

Pestic. fitomed. (Beograd), 22 (2007) 193-212  
Pestic. Phytomed. (Belgrade), 22 (2007) 193-212

UDC: 632.95:595.2:59.087  
Pregledni rad \* Review Paper

# Pesticidi i artropode: subletalni efekti i demografska toksikologija

Dejan Marčić

*Institut za pesticide i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija  
(marcion@bitsyu.net)*

## REZIME

Insekticidi i akaricidi namenjeni suzbijanju primarnih štetnih vrsta insekata i grinja deluju na različite načine i na druge artropode (sekundarne štetne vrste, predatore, parazitoide, saprofitne, bioindikatore, polinatore) sa kojima dolaze u kontakt u (agro)ekosistemu. Pored insekticida i akaricida, artropode su osetljive i na delovanje drugih pesticida (fungicida, herbicida). Bez obzira da li ih posmatramo kao poželjne ili nepoželjne, efekte pesticida na artropode treba što preciznije kvantifikovati primenom odgovarajućih eksperimentalnih postupaka. Rezultati dobijeni testovima dizajniranim za određivanje LD<sub>50</sub>/LC<sub>50</sub> vrednosti nisu dovoljni za procenu efektivnosti pesticida u polju, jer pesticidi izazivaju i različite subletalne efekte, koje ovi testovi ne uzimaju u obzir. Subletalni efekti pesticida obuhvataju promene ponašanja i/ili fiziologije jedinki preživelih ekspoziciju delovanju pesticida u dozama/koncentracijama koje mogu da budu letalne (u opsegu koji u eksperimentalnoj populaciji uzrokuje smrtnost veću od smrtnosti u kontroli) ili subletalne (ispod ovog opsega). Pesticidi utiču na lokomotornu aktivnost i mobilnost, podstiču disperziju sa tretiranih površina, otežavaju ili onemogućavaju navigaciju, orijentaciju i pronalaženje domaćina, menjaju ponašanje karakteristično za način ishrane, parenje i polaganje jaja. Subletalni efekti pesticida na fiziologiju artropoda ispoljavaju se kroz uticaj na dužinu života, brzinu razvića, fekunditet i/ili fertilitet, odnos polova, imunitet preživelih jedinki. U testovima sa artropodama, koriste se različiti parametri za iskazivanje subletalnih efekata (ED<sub>50</sub>/EC<sub>50</sub>, LOEC, NOEC, indeks totalnog efekta). U poređenju sa testovima akutne toksičnosti, ovi parametri poboljšavaju kvalitet evaluacije i pružaju jasniju sliku o efektima pesticida; međutim, ovakav pristup uglavnom uzima u obzir samo fekunditet/fertilitet, dok drugi subletalni efekti ostaju neregistrovani. Pored toga, reč je o evaluaciji na nivou jedinke, a ne na nivou populacije, kakva je neophodna za pouzdaniju procenu efektivnosti pesticida u realnim uslovima. Kao način za integraciju efekata koje neki toksikant može da izazove na nivou populacije predložen je demografsko-toksikološki pristup, tj. konstruisanje tablica života i izračunavanje parametara populacionog rasta, među kojima centralno mesto pripada prirodnoj stopi rasta populacije ( $r_m$ ). U poređenju sa drugim laboratorijskim postupcima testiranja toksičnosti, demografsko-toksikološki biotest se pokazao kao superiorniji u proceni ukupnih efekata pesticida; ovakav pristup evaluaciji efekata pesticida suštinski je značajan za ekološki zasnovanu integralnu zaštitu bilja i kvalitetnu procenu ekotoksikološkog rizika primene pesticida.

**Ključne reči:** Pesticidi; artropode; subletalni efekti; tablice života; demografska toksikologija

## UVOD

Razdeo Arthropoda je najveći i najraznovrsniji takson u životinjskom carstvu, sa preko milion vrsta, među kojima se nalaze i mnoge vrste značajne za fitomedicinu, javno zdravstvo i ekotoksikologiju, naročito u klasama Insecta, Arachnida i Crustacea. Insekticidi i akaricidi namenjeni suzbijanju primarnih štetnih vrsta insekata i grinja deluju na različite načine i na druge artropode – sekundarne štetne vrste, predatore, parazitoide, saprofite, bioindikatore, polinatore<sup>1</sup> - sa kojima dolaze u kontakt u (agro)ekosistemu. Pored insekticida i akaricida, artropode su osetljive i na delovanje drugih pesticida (fungicida, herbicida). Bez obzira da li ih posmatramo kao poželjne ili nepoželjne, efekte pesticida na artropode treba što preciznije kvantifikovati primenom odgovarajućih eksperimentalnih postupaka.

