

Agrovoc descriptors: insect control; pest control; nematoda; biological control; coleoptera; scarabaeidae; curculionidae; chrysomelidae; silvanidae

Agris category codes: H10

Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za agronomijo

COBISS koda 1.02

Entomopatogene ogorčice – biotični agensi za zatiranje žuželk iz reda Coleoptera

Žiga LAZNIK¹, Stanislav TRDAN²

Delo je prispelo 19. aprila 2007, sprejeto 20. junija 2007

Received April 19, 2007; accepted June 20, 2007

IZVLEČEK

V prispevku so predstavljeni rezultati dosedanjih raziskav delovanja entomopatogenih ogorčic na gospodarsko pomembne škodljivce iz reda Coleoptera. Ti rezultati kažejo, da so lahko entomopatogene ogorčice učinkoviti biotični agensi za zatiranje hroščev iz različnih družin; Scarabaeidae, Curculionidae, Chrysomelidae in Silvanidae. S prispevkom želimo pokazati, da imajo entomopatogene ogorčice vse možnosti, da postanejo v prihodnosti tudi v Sloveniji pomemben biotični dejavnik zatiranja škodljivih hroščev, s čimer bodo lahko delno nadomestile danes prevladujočo uporabo insekticidov.

Ključne besede: entomopatogene ogorčice, hrošči, Coleoptera, Scarabaeidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Silvanidae, biotično varstvo

ABSTRACT

ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES – BIOLOGICAL AGENTS FOR CONTROLLING COLEOPTERAN SPECIES

The results of previous research on entomopathogenic nematodes activity against harmful Coleopteran species are presented in the paper. These results showed that the nematodes in question can be an efficient biological control agents against the Scarabaeidae, Curculionidae, Chrysomelidae and Silvanidae species. The aim of this paper is to prove the fact that also in Slovenia entomopathogenic nematodes have all possibilities to become an important biological agents as a substitute for insecticides which use in controlling harmful Coleopteran species still prevails in the country.

Key words: entomopathogenic nematodes, beetles, Coleoptera, Scarabaeidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Silvanidae, biological control

¹ asistent, univ. dipl. inž. agr., mladi raziskovalec, Jamnikarjeva 101, SI-1111 Ljubljana, e-mail: ziga.laznik@bf.uni-lj.si

² doc. dr., Jamnikarjeva 101, SI-1111 Ljubljana, e-mail: stanislav.trdan@bf.uni-lj.si

1 UVOD

Uporaba entomopatogenih ogorčic kot načina biotičnega varstva rastlin pred škodljivimi žuželkami je dobro znana (Kaya in Gaugler, 1993; Helyer *et al.*, 1995). Entomopatogene ogorčice živijo v sožitju z bakterijami, ki jih ogorčice po infekciji sprostijo v hemolimfni sistem gostitelja (Gaugler, 2002). Sposobnost infekcije gostitelja imajo le infektivne ličinke (IJs), ki v posebnih črevesnih veziklih prenašajo simbiotsko bakterijo (Kaya, 2000). Gostitelj, ki so ga napadle entomopatogene ogorčice, navadno umre zaradi zastrupitve ali odpovedi nekaterih organov v 24 do 72 urah po infekciji (Forst in Clarke, 2002; Smart, 1995).

Rezultati številnih raziskav so pokazali, da so entomopatogene ogorčice (v nadaljevanju uporabljamo tudi okrajšavo EPO) v visokih koncentracijah v povezavi z ugodnimi abiotičnimi dejavniki (visoka vlaga, optimalna temperatura) učinkoviti biotični agensi za zatiranje odraslih osebkov iz reda Coleoptera (Journey and Ostlie, 2000; Trdan *et al.*, 2006). Dosedanje raziskave so potrdile njihovo učinkovitost pri zatiranju odraslih osebkov japonskega hrošča (*Popillia japonica* Newman) (Lacey *et al.*, 1993; Grewal *et al.*, 2002; Koppenhöfer in Fuzy, 2007), koruznega hrošča (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) (van der Burgt *et al.*, 1998; Toepfer, 2005) hrošča *Typhaea stercorea* (L.) (Svendsen and Steenberg, 2000), črnega žitnega žužka (*Sitophilus granarius* [L.]) (Trdan *et al.*, 2006), surinamskega mokaarja (*Oryzaephilus surinamensis* [L.]) (Trdan *et al.*, 2006), kapusove bolhače (*Phyllotreta* spp.) (Laznik, 2006) in še nekaterih drugih predstavnikov iz reda Coleoptera.

Številne druge raziskave so pokazale, da so EPO pri manjših koncentracijah mnogo bolj učinkovite pri zatiranju preimaginalnih stadijev žuželk iz reda Coleoptera (Theunis, 1998; Converse in Grewal, 1998; Ansari *et al.*, 2003). Podobne ugotovitve so mnogi potrdili tudi pri zatiranju žuželk iz drugih redov; Thysanoptera (Ebbsa, 2005; Premachandra *et al.*, 2003a; Helyer *et al.*, 1995), Lepidoptera (Shamseldeen in Ismail, 1997; Yakir *et al.*, 1998), Diptera (Nielsen in Philipson, 2004; Hara *et al.*, 1993) in še nekaterih drugih. V večini zgledov je šlo za ličinke, ki pretežni del svojega razvoja preživijo v tleh in so zaradi tega mnogo bolj ustrezne za preučevanje učinkovitosti EPO, ki so talni organizmi (Gaugler, 2002).

2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV

2.1 Družina Scarabaeidae

Ogreci so ličinke hroščev iz družine skarabejev (Scarabaeidae), ki se prehranjujejo s podzemnimi deli rastlin in s tem velikokrat povzročajo precejšnjo škodo; ta je navadno največja na travni ruši. Med vsemi hrošči je bilo delovanje EPO doslej najbolj intenzivno preučevano prav na predstavnikih te družine (Klein, 1990, 1993). Ker so ogreci talni škodljivci, je bilo v preteklih letih iz mrtvih osebkov izoliranih več vrst EPO (Peters, 1996). V evoluciji so omenjeni škodljivci razvili številne obrambne mehanizme, ki vplivajo na različno stopnjo njihove odpornosti na različne vrste EPO (Gaugler, 2002).

Sploh prva izolacija EPO je bila leta 1923 iz hrošča *Popillia japonica*, omenjenega škodljivca pa so v prvem poljskem poskusu z EPO zatirali že v štiridesetih letih prejšnjega stoletja (Glaser, 1932; Fleming, 1968). Klein (1990, 1993) je v tej zvezi poročal o boljši učinkovitosti vrste *Steinernema glaseri* v primerjavi z vrsto *S. feltiae*. Georgis in Gaugler (1991) sta ugotovila, da je učinkovitost vrste *Heterorhabditis bacteriophora* za zatiranje vrste *P. japonica* ob ustreznem nanosu primerljiva z insekticidi. Grewal *et al.* (2002) poročajo, da sta vrsti *H. zealandica* sev X1 in *H. bacteriophora* sev GPS11 povzročili več kot 50% smrtnost žuželke *P. japonica*, medtem ko sta bili vrsti *H. indica* in *H. marelatus* manj učinkoviti, saj sta povzročili okrog 20% smrtnost osebkov.

