 2006). Ipak, najveća efikasnost se postiže u kontroli insekata, koji makar jedan deo svog životnog ciklusa provode u zemljištu. Nježić (2016) ističe brojna istraživanja koja ukazuju na efikasnu primenu entomopatogenih nematoda u kontroli poljoprivrednih štetočina kao što su: veliki borov surlaš *Hylobius abietis* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Curculionidae) (Williams i sar., 2013); breskvin smotavac *Grapholita molesta* Busck, 1913 (Lepidoptera: Tortricidae) (Riga i sar., 2006); mala košničina buba *Aethina tumida* Murray 1867 (Coleoptera: Nitidulidae) (Shapiro-Ilan i sar., 2010); kukuruzna zlatica *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, 1868 (Coleoptera: Chrysomelidae) (Toepfer i sar., 2008); žilogriz *Capnodis tenebrionis* Linnaeus 1758 (Coleoptera: Buprestidae) (Garcia del Pino i Morton, 2005) i veliki breskvin staklokri-lac *Synanthedon exitiosa* Say, 1823 (Lepidoptera: Sesiidae) (Shapiro-Ilan, 2010). Pored navedenih štetnih insekata, entomopatogene nematode se primenjuju i za suzbijanje štetočina u zatvorenom prostoru: leptirasta vaš *Bemisia tabaci* Genna-

dus, 1889 (Hemiptera: Aleyrodidae) (Cuthbertson i sar., 2007); kupusni moljac *Plutella xylostella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Plutellidae) (Schroer i Ehlers, 2005); moljac paradajza *Tuta absoluta* Meyrick, 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae) (Batalla-Carera i sar. 2010) i kalifornijski trips *Frankliniella occidentalis* Pergande 1895 (Thysanoptera: Tripidae) (Premachandra i sar., 2003). Postoje primeri uspešne primene entomopatogenih nematoda u kontroli štetočina koje se razvijaju na nadzemnim biljnim organima kao što su: crveni surlaš palmi *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier, 1790 (Coleoptera: Curculionidae) (Llacer i sar., 2009) i jabukin smotavac *Cydia pomonella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Tortricidae) (Lacey i sar., 2012).

Entomopatogene nematode se mogu primeniti sa standardnom opremom za zaštitu bilja i kompatibilne su sa većinom sredstava za zaštitu bilja, ali se mogu primeniti i kroz sisteme za navodnjavanje (Dutky, 1974; Rovesti i Deseo, 1991). Interakcija s pesticidima zavisi od vrste nematode, ali i aktivne materije, doze i vremena aplikacije, premda u većini slučajeva ne postoji inhibitorški uticaj pesticida na delovanje nematoda (Koppenhooper i Grewal, 2005). Entomopatogene nematode odlikuju brojne osobine koje ih čine izrazito pogodnim biološkim agensima, pre svega širok spektar domaćina, aktivno traženje domaćina, ubijanje domaćina u roku od 48 sati, jednostavno laboratorijsko gajenje i terenska aplikacija, dugoročna efikasnost, kompatibilnost sa većinom hemijskih sredstava i bezbednost po životnu sredinu (Kaya, 1990). Brojna istraživanja pokazala su da je primena entomopatogenih nematoda bezbedna po sisare, bilo da se nematode unesu hranom, ubrizgavaju ili inhaliraju (Boemare i sar., 1996). Takođe, utvrđeno je da njihovo pristupstvo u zemljištu ne zagađuje životnu sredinu i da nisu opasne po druge zemljišne organizme (Capinera i sar., 1982). O njihovoj bezbednosti po životnu sredinu govori podatak da se u mnogim zemljama poput Indije, Australije, Sjedinjenih Američkih Država, ali i u mnogim evropskim zemljama ne zahteva registracija entomopatogenih nematoda (Ehlers i Hokkenen, 1996; Ehlers, 2005). Entomopatogene nematode se komercijalno proizvode i distribuiraju u velikom broju zemalja širom Zapadne Evrope, Australije, Azije i Severne Amerike. U mnogim zemljama je primena ovih organizama i dalje eksperimentalnog karaktera u cilju utvrđivanja efikasnosti entomopatogenih nematoda u suzbijanju različitih štetnih organizama. Najveći nedostatak je relativno visoka cena koštanja ovih bioloških agenasa u odnosu na hemijska sredstva za zaštitu bilja, stoga je njihova upotreba ograničena na specifična tržišta i pretežno se primenjuju u usevima visoke vrednosti u razvijenim zemljama (Hazir, 2003). Ukoliko se uzmu u obzir sve prednosti primene entomopatogenih nematoda, kao što su bezbednost po ljude i životnu sredinu, redukcija upotreba pesticida, stimulisanje aktivnosti drugih prirodnih neprijatelja i povećani biodiverzitet u ekosistemu, upotreba ovih prirodnih neprijatelja je svakako više nego opravdana (Divya i Sankar, 2009).

LITERATURA

- Akhurst RJ, Bedding RA 1986. Natural occurrence of insect pathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) in soil in Australia. *J. Aust. Entom. Soc.* 25(3): 241–244.
- Ames, LM 1990. The role of some abiotic soil factors in the survival of steinernema scapterisci. M.S. thesis, University of Florida, Gainesville.
- Arthurs S, Heinz KM, Prasifka JR. 2004. An analysis of using entomopathogenic nematodes against above-ground pests. *Bull. Entomol. Res.* 94, 297–306.
- Batalla-Carera L, Morton A, Garcia del Pino F 2010. Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *BioControl* 55: 523–530.
- Boemare N, Laumond C, Mauleon H 1996. The entomopathogenic nematode-bacterium complex: biology, life cycle and vertebrate safety. *Biocontrol Sci. Technol.* 6(3), 333–345.
- Brmež M, Ivezić M, Raspudić E, Majić I, 2004. Dinamika populacije nematoda u pšenici. *Poljoprivreda* 10 (2): 5–9.
- Burman, M. 1982. *Neoaplectana carpocapsae*: Toxin production by axenic insect parasitic nematodes. *Nematologica* 28:62–70.
- Capinera JL, Blue SL, Wheeler GS 1982. Survival of earthworms exposed to *Neoaplectana carpocapsae* nematodes. *J. Invert. Pathol.* 39 (3): 419–421.
- Cuthbertson AGS, Walters KFA, Northing P, Luo W 2007. Efficacy of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*, against sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) under laboratory and glasshouse conditions. *Bulletin of entomological research* 97: 9–14.
- Divya K, Sankar M 2009. Entomopathogenic nematodes in pest management. *Indian Journal of Science and Technology* 2(7): 53–60.
- Dutky SR 1974. Nematode parasites. In: Maxwelland FG, Harris FA (eds). *Proceeding of the summer institute on biological control of plant insects and diseases*. University Press of Mississippi, Jackson. 576–590.
- Ehlers RU 2005. Forum on safety and regulation, In: Grewal PS, Ehlers RU, Shapiro-Ilan DI (eds). *Nematodes as biocontrol agents*. CABI Publ, Wallingford, UK. pp: 107–114.
- Ehlers RU, Hokkanen HMT 1996. Insect biocontrol with non-endemic entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.): Conclusions and recommendations of a combined OECD and COST workshop on scientific and regulatory policy issues. *Biocontrol Sci. Technol.* 6, 295–302.
- Ehler LE 1990. Some contemporary issues in biological control of insects and their relevance to the use of entomopathogenic nematodes. In: Gaugler R and Kaya HK (eds). *Press*. Boca Raton, FL 1–19.
- Epsky ND, Walter DE, Capinera JL 1988. Potential role of nematophagous microarthropods as biotic mortality factors of entomogenous nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae). *Journal of Economic Entomology* 81: 821–825.

- Garcia del Pino F, Morton A. 2005. Efficacy of entomopathogenic nematodes against neonate larvae of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae) in laboratory trials. *Biocontrol* 50: 307–316.
- Gaugler R, Bilgrami AL 2004. Nematode behavior. 2–3.
- Gaugler R, Wilson M, Shearer P 1997. Field release and environmental fate of a transgenic entomopathogenic nematode. *Biol. Control*. 9, 75–80.
- Gaugler R. 1988. Ecological considerations in the biological control of soilinhabiting insects with entomopathogenic nematodes. *Agriculture, ecosystems and environment*, 24(1–3): 351–360.
- Georgis R 2002. The Biosys experience: an insider's perspective. In: *Entomopathogenic Nematology*. Gaugler R. (ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK 357–372.
- Georgis R, Manweiler SA 1994. Entomopathogenic nematodes: A developing biological control technology. *Agricultural Zoology Reviews* 6: 63–94.
- Grewal PS, Nardo ED, Aguilera MM 2001. Entomopathogenic Nematodes: Potential for exploration and use in South America. *Neotropical Entomology*. 30(2), 191–205.
- Griffin, CT, Boemare NE, Lewis EE 2005. Biology and Behaviour. In: Grewal, P.S. Ehlers, RU and Shapiro- Ilan, DI (eds.) *Nematodes as biocontrol agents*. Wallington: CABI Publishing pp: 47–63.
- Hazir S, Kaya HK, Stock P, Keskin N 2003. Entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) for biological control of soil pests. *Turk J biol*. 27: 181–202.
- Hodda M 2011. Phylum Nematoda Cobb, 1932. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*. 3148: 63—95.
- Hunt DJ, Nguyen KB 2016. *Advances in Entomopathogenic Nematode Taxonomy and Phylogeny*. Series: *Nematology Monographs and Perspectives*. Vol. 12. Leiden, Brill Academic Pub.
- Kaya HK 1985. Entomogenous nematodes for insect control in IPM systems. In: Hoy MA, Herzog DC (eds). *Biological control in agricultural IPM systems*. Orlando, FL: Academic Press 283–302.
- Kaya HK 1990. Soil ecology. In: Gaugler R and Kaya HK (eds). *Entomopathogenic nematodes in biological control*. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 93- 115.
- Klein MG 1990. Efficacy against soil inhabiting insect pests. In: Gaugler R, Kaya HK (eds). *Entomopathogenic nematodes in biological control*. BocaRaton, FL: CRC Press 195–214.
- Koppenhöfer AM, Grewal PS 2005. Compatibility and interactionns with agrochemicals and others. In: Grewal, P.S. Ehlers, R.-U. and Shapiro-Ilan, D.I. (eds.) *Nematodes as biocontrol agents*. Wallington: CABI Publishing 363–381.
- Kung SP, Gaugler R, Kaya HK 1991. Effects of soil temperature, moisture, and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. *Journal of Invertebrate Pathology* 57:242–249.
- Lacey LA, Georgis R 2012. Entomopathogenic nematodes for control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology*, 44: 218–225.