Na učinkovitost EPO pri zatiranju ogrcev vplivajo interakcije med različnimi biotičnimi in abiotičnimi dejavniki. Med slednjimi sta pomembna vsebnost organske snovi v tleh - ta zavira premikanje ogorčic v nižje talne plasti (Georgis and Gaugler, 1991; Zimmerman and Cranshaw, 1991) - in stopnja vlažnosti tal (Shetlar *et al.*, 1988; Georgis in Gaugler, 1991). Ogorčice so bolj učinkovite v fino strukturiranih tleh, ker je njihova mobilnost v višje plasti boljša, tam pa se zadržuje več ogrcev (Georgis in Gaugler, 1991). Znano je, da so precej bolj učinkovite za zatiranje ogrcev tiste vrste EPO, ki iščejo gostitelje aktivno. Med te štejemo vrste iz rodu *Heterorhabditis* in vrsto *S. glaseri*. Ogorčice, ki čakajo na žrtve v zasedi (na primer vrsta *S. carpocapsae*) so navadno manj učinkovite (Gaugler *et al.*, 1997a). Prav to dejstvo pojasnjuje rezultate predhodnih raziskav (Georgis in Gaugler, 1991; Georgis in Poinar, 1994), ko je bila ugotovljena različna stopnja učinkovitosti različnih vrst EPO.

Najboljši odgovor na enkapsulacijo, način obrambnega mehanizma, ki je značilen tudi za vrsto *P. japonica*, ima vrsta *S. glaseri* (Cui *et al.*, 1993; Wang *et al.*, 1995). Ta vrsta obrambe je pri vrsti *H. bacteriophora* povzročila kar 75% smrtnost, medtem ko je bila ta pri vrsti *S. glaseri* le 12%. V sorodni raziskavi so ugotovili, da je vrsta *S. glaseri* najbolj učinkovita (76,5%) za zatiranje hrošča *Cyclocephala hirta* LeConte (Converse in Grewal, 1998), medtem ko so bile manj učinkovite ogorčice *S. feltiae*, *S. anomali*, *S. kushidai*, *H. bacteriophora* in *H. megidis*. Vrsti *S. carpocapsae* in *S. riobravus* nista pokazali patogenosti za omenjenega škodljivca travne ruše. Zato neuspešnost nekaterih poskusov, ko se določene vrste EPO niso izkazale za učinkovite agense pri zatiranju hroščev iz družine Scarabaeidae, lahko pripisujemo napačni izbiri vrst ogorčic (Converse in Grewal, 1998). Ogorčice, še posebno vrsta *H. bacteriophora* postanejo manj infektivne za ogrce, ko pade temperatura tal pod 20°C (Georgis in Gaugler, 1991).

Hrošč *Anomala orientalis* Waterhouse je manj občutljiv na delovanje vrste *H. bacteriophora* kot hrošč *P. japonica*, medtem ko sta vrsti *Rhizotrogus majalis* (Razoumowsky) in *Maladera castanea* (Arrow) popolnoma odporni na napad omenjene ogorčice (Koppenhöfer *et al.*, 2006). Vrsta *S. scarabaei*, ki so jo izolirali iz ogrcev v New Jersey-u, je na prostem najučinkoviteje delovala na vrste *P. japonica*, *A. orientalis* in *R. majalis*. Omenjena ogorčica je pokazala izjemen potencial v biotičnem zatiranju ogrcev. Vse ostale vrste ogorčic v poskusu (*H. bacteriophora*, *H. zealandica* in *S. glaseri*) so bile prav tako učinkovite, a predvsem v laboratorijskih razmerah (Koppenhöfer and Fuzy, 2007).

Različne stopnje ličink omenjenih škodljivcev kažejo razlike v občutljivosti na napad EPO (Deseö *et al.*, 1990; Fujiie *et al.*, 1993; Smits *et al.*, 1994). Za hrošča *Rhizotrogus majalis* so ugotovili, da je v drugi larvalni stopnji mnogo bolj občutljiv na delovanje entomopatogene ogorčice *H. bacteriophora* kot v tretji larvalni stopnji. Osebkii tretje larvalne stopnje so namreč večji in za njihovo zatrtje je potrebna višja koncentracija suspenzije ogorčic (Taesdale in Henderson, 2003). Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Simard *et al.* (2001), ki so obenem ugotovili tudi, da je učinkovitost ogorčic večja v peščenih tleh.

Costello (2003) je v laboratorijskih razmerah primerjal učinkovitost nekaterih insekticidov in EPO za zatiranje ličink hrošča *Rhizotrogus majalis*. Vrsti *S. feltiae* in *H. bacteriophora* sta bili zelo učinkoviti (71%), njuno delovanje pa je bilo primerljivo z insekticidi, ki se uporabljajo za zatiranje omenjenih žuželk v konvencionalnem kmetijstvu.

Entomopatogeni ogorčici *S. glaseri* in *H. megidis* sta bili bolj učinkoviti kot vrsta *S. feltiae* za zatiranje tretjega larvalnega stadija skarabeja *Hoplia philanthus* Füssly. Izračunani LC₅₀ in LC₉₀ vrednosti sedmi dan po tretiranju sta bili za najbolj učinkoviti vrsti ogorčic 4,6 oz. 9,7 ter 79,3 oz. 511,8 IJs/ogrca. Omenjene raziskovalce je zanimalo, če je učinkovitost ogorčic za zatiranje tega škodljivca večja ob sočasnem nanosu entomopatogene glive *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin. Pri koncentraciji suspenzije 5×10^{12} konidijev/ha in $2,5 \times 10^9$ IJs/ha (*H. bacteriophora*) je bila ugotovljena kar 95% stopnja smrtnosti škodljivca. Kombinacija glive in EPO se je pokazala za učinkovit način zatiranja hrošča *H. philanthus* in se priporoča v integriranem varstvu rastlin, nadaljnje raziskave pa bodo pokazale ali izbrana kombinacija učinkovito deluje tudi na druge vrste škodljivih žuželk (Ansari *et al.*, 2006).