- Llacer E, Martinez de Altube MM, Jacas JA 2009. Evaluation of the efficacy of *Steinernema carpocapsae* in a chitosan formulation against the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* in *Phoenix canariensis*. *BioControl* 54: 559–565.
- Majić I; Sarajlić A; Lakatos T, Toth T, Raspudić E; Zebec V; Šarić GK; Kovačić M; Laznik Ž 2018. First report of entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) from Croatia. *Helminthologia* 55(3): 256–260.
- Majić I; Sarajlić A; Lakatos T; Toth T; Raspudić E; Puškadija Z; Šarić GK, Kanižai Laznik Ž 2019. Virulence of new strain of Heterorhabditis bacteriophora from Croatia against *Lasioptera rubi*, *Plant protection science* 55(2): 134–141.
- Malan AP, Nguyen KB, Addison MF 2006. Entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from the southwestern parts of South Africa. *African Plant Protection* 12: 65–69.
- Molyneux AS 1985. Survival of infective juveniles of Heterorhabditis spp., and Steinernema spp. (Nematoda: Rhabditida) at various temperatures and their subsequent infectivity for insects. *Revue de Nematologie* 8:165–170. 28.
- Mraček Z, Puža V, Nermut J 2106. The significance of the tail projections in female entomopathogenic nematodes within the family Steinernematidae. *Cambridge University Press* 90 (2): 249–251
- Nguyen KB 1988. A new nematode parasite of mole crickets: Its taxonomy, biology, and potential for biological control. Ph.D. dissertation, University of Florida, Gainesville.
- Nguyen KB, Smart GC, Jr. 1992. Life cycle of *Steinernema scapterisci* Nguyen and Smart, 1990. *Journal of Nematology* 24:160–169.
- Nguyen KB, Smart, GC Jr. 1990. Vertical dispersal of *Steinernema scapterisci*. *Journal of Nematology* 22:574–578.
- Nickle WR 1984. History, development, and importance of insect nematology. In W.R. Nickle, ed. *Plant and insect nematodes*. New York: Marcel Dekker. 627–653
- Nickle WR 1984. *Plant and insect nematodes*. New York: Marcel Dekker.
- Nježić B, 2016. Entomopatogene nematode u biološkoj zaštiti bilja. *Glasnik zaštite bilja, Hrvatska*. 4: 10–14.
- Parkman JP, Frank JH, Nguyen KB, Smart, GC Jr. 1993. Dispersal of *Steinernema scapterisci* (Rhabditida: Steinernematidae) after inoculative applications for mole cricket (Orthoptera: Gryllotalpidae) control in pastures. *Biological Control* 3: 226–232.
- Poinar GO Jr. 1990. Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. In: Gaugler R., Kaya H.K. (eds): *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. Boca Raton, CRC Press: 23–61.
- Premachandra WTSD, Borgemeister C, Berndt O, Ehlers RU, Poehling HM 2003. Combined releases of entomopathogenic nematodes and the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* to control soil-dwelling stages of western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *BioControl* 48: 528–543.
- Riga E, Lacey LA, Guerra N, Headrick HL 2006. Control of the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta*, Using Entomopathogenic Nematodes in Laboratory and Fruit Bin Assays. *Journal of Nematology* 38, 168–171.

- Rovesti L, Deseo KV 1991. Compatibility of pesticides with the entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis heliothidis*. *Nematologica* 37:113- 116.
- Schroer S, Ehlers RU 2005. Foliar application of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* for biological control of diamondback moth larvae (*Plutella xylostella*). *Biological Control* 33: 81–86.
- Shapiro-Ilan DI, Gough DH, Piggott SJ, Fife JP 2006. Application technology and environmental considerations for use of entomopathogenic nematodes in biological control. *Biol. Control*. 38, 124–133.
- Shapiro-Ilan DI, Morales-Ramos JA, Rojas MG, Tedders WL 2010. Effects of a novel entomopathogenic nematode-infected host formulation on cadaver integrity, nematode yield, and suppression of *Diaprepes abbreviatus* and *Aethina tumida*. *Journal of Inverte Pathology*. 103(2):103–8.
- Smart GC Jr 1995. Entomopathogenic Nematodes for the Biological Control of Insects. Supplement to the *Journal of Nematology* 27(4S):529–534.
- Smart GC Jr, Nguyen KB 1994. Role of entomopathogenic nematodes in biological control. In: Rosen D, Bennett FD, Capinera JL (eds). *Pest management in the subtropics: Biological control*. Andover, UK: Intercept 231–252.
- Stock SP, Hunt DJ 2005. Morphology and Systematics of Nematodes used in Biocontrol. In: Grewal, P.S. Ehlers, R.-U. and Shapiro-Ilan, D.I. (eds). *Nematodes as biocontrol agents* Wallington: CABI Publishing pp: 3–43.
- Timper P, Kaya HK, Gaugler R 1988. Dispersal of the entomogenous nematode *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) by infected adult insects. *Environmental Entomology* 17:546.
- Toepfer S, Peters A, Ehlers RU, Kuhlmann U 2008. Comparative assessment of the efficacy of entomopathogenic nematode species at reducing western corn rootworm larvae and root damage in maize. *Journal of applied Entomology* 132: 337–348.
- Walter DE 1987. Life history, trophic behavior, and description of *Gamasellodes vermivorax* n. sp. (Mesostigmata: Ascidae), a predator of nematodes and arthropods in semiarid grasslands. *Canadian Journal of Zoology* 65:1689–1695.
- Weischer B, Brown DJF 2000. An introduction to Nematodes. *General Nematology*. Pensoft, Sofia, Bulgaria pp. 188
- Williams CD, Dillon AB, Harvey CD, Hennessy R, Mc Namara L, Griffin CT 2013. Control of major pest of forestry, *Hyllobius abietes*, with entomopathogenic nematodes and fungi using eradicator and prophylactic strategies. *Forest Ecology and Management* 305, 212–222.
- Wouts WM 1979. The biology and life cycle of a New Zealand population of *Heterorhabditis heliothidis* (Heterorhabditidae). *Nematologica* 25:191- 202.
- Wouts WM 1980. The biology, life cycle, and redescription of *Neoplectana bibionis* Bovien, 1937 (Nematoda: Steinernematidae). *Journal of Nematology* 12:62–72.
- Wouts WM 1991. *Steinernema* (Neoplectana) and *Heterorhabditis* species. In: Nickle WR (ed). *Manual of agricultural nematology*. New York: Marcel Dekker pp. 855–897.
- Yeates GW, Bongers T, 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(3): 315–331.

Abstract

ROLE OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES IN INSECT PESTS MANAGEMENT

Aleksandar Ivezić

Agricultural extension service of Kikinda, Department of Forecasting and Warning Service in plant protection, Serbia
E-mail: aleksandarivezic@yahoo.com

In the programmes of biological control, a large number of different beneficial organisms are applied, including certain groups of nematodes. From the aspect of biocontrol measures, the most significant group of nematodes is entomopathogenic nematodes, which represents both natural and ecological solution for pest control management. The protection success relies on the specific-mutualistic relationship between nematodes and bacteria, where nematodes in its intestinal carries cells of a symbiotic bacterium that kills the host insect. Regarding nematode-related biological control, two families draw the most attention, Steinernematidae and Heterorhabditidae. Within family Steinernematidae, the genus *Steinernema* stands out, while within Heterorhabditidae the most important genus is *Heterorhabditis*. Entomopatogenic nematodes have been used to control numerous agricultural pests, which include insects of different orders such as: Lepidoptera, Siphonaptera, Diptera, Coleoptera, Blattodea, Orthoptera and Heteroptera. Entomopathogenic nematodes are characterized by numerous traits that make them extremely suitable biological control agents: wide host spectrum, active host seeking, killing the host within 48 hours, easy mass production and field application, long-term efficacy, compatibility with most chemicals and environmentally safe.

Key words: entomopathogenic nematodes, biological control, Steinernematidae, Heterorhabditidae