V laboratorijskem poskusu (Theunis, 1998) so preučevali učinkovitost šestih vrst EPO - *S. glaseri* (#326 in nc 34, gb), *S. feltiae*, *S. carpocapsae* in *H. zealandica* - za zatiranje hrošča *Papuana uninodis* Prell. Najboljše rezultate je pokazala vrsta *S. glaseri* (#326), za katero je bila pri omenjenem škodljivcu LD₅₀ vrednost 7000 IJs/ogrca (en dan po nanosu) oz. 250 IJs/ogrca (6 dni po nanosu). Nadaljnji poskusi ugotavljanja učinkovitosti ogorčic na istega škodljivca na prostem niso dali zadovoljivih rezultatov.

Za vrsto *Popillia japonica* je bilo ugotovljeno, da odgovori na napad entomopatogenih ogorčic na prav poseben način. Z drgnjenjem nog ob telo namreč iz površja telesa odstranjuje ogorčice. Na ta način naj bi žuželka odstranila 60% napadalcev, vendar pa so ostale ogorčice vseeno sposobne povzročiti smrt žuželke, a v znatno nižjem odstotku (~25%) (Gaugler *et al.*, 1994).

2.2 Družina Curculionidae

Entomopatogene ogorčice iz rodov *Steinernema* in *Heterorhabditis* so uspešni biotični agensi tudi za zatiranje različnih vrst hroščev iz družine Curculionidae. Dosedanje raziskave govorijo o njihovem uspešnem delovanju na vrste iz rodu *Otiorynchus* (Wilson *et al.*, 1999), *Diaprepes abbreviatus* (L.) (McCoy *et al.*, 2002;

Shapiro in McCoy, 2000), *Pachnaeus litus* (Germar) (Lacey in Shapiro, 2003) in na nekatere druge (Trdan *et al.*, 2005, 2006).

Jansson in Lecrone (1994) poročata o učinkovitem delovanju EPO na rilčkarja *Cylas formicarius elegantulus* (Summers). Ogorčice iz rodu *Heterorhabditis* so se izkazale za bolj učinkovite od ogorčic iz rodu *Steinernema* (Jansson *et al.*, 1990, 1993).

V laboratorijskih razmerah je bila preučevana tudi učinkovitost zatiranja različnih vrst EPO v odvisnosti od koncentracije suspenzije in temperature na hroščke črnega žitnega žužka (*Sitophilus granarius*). Rezultati raziskave so pokazali, da koncentracija suspenzije ni vplivala na smrtnost obravnavanega škodljivca, medtem ko sta se vrsta ogorčic in temperatura izkazala za signifikantna dejavnika učinkovitosti ogorčic. Smrtnost hroščkov je bila največja pri 20 in 25°C, v poskusu, ki je vključeval štiri vrste ogorčic - *S. feltiae*, *S. carpocapsae*, *H. bacteriophora* in *H. megidis* -, pa se je le slednja izkazala kot neučinkovita. Najboljše delovanje je pokazala vrsta *H. bacteriophora* pri 25°C, ko je povzročila 81% smrtnosti hroščkov (Trdan *et al.*, 2005, 2006).

Entomopatogena ogorčica *S. carpocapsae* je bila prva, za katero je bilo dokazano učinkovito delovanje na rilčkarja *Diaprepes abbreviatus*, ki spada med pomembnejše škodljivce citrusov (Laumond *et al.*, 1979). Uporaba ogorčice za zatiranje omenjenega škodljivca se je pozneje razširila tudi v tržni pridelavi citrusov (Smits, 1994). Številni laboratorijski poskusi in poskusi v rastlinjakih so pokazali večjo učinkovitost omenjenega agensa v primerjavi z vrstami *S. glaseri*, *S. feltiae* in *H. bacteriophora* v biotičnem zatiranju *D. abbreviatus* (Schroeder, 1987; Figueroa in Roman, 1990). Vendar pa je bila učinkovitost ogorčice v laboratorijskih poskusih boljša kot se je pozneje pokazalo na prostem, kjer je bila manjša od 70% (Gaugler, 2002). Poznejše laboratorijske in poljske raziskave so pokazale, da je za zatiranje rilčkarja bolj učinkovita vrsta *S. riobravo* (Schroeder, 1994; Duncan *et al.*, 1996; Bullock *et al.*, 1999b). Stuart *et al.* (2004) poročajo, da se je učinkovitost vrste *S. riobravo* pri zatiranju rilčkarja *D. abbreviatus* gibala od 57 do 84%. Omenjena raziskava je potrdila rezultate predhodnjih (Duncan in McCoy, 1996; Shapiro *et al.*, 1999; Shapiro in McCoy, 2000). V številnih raziskavah je omenjena vrsta ogorčic povzročila tudi več kot 90% smrtnost ličink omenjenega škodljivca (Duncan in McCoy, 1996; Duncan *et al.*, 1996; Bullock *et al.*, 1999b).

Trenutno se za zatiranje vrste *D. abbreviatus* tržijo le pripravki na podlagi vrst *S. riobrave* in *H. indica* (Lacey in Shapiro, 2003). McCoy *et al.* (2002) so preučevali delovanje pripravka Grubstake™ 100, katerega aktivno snov predstavljajo infektivne ličinke vrste *H. indica* ter Bio Vector 355, v katerem so aktivna snov infektivne ličinke vrste *S. riobrave*. Dobljeni rezultati niso bili skladni s pričakovanji, saj je bila učinkovitost obeh pripravkov precej nizka. Razlago lahko iščemo v dejstvu, da na učinkovitost EPO vpliva več dejavnikov (vrsta gostitelja, okolje, stopnja ličinke, temperatura tal) (Kaya in Gaugler, 1993), koncentracija ogorčic v suspenziji ali v tleh (Shapiro-Ilan *et al.*, 2002; McCoy *et al.*, 2000), formulacija pripravka (Shapiro-Ilan in McCoy, 2000) in tip tal (Shapiro-Ilan *et al.*, 2000; McCoy *et al.*, 2002).

Rilčkar *Otiorynchus sulcatus* (Fabricius) spada med gospodarsko najpomembnejše škodljivce brusnic, jagod in okrasnih rastlin v Severni Ameriki in Zahodni Evropi. V

Severni Ameriki za zatiranje omenjenega škodljivca na leto porabijo od 25 do 70 milijonov dolarjev (Shapiro-Ilan *et al.*, 2006), na Nizozemskem pa od 500.000 do 2 milijona dolarjev (van Tol in Raupp, 2006). Poljski poskusi so pokazali, da so ogorčice iz rodu *Heterorhabditis* bolj učinkovite od tistih iz rodu *Steinernema* (van Tol in Raupp, 2006; van Tol *et al.*, 2004). Najpomembnejši omejujoči dejavnik pri zatiranju tega rilčkarja z EPO je temperatura tal, optimalen čas za uporabo ogorčic pa je pozno spomladi (konec aprila, maj) (van Tol *et al.*, 2004). V sorodni raziskavi so Wilson *et al.* (1999) preučevali učinkovitost dveh vrst EPO (*H. bacteriophora* in *H. marelatus*) za zatiranje vrste *O. sulcatus*. Obe ogorčici sta pomembno zmanjšali število ličink omenjenega škodljivca. V drugi raziskavi je bilo ugotovljeno, da je vrsta *H. heliothidis* pri visokih koncentracijah (od 48000 do 80000 IJs/rastlino) uspešen biotični agens za zatiranje rilčkarja *O. sulcatus* (Curran in Patel, 1988).

Pomemben škodljivec sadnega drevja je tudi rilčkar *Curculio caryae* (Horn). Z nanosom suspenzije ogorčice *S. carpocapsae* je bila v eni od raziskav dosežena kar 80% smrtnost ličink tega škodljivca (Shapiro-Ilan *et al.*, 2003). V nekoliko starejši raziskavi je bilo ugotovljeno, da se s starostjo rilčkarjevih ličink zmanjšuje učinkovitost EPO (Shapiro-Ilan, 2001). V sorodni raziskavi (Shapiro-Ilan *et al.*, 2003) pa so potrdili, da so vse rase ogorčice *S. carpocapsae* bolj virulentne za odrasle osebe kot za ličinke. V poskus so bile vključene rase Breton, DD136, Italian in Kapow, ki so se izkazale za bolj učinkovite od ras Agriotos, All in Sal. Shapiro-Ilan *et al.* (2004) so preučevali tudi morebitni sinergizem med EPO in entomopatogenimi glivami, vendar pa rezultati sočasnega nanosa obeh biotičnih agensov niso bili bistveno boljši od rezultatov samostojnega nanosa ogorčic.

Hrošček *Cylas formicarius elegantulus* (Summers) velja za enega od najpomembnejših škodljivcev sladkega krompirja. V zadnjih dvajsetih letih intenzivno preučujejo učinkovitost različnih predstavnikov obeh rodov EPO za zatiranje tega škodljivca (Georgis *et al.*, 2006). Poljski poskusi so pokazali, da so ogorčice v tej zvezi zelo učinkovite, a predvsem pri zatiranju ličink in bub (Jansson *et al.*, 1990, 1991, 1993). Jansson *et al.* (1991) poroča o boljši učinkovitosti enkratnega nanosa ogorčic v primerjavi z večkratnim, a le če je čas, ko uporabimo ogorčice, optimalen. Koncentracija suspenzije ogorčic je bila v omenjenem poskusu zelo visoka (od 6,4 do 18,8 milijonov IJs/ha). V sorodni raziskavi je bilo ugotovljeno, da so vrste iz rodu *Heterorhabditis* (*H. bacteriophora* [HP88]) bolj učinkovite od tistih iz rodu *Steinernema*, njihovo delovanje pa je bilo v nekaterih zgledih boljše od delovanja insekticidov (Jansson *et al.*, 1993). Ekanayake *et al.* (2001) poročajo, da imajo nekatere rase ogorčice *H. megidis* (Poinar, Jackson in Klein) podobno učinkovitost pri zatiranju vrste *Cylas formicarius elegantulus*, vendar pa še vedno velja, da je cena takšnih biopripravkov omejujoč dejavnik njihove širše uporabe.

Vrsta *Listronotus oregonensis* LeConte je predvsem v Severni Ameriki znan škodljivec korenja, zelene in peteršilja (Georgis *et al.*, 2006). Optimalen čas za zatiranje škodljivca s talnim nanosom EPO nastopi spomladi, ko zapuščata zimski bivališča in se seli na njive s korenjem. Miklasiewicz *et al.* (2002) poročajo, da s takšnim zgodnjim nanosom suspenzije ogorčice *H. bacteriophora* vplivamo na večjo smrtnost tega rilčkarja.

Pomemben škodljivec sladkorne pese, zlasti v zahodnem Sredozemlju (Francija, Italija, Španija), je tudi vrsta *Temnorhinus mendicus* (Gyllenhal). Škodljivec, ki ima le en rod na leto, prezimi v tleh v razvojnem stadiju odraslega osebka (Georgis *et al.*, 2006). Ugotovljeno je bilo, da so rilčkarjeve ličinke in bube občutljive na napad EPO. V poljskem poskusu so s koncentracijo 25 IJs/cm² dosegli od 90 do 95% učinkovitost ogorčic, odstotek smrtnosti rilčkarjevih ličink pa je bil večji od tistega, kjer so za njihovo zatiranje uporabili insekticide (Curto *et al.*, 1999).

2.3 Družina Chrysomelidae

Koloradski hrošč (*Leptinotarsa decemlineata* [Say]) velja za najpomembnejšega škodljivca krompirja. Številne raziskave so se osredotočale na delovanje različnih vrst ogorčic zoper četrti larvalni stadij škodljivca (Wright *et al.*, 1987). Pri foliarnem nanosu suspenzije ogorčic so zaradi hitre izsušitve ugotovili njihovo manjšo učinkovitost, čeprav so z dodatki za preprečevanje izsuševanja uspeli nekoliko podaljšati delovanje vrste *S. carpocapsae* (MacVean *et al.*, 1982). Pri simulaciji poljskega poskusa v rastnih komorah je bila učinkovitost ogorčic manjša od tiste v laboratorijskih razmerah (Stewart *et al.*, 1998; Wright *et al.*, 1987). Ogorčica *S. carpocapsae* je pri koncentraciji suspenzije 93 IJs/cm² talnega površja vplivala na 79% smrtnost četrte stopnje ličink koloradskega hrošča, medtem ko je bila vrsta *H. bacteriophora* pri višji koncentraciji (155 IJs/cm² talnega površja) manj učinkovita (67%). Poskusi v rastlinjaku, kjer so ugotavljali delovanje ogorčice *S. carpocapsae* na škodljivčeve predbube, so ugotovili boljše rezultate, saj je bila vrsta pri koncentraciji suspenzije 84 IJs/cm² talnega površja učinkovita kar 94% (Nickle *et al.*, 1994).

Berry *et al.* (1997) poročajo, da je vrsta *H. marelatus* pri nizki koncentraciji suspenzije (50 IJs/ cm² talnega površja) zelo učinkovita za zatiranje koloradskega hrošča. Do podobnih rezultatov so prišli tudi Armer *et al.* (2004a), ki so poročali, da je isti agens pri koncentraciji 50 IJs/cm² talnega površja zmanjšal populacijo odraslih osebkov za 50 %. Omenjeni raziskovalci ugotavljajo, da se ogorčice v tleh niso razmnoževale. Učinkovitost EPO na koloradskega hrošča je odvisna od številnih dejavnikov, med njimi sta pomembna globina zabubljenja (od 1 do 15 cm) in migracija hroščev iz sosednjih rastlin in njiv (MacVean *et al.*, 1982). Armer *et al.* (2004b) še ugotavljajo, da se ogorčica *H. marelatus* ter njena simbiotska bakterija *Photorhabdus luminescens* ne razmnožujeta v ličinkah in predbubah škodljivca zaradi inhibitornih snovi v njegovi hemolimfi, kar zmanjšuje njun biotični potencial.

Rezultati ločenih raziskav učinkovitosti EPO na koruznega hrošča (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) se zelo razlikujejo. V eni od takšnih je bila ogorčica *S. carpocapsae* najbolj učinkovita pri zatiranju druge in tretje larvalne stopnje škodljivca (Jackson in Brooks, 1995). Učinkovitost te ogorčice v laboratorijskih razmerah je bila večja od 90% (Nickle *et al.*, 1994). O podobnih rezultatih z isto vrsto ogorčice poročajo tudi Wright *et al.* (1993). V poljskih poskusih, v katerih so zatirali odrasle osebkove koruznega hrošča, so z nanosom koncentracije suspenzije ogorčice *S. carpocapsae* (od 100.000 do 200.000 IJs/15 cm² talnega površja) dosegli zmanjšanje poškodb pod gospodarski prag škodljivosti (Jackson in Hesler, 1996). Uporaba ogorčice *S. carpocapsae* je upravičena, kadar na prostem prevladujeta druga in tretja larvalna stopnja škodljivca (Jackson, 1996). Ogorčica *S. carpocapsae* v kombinaciji z vrsto *H. bacteriophora* je v eni od raziskav vplivala na znatno zmanjšanje populacije

koruznega hrošča in ni vplivala na večjo smrtnost neciljnih organizmov (Georgis *et al.*, 1991). Sorodna raziskava je pokazala tudi, da lahko ista kombinacija ogorčic vpliva na zmanjšanje obsega poškodb pod gospodarski prag škodljivosti (Jackson, 1996), pri čemer se je učinkovitost ogorčic gibala od 66 do 98%. Pri visokih koncentracijah suspenzije vrste *S. carpocapsae* je bilo doseženo boljše delovanje na drugo larvalno stopnjo koruznega hrošča (Journey in Ostlie, 2000). Toepfer *et al.* (2005) poročajo, da so ogorčice *S. glaseri*, *S. arenarium*, *S. abassi* in *H. bacteriophora* v koncentracijah od 7,9 do 15,9 IJs/cm² talnega površja povzročile prek 77% smrtnost škodljivca v tretji larvalni stopnji.

Čeprav so kapusovi bolhači (*Phyllotreta* spp.) eni od pomembnejših škodljivcev kapusnic, tako v Evropi kot na nekaterih drugih celinah, doslej za njihovo zatiranje še niso uporabljali EPO. Edini doslej objavljeni vir so rezultati raziskave, ki smo jo v letu 2005 izvajali na Katedri za entomologijo in fitopatologijo Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. V laboratorijskih razmerah smo namreč preizkušali delovanje vrst *S. feltiae*, *S. carpocapsae*, *H. megidis* in *H. bacteriophora* na odrasle osebkke kapusovih bolhačev. Poskus smo izvajali pri treh različnih temperaturah (15, 20 in 25°C) in treh različnih koncentracijah suspenzije ogorčic (200, 1000 in 2000 infektivnih ličink/hrošča). Rezultati so potrdili že prej znana dejstva, da so lahko EPO v visokih koncentracijah v povezavi z ugodnimi abiotičnimi dejavniki (visoka vlaga, optimalna temperatura) učinkovit biotični agens tudi za zatiranje odraslih osebkov iz reda Coleoptera (Lacey *et al.*, 1993). Ugotovili smo še, da je aktivnost ogorčic v večji meri odvisna od temperature kot od koncentracije (Laznik, 2006). Vse štiri vrste ogorčic so bile najbolj učinkovite pri 25°C. Samo vrsta *S. feltiae* je dosegla zadovoljivo učinkovitost tudi pri najnižji temperaturi, kar je iz praktičnega vidika (nočno tretiranje) (Akalach in Wright, 1995) zagotovo prednost.

2.4 Družina Silvanidae

Štiri vrste entomopatogenih ogorčic (*S. feltiae*, *S. carpocapsae*, *H. bacteriophora* in *H. megidis*) so bile vključene v laboratorijski poskus zatiranja skladiščnega škodljivca *Oryzaephilus surinamensis*. Učinkovitost ogorčic so raziskovalci ugotavljali pri treh različnih temperaturah (15, 20 in 25°C) ter treh različnih koncentracijah suspenzije ogorčic (500, 1000 in 2000 IJs/odrasli osebek). Najslabše delovanje na škodljivca je pokazala vrsta *H. megidis*, medtem ko med ostalimi vrstami ogorčic ni bilo statistično značilnih razlik v delovanju. Najboljša učinkovitost agensov je bila ugotovljena pri 20°C (LC₅₀ 921-1335 IJs/odrasli osebek). Koncentracija suspenzije ogorčic se je v poskusu izkazala kot manj pomemben dejavnik učinkovitosti ogorčic (Trdan *et al.*, 2006).

3 ZAKLJUČKI

Entomopatogene ogorčice so v svetu že dobri znani biotični agensi za zatiranje škodljivih žuželk, v Sloveniji pa pričakujemo njihovo širšo uporabo že v bližnji prihodnosti, ko bodo izgubile status tujerodnih organizmov. V tem prispevku predstavljeni rezultati tujih in domačih laboratorijskih raziskav kažejo na precejšen biotični potencial EPO pri zatiranju škodljivih hroščev, ki so tudi pri nas ena od pomembnejših žuželčjih skupin, ki zmanjšuje kakovost in količino gojenih in

samoniklih rastlin. Zato pričakujemo, da bo imela ta skupina biotičnih agensov v Sloveniji v prihodnosti precejšen pomen pri zatiranju gospodarsko škodljivih hroščev.

4 ZAHVALA

Prispevek je nastal s finančno pomočjo Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo in Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano v okviru projektov L4-6477-0481-04 in Hortikultura P4-0013-0481.

5 VIRI

- Akalach M., Wright D.J. 1995. Control of the larvae of *Conorhynchus mendicus* (Col.:Curculionidae) by *Steinernema carpocapsae* and *Steinernema feltiae* (Nematoda, Steinernematidae) in the Gharb area (Morocco). Entomophaga, 40: 321-327.
- Ansari, M.A., Tirry, L., Moens, M. 2003. Entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria for the biological control of *Hoplia philanthis* (Coleoptera: Scarabaeidae). Biol. Control, 28: 111-117.
- Ansari, M.A., Shah, F.A., Tirry, L., Moens, M. 2006. Field trials against *Hoplia philanthis* (Coleoptera: Scarabaeidae) with a combination of an entomopathogenic nematode and the fungus *Metarhizium anisopliae* CLO 53. Biol. Control, 39: 453-459.
- Armer, C.A., Berry, R.E., Reed, G.L., Jepsen, S.J. 2004a. Colorado potato beetle control by application of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis marelata* and potato plant alkaloid manipulation. Entomol. Exp. Appl., 111: 47-58.
- Armer, C.A., Rao, S., Berry, R.E. 2004b. Insect cellular and chemical limitations to pathogen development: the Colorado potato beetle, the nematode *Heterorhabditis marelatus* and its symbiotic bacteria. J. Invertebr. Pathol., 87: 114-122.
- Berry, R.E., Liu, J., Reed, G. 1997. Comparison of endemic and exotic entomopathogenic nematode species for control of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). J. Econ. Entomol., 90: 1528-1533.
- Bullock, R.C., Pelosi, R.R., Killer, E.E. 1999b. Management of citrus root weevils (Coleoptera: Curculionidae) on Florida citrus with soil-applied entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida). Fla. Entomol.t, 82: 1-7.
- Converse, V., Grewal, P.S. 1998. Virulence of entomopathogenic nematodes to the western masked chafer *Cyclocephala hirta* (Coleoptera: Scarabaeidae). J. Econ. Entomol., 91: 428-432.
- Costello, B. 2003. European Chafer – A new turf pest. British Columbia Ministry of Agriculture, Food and Fisheries (information leaflet).
- Cui, L., Gaugler, R., Wang, Y. 1993. Penetration of steinernematid nematodes (Nematoda: Steinernematidae) into Japanese beetle larvae, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. J. Invertebr. Pathol., 62: 73-78.
- Curran, J., Patel, V. 1988. Use of a trickle irrigation system to distribute entomopathogenic nematodes (Nematoda: Heterorhabditidae) for the control of weevil pests (Coleoptera: Curculionidae) of strawberries. Aust. J. Exp. Agric., 28: 639-643.

- Curto, G.M., Boselli, M., Tacconi, R. 1999. Field effectiveness of entomopathogenic nematodes against the sugar-beet weevil *Temnorhinus* (= *Conorrhynchus*) *mendicus* Gyll. (Coleoptera: Curculionidae) in Italy. In: Proceedings of COST 819 Workshop "Application and Persistence of Entomopathogenic Nematodes" 16-20 May 1995, Todi, Perugia, Italy: 107-115.
- Deseö, K.V., Bartocci, R., Tartaglia, A., Rovesti, L. 1990. Entomopathogenic nematodes for control of scarab larvae. IOBC/WPRS Bull., 14: 57-58.
- Duncan, L.W., McCoy, C.W., Terranova, C. 1996. Estimating sample size and persistence of entomogenous nematodes in sandy soils and their efficacy against the larvae of *Diaprepes abbreviatus* in Florida. J. Nematol., 28: 56-67.
- Duncan, L.W., McCoy, C.W. 1996. Vertical distribution in soil, persistence, and efficacy against citrus root weevil (Coleoptera: Curculionidae) of two species of entomogenous nematodes (Rhabditida: Steinernematidae; Heterorhabditidae). Environ. Entomol., 25: 174-178.
- Ebssa, L. 2005. Efficacy of entomopathogenic nematodes for the control of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*, Ph.D. Thesis, Hannover University: pp.141.
- Ekanayake, H.M.R.K., Abeysinghe, A.M.C.P., Toida, Y. 2001. Potential of entomopathogenic nematodes as bio-control agents of sweet potato weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius) (Coleoptera: Brentidae). Jpn. J. Nematol., 31: 19-25.
- Figueroa, W., Roman, J. 1990. Biocontrol of the sugarcane rootstalk borer, *Diaprepes abbreviatus* (L.), with entomophilic nematodes. J. Agric. Univ. P. R., 74: 395-404.
- Fleming, W.E. 1968. Biological control of the Japanese beetle. US Dep. Agric. Tech. Bull. No. 1383.
- Forst, S., Clarke, D., 2002. Bacteria-nematode symbiosis. In: Entomopathogenic Nematology (Gaugler, R. ed.). Wallingford, CABI: 57-77.
- Fujiie, A., Yokoyama, T., Fujikata, M., Sawada, M., Hasegawa, M. 1993. Pathogenicity of an entomogenous nematode, *Steinernema kushidai* (Nematoda: Steinernematidae), on *Anomala cuprea* (Coleoptera: Scarabaeidae). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool., 37: 53-60.
- Gaugler R. 2002. Entomopathogenic Nematology. New Jersey, CABI Publishing: 372 p.
- Gaugler, R., Wang, Y.I., Campbell, J.F. 1994. Aggressive and evasive behaviors in *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae: Defenses against entomopathogenic nematode attack. J. Invertebr. Pathol., 64: 193-199.
- Gaugler, R., Lewis, E., Stuart, R.J. 1997a. Ecology in the service of biological control: the case of entomopathogenic nematodes. Oecologia, 109: 483-489.
- Georgis, R. and Gaugler, R. 1991. Predictability in biological control using entomopathogenic nematodes. J. Econ. Entomol., 84: 713-720.
- Georgis, R., Kaya, H.K., Gaugler, R. 1991. Effect of steinernematid and *Heterorhabditis* nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) on non-target arthropods. Environ. Entomol., 20: 814-822.
- Georgis, R., Poinar, G.O. Jr. 1994. Nematodes as bioinsecticides in turf and ornamentals. In: Leslie, A.R. (ed.) Integrated Pest Management for Turfgrass and Ornamentals. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 477-489.

- Georgis, R., Koppenhöfer, A.M., Lacey, L.A., Bélair, G., Duncan, L.W., Grewal, P.S., Samish, M., Tan, L., Torr, P., van Tol, R.W.H.M. 2006. Successes and failures in the use of parasitic nematodes for pest control. *Biol. Control*, 38: 103-123.
- Glaser, R. 1932. Studies on *Neoplectana glaseri*, a nematode parasite of the Japanese beetle (*Popillia japonica*). New Jersey Department of Agriculture Circular No. 211.
- Grewal, P.S., Grewal, S.K., Malik, V.S., Klein, M.G. 2002. Differences in susceptibility of introduced and native white grub species to entomopathogenic nematodes from various geographic localities. *Biol. Control*, 24: 230-237.
- Hara, A.H., Kaya, H.K., Gaugler, R., Lebeck, L.M., Mello, C.L. 1993. Entomopathogenic nematodes for biological control of the leafminer, *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae), *BioControl*, 38: 359-369.
- Helyer, N.L., Brobyn, P.J., Richardson, P.N., Edmonson, R.N. 1995. Control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) pupae in compost. *Ann. Appl. Biol.*, 127: 405-412.
- Jackson, J.J., Brooks, A. 1995. Parasitism of western corn rootworm larvae and pupae by *Steinernema carpocapsae*. *J. Nematol.*, 27: 15-20.
- Jackson, J.J. 1996. Field performance of entomopathogenic nematodes for suppression of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.*, 89: 366-372.
- Jackson, J.J., Hesler, S.L. 1996. Placement and application rate of the nematode *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) for suppression of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Kans. Entomol. Soc.*, 68: 461-467.
- Jansson, R.K., Lecrone, S.H. 1994. Application methods for entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae): aqueous suspensions versus infected cadavers. *Fla. Entomol.*, 77:281-284.
- Jansson, R.K., Lecrone, S.H., Gaugler, R.R., Smart, G.C. Jr. 1990. Potential of entomopathogenic nematodes as biological control agents of the sweetpotato weevil (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.*, 83: 1818-1826.
- Jansson, R.K., Lecrone, S.H., Gaugler, R. 1991. Comparison of single and multiple releases of *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar (Nematoda: Heterorhabditidae) for control of *Cylas formicarius* (Fabricius) (Coleoptera: Apionidae). *Biol. Control*, 1: 320-328.
- Jansson, R.K., Lecrone, S.H., Gaugler, R. 1993. Field efficacy and persistence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) for control of sweetpotato weevil (Coleoptera: Apionidae) in southern Florida. *J. Econ. Entomol.*, 86: 1055-1063.
- Journey, A.M., Ostlie, K.R. 2000. Biological Control of Western Corn Rootworm (Coleoptera: Crysomelidae) Using the Entomopathogenic Nematode, *Steinernema carpocapsae*. *Biol. Control*, 29: 822-831.
- Kaya H.K. 2000. Entomopathogenic nematodes and their prospects for biological control in California. V: California conference on biological control. Hoddle M.S. (ed). Riverside, California: 38-46 p.
- Kaya, H.K., Gaugler, R. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Ann. Entomol.*, 38: 181-206.
- Klein, M.G. 1990. Efficacy against soil-inhabiting insect pests. In: Gaugler, R. and Kaya, H.K. (eds.). *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 195-214.

- Klein, M.G. 1993. Biological control of scarabs with entomopathogenic nematodes. In: Bedding, R., Akhurst, R. and Kaya, H.K. (eds.). Nematodes and the Biological Control of Insects. CSRIO, East Melbourne, 49-57.
- Koppenhöfer, A.M., Grewal, P.S., Fuzy, M. 2006. Virulence of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis bacteriophora*, *Heterorhabditis zealandica*, and *Steinernema scarabaei* against five grub species (Coleoptera: Scarabaeidae) of economic importance in turfgrass in North America. Biol. Control, 38: 397-404.
- Koppenhöfer, A.M., Fuzy, E.M. 2007. Soil moisture effects on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabaei*, *S. glaseri*, *Heterorhabditis zealandica*, and *H. bacteriophora*. Appl. Soil Ecol., 35: 128-139.
- Lacey, L., Bettencourt, A., Garrett, F., Simoes, N., Gaugler, R.. 1993. Factors influencing parasitism of adult Japanese beetles by entomopathogenic nematodes. Entomophaga, 38: 501-509.
- Lacey, L.A., Shapiro-Ilan, D.I. 2003. The potential role for microbial control of orchard insect pests in sustainable agriculture. Food Agric Environ., 1: 326-331.
- Laumond C., Mauléon, H., Kermarrec, A. 1979. Données nouvelles sur le spectre d'hôtes et le parasitisme du nématode entomophage *Neoplectana carpocapsae*. Entomophaga, 24: 13-27.
- Laznik, Ž., 2006. Research on efficacy of four entomopathogenic nematode species (Rhabditida) against adults of flea beetles (*Phyllotreta* spp., Coleoptera, Chrysomelidae) under laboratory conditions. Graduation thesis, University studies, Biotechnical faculty, Department of Agronomy, 75 pp.
- MacVean, C.M., Brewer, J.W., Capinera, J.L. 1982. Field test of antidesiccants to extend the infection period of an entomogenous nematode, *Neoplectana carpocapsae*, against the Colorado potato beetle. J. Econ. Entomol., 75: 97-101.
- Miklasiewicz, T.J., Grewal, P.S., Hoy, C.W., Malik, V.S. 2002. Evaluation of entomopathogenic nematodes for suppression of carrot weevil. BioControl, 47: 545-561.
- McCoy, C.W., Shapiro, D.I., Larry, W. 2000. Entomopathogenic Nematodes and Other Natural Enemies as Mortality Factors for Larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). Biol. Control, 19: 182-190.
- McCoy, C.W., Stuart, R.J., Duncan, L.W., Nguyen, K. 2002. Field efficacy of two commercial preparations of entomopathogenic nematodes against larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in alfisol type soil. Fla. Entomol., 85: 537-544.
- Nickle, W.R., Connick, W.J., Cantelo, W.W. 1994. Effects of Pesta-pelletized *Steinernema carpocapsae* (All) on Western corn rootworms and Colorado potato beetles. J. Nematol., 26: 249-250.
- Nielsen, O., Philipsen, H. 2004. Occurrence of *Steinernema* species in cabbage fields and the effect of inoculated *S. feltiae* on *Delia radicum* and its parasitoids. Agric. For. Entomol., 6: 25-30.
- Peters, A. 1996. The natural host range of *Steinernema* and *Heterorhabditis* spp. and their impact on insect populations. Biocontrol Sci. Technol., 6: 389-402.
- Premachandra, W. T. S. D., Borgemeister, C., Berndt, O., Ehlers, R.-U., Poehling, H.-M., 2003a. Laboratory bioassays of virulence of entomopathogenic nematodes against soil-inhabiting *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae). Nematology, 5: 539-547.

- Schroeder, W.J. 1987. Laboratory bioassays and field trials of entomogenous nematodes for control of *Diaprepes abbreviatus*. Environ. Entomol., 16: 987-989.
- Schroeder, W.J. 1994. Comparison of two steinernematid species for control of the root weevil *Diaprepes abbreviatus*. J. Nematol., 26: 360-362.
- Shapiro, D.I., Cate, J.R., Pena, J., Hunsberger, A., McCoy, C.W. 1999. Effects of temperature and host range on suppression of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) by entomopathogenic nematodes. J. Econ. Entomol., 92: 1086-1092.
- Shapiro, D.I., McCoy, C.W. 2000. Virulence of Entomopathogenic Nematodes to *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in the Laboratory. J. Econ. Entomol., 93: 1090-1095.
- Shapiro, D.I., McCoy, C.W., Fares, A., Obreza, T., Dou, H. 2000. Effects of soil type on virulence and persistence of entomopathogenic nematodes in relation to control *Diaprepes abbreviatus*. Environ. Entomol., 29: 1083-1087.
- Shapiro-Ilan, D.I. 2001. Virulence of entomopathogenic nematodes to pecan weevil larvae, *Curculio caryae* (Coleoptera: Curculionidae), in the laboratory. J. Econ. Entomol., 94 (1): 7-13.
- Shapiro-Ilan, D.I., Gouge, D.H., Koppenhöfer, A.M. 2002. Factors affecting commercial success: case studies in cotton, turf and citrus. In: R. Gaugler (Ed.). Entomopathogenic Nematology. New York: CABI. p. 333-356.
- Shapiro-Ilan, D., Cottrell, T.E., Mizell, R.F., Horton, D.L., Gardner, W.A., Wood, B.W. 2003. Field efficacy of entomopathogenic nematodes for control of the pecan weevil, - *Curculio caryae*, and plum curculio, *Conotrachelus nenuphar*, (Coleoptera: Curculionidae). The 2003 ESA Annual Meeting and Exhibition, poster section.
- Shapiro-Ilan, D.I., Jackson, M., Reilly, C.C., Hotchkiss, M.W. 2004. Effects of combining an entomopathogenic fungi or bacterium with entomopathogenic nematodes on mortality of *Curculio caryae* (Coleoptera: Curculionidae). Biol. Control, 30: 119-126.
- Shapiro-Ilan, D.I., Gouge, D.H., Piggott, S.J., Fife, J.P. 2006. Application technology and environmental considerations for use of entomopathogenic nematodes in biological control. Biological Control in press, doi:10.1016/j.biocontrol.2005.09.005.
- Shamseldean, M.M.M., Ismail, A.A. 1997. Effect of the nematode *Heterorhabditis bacteriophora* and the bacterium *Bacillus thuringiensis* as integrated biocontrol agents of the black cutworm. Anz. Schäd., 70: 77-79.
- Shetlar, D.J., Suleman, P.E., Georgis, R. 1988. Irrigation and use of entomogenous nematodes, *Neoaplectana* spp. and *Heterorhabditis heliothidis* (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae), for control of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) grubs in turfgrass. J. Econ. Entomol., 81: 1318-1322.
- Simard, L., Bélair, G., Brodeur, J. 2001. Susceptibility of the European Chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) to Entomopathogenic Nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae). Suppl. J. Nematol., 33: 297-301.
- Smart G.C. Jr. 1995. Entomopathogenic nematodes for the biological control of insects. J. Nematol., 27: 529-534.
- Smits, P.H., Wieggers, G.L., Vlug, H.J. 1994. Selection of insect parasitic nematodes for biological control of the garden chafer, *Phyllopertha horticola*. Entomol. Exp. Appl., 70: 77-82.

- Stewart, J.G., Boiteau, G., Kimpinski, J. 1998. Management of late-season adults of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) with entomopathogenic nematodes. *Can. Entomol.*, 130: 509-514.
- Stuart, R.J., Shapiro Ilan, D.I., James, R.R., Nguyen, K.B., McCoy, C.W. 2004. Virulence of new strains of the entomopathogenic nematode *Steinernema riobrave* to larvae of the citrus root weevil *Diaprepes abbreviatus*. *Biol. Control*, 30: 439-445.
- Svendsen, T.S., Steenberg, T. 2000. The potential use of entomopathogenic nematodes against *Typhaea stercorea*. *Biocontrol*, 45: 97-111.
- Taesdale, C., Henderson, D. 2003. Feasibility of Using Non-Chemical Methods for Control of the European Chafer (*Rhizotrogus majalis*) in Turfgrass. Prepared for: Canadian Nursery Landscape Association and Western Canada Turfgrass Association.
- Theunis, W. 1998. Susceptibility of the taro beetle, *Papuana uninodis*, to entomopathogenic nematodes. *Int. J. Pest Manag.*, 44: 139-143.
- Toepfer, S., Gueldenzoph, C., Ehlers, R.-U., Kuhlmann, U. 2005. Screening of entomopathogenic nematodes for virulence against the invasive western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Europe. *Bull. Entomol. Res.*, 95: 473-482.
- Trdan, S., Valič, N., Urek, G., Milevoj, L. 2005. Concentration of suspension and temperature as factors of pathogenicity of entomopathogenic nematodes for the control of granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Acta agric. Slo.*, 85: 117-124.
- Trdan, S., Vidrih M., Valič N. 2006. Activity of four entomopathogenic nematode species against young adults of *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) and *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) under laboratory conditions. *J. Plant Dis. Prot.*, 113: 168-173.
- van der Burgt, W.A.C.M., Budai, C., Fodor, A., Lucskai, A. 1998. Parasitism of western corn rootworm adults by *Steinernema* spp. and *Heterorhabditis* spp. *Proc. Soc. Exp. Appl. Entomol.*, 9: 165-170.
- van Tol, R.W.H.M., van Dijk, N., Sabelis, M.W. 2004. Host plant preference and performance of the vine weevil *Otiorhynchus sulcatus*. *Agric. For. Entomol.*, 6: 267-278.
- van Tol, R.W.H.M., Raupp, M.J. 2006. Nursery and tree applications. In: Grewal, P.S., Ehlers, R.-U., Shapiro-Ilan, D.I. (Eds.), *Nematodes as Biological Control Agents*. CABI Publishing, Wallingford, UK, in press.
- Wang, Y., Campbell, J.F., Gaugler, R. 1995. Infection of entomopathogenic nematodes *Steinernema glaseri* and *Heterorhabditis bacteriophora* against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. *J. Invertebr. Pathol.*, 66: 178-184.
- Wilson, M., Nitzsche, P., Shearer, P.W. 1999. Entomopathogenic nematodes to control black vine weevil (Coleoptera: Curculionidae) on strawberry. *J. Econ. Entomol.*, 92: 651-657.
- Wright, R.J., Agudelo-Silva, F., Georgis, R. 1987. Soil applications of steinernematid and heterorhabditid nematodes for control of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *J. Nematol.*, 19: 201-206.
- Wright, R.J., Witkovski, J.F., Echtenkamp, G., Georgis, R. 1993. Efficiency and persistence of *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematida) applied through center-pivot irrigation system against larval corn rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.*, 86: 1348-1354.

Yakir-Ben, D., Efron, D., Chen, M., Glazer, I. 1998. Evaluation of Entomopathogenic Nematodes for Biocontrol of the European Corn Borer, *Ostrinia nubilalis*, on Sweet Corn in Israel. *Phytoparasitica*, 26: 1-8.

Zimmerman, R.J. and Cranshaw, W.S. 1991. Short-term movement of *Neoplectana* spp. (Rhabditida: Steinernematidae) and *Heterorhabditis* 'HP-88' strain (Rhabditida: Heterorhabditidae) through turfgrass thatch. *J. Econ. Entomol.*, 84: 875-878.