*Biotest* je eksperiment u kojem je test-subjekt živi organizam, čiji se odgovor kvantifikuje u odnosu na kvantitet ili intenzitet stimulusa, u ovom slučaju pesticida. U laboratorijskim testovima akutne<sup>2</sup> toksičnosti ekspozicija artropoda izabranim dozama/koncentracijama pesticida ostvaruje se na različite načine<sup>3</sup>; testovi sa binarnim odgovorom za osnovno obeležje imaju letalni efekat, tj. mrtve jedinke se razdvajaju od živih. Najviše korišćen parametar ovako definisane akutne toksičnosti pesticida je *srednja letalna doza/koncentracija* ( $LD_{50}/LC_{50}$ ); najčešće dobijen postupkom probit ili logit analize, ovaj parametar daje relativno pouzdanu procenu visine doze/koncentracije pesticida koja

uzrokuje smrt 50% test-organizama. Na osnovu  $LD_{50}/LC_{50}$  vrednosti moguće je proučavanje komparativne toksičnosti pesticida za različite vrste, odnosno za različite populacije/rase iste vrste, uključujući monitoring i genetiku rezistentnosti (Busvine, 1971; Finney, 1971; Stark i Banks, 2003; Robertson i sar., 2007b). Poređenje osetljivosti predator/plen, odnosno domaćin/parazitoid, jedan je od načina za procenu selektivnosti pojedinih pesticida, odnosno mogućnosti integracije hemijskih i bioloških mera, mada se pesticidi rangiraju po štetnosti za biološke kontrolne agense i samo na osnovu smrtnosti koju uzrokuju pojedine doze (Hassan, 1992; Amano i Haseeb, 2001; Stark i sar., 2007). U ekotoksikološkim studijama, polazna osnova za praćenje efekata pesticida su testovi akutne toksičnosti i izračunavanje  $LD_{50}/LC_{50}$  vrednosti za izabrane vrste, kao što su *Folsomia candida* (Collembola), indikator u zemljištu, odnosno vrste iz roda *Daphnia* spp. (Cladocera), indikatori u slatkim vodama (Cortet i sar., 1999; Boxall i sar., 2002; Frampton i sar., 2006).

Rezultati dobijeni testovima akutne toksičnosti nisu dovoljni za procenu efekata pesticida u polju, u uslovima praktične primene. Osim letalnog ishoda, pesticidi izazivaju i različite subletalne efekte, koje testovi dizajnirani za određivanje  $LD_{50}/LC_{50}$  vrednosti ne uzimaju u obzir. Ovi efekti su često prva reakcija organizama na stres i mogu da se detektuju pre nego što nastupi smrt, tako da se smatraju osetljivijim pokazateljem delovanja pesticida (Robertson i Worner, 1990; William i Baird, 2002; Stark i Banks, 2003; Stark i sar., 2004).

## SUBLETALNI EFEKTI PESTICIDA NA ARTROPODE

Subletalni efekti pesticida se definišu kao efekti na jedinkama preživelim ekspoziciju delovanju pesticida u dozama/koncentracijama koje mogu da budu letalne (u opsegu koji u eksperimentalnoj populaciji uzrokuje smrtnost veću od smrtnosti u kontroli) ili subletalne (ispod ovog opsega)<sup>4</sup>. Ovi efekti se najčešće razvrstavaju u dve glavne grupe: promene ponašanja i fiziološki efekti (Desneux i sar., 2007).

<sup>1</sup> **Predatori:** insekti (Coleoptera, Hemiptera, Heteroptera; Neuroptera), grinje (Phytoseiidae); **parazitoidi:** insekti (Hymenoptera: Aphelinidae, Aphidiidae, Braconidae, Ichneumonidae, Trichogrammatidae); **polinatori:** insekti (Hymenoptera: Apidae); **bioindikator:** insekti (Collembola; Coleoptera: Carabidae); grinje (Oribatida; Laelapidae); račići (Crustacea: Cladocera, Copepoda, Isopoda).

<sup>2</sup> U **testovima akutne toksičnosti** test-organizmi se jednokratno izlažu delovanju doza/koncentracija pesticida u kraćem vremenskom periodu (najčešće nekoliko sati do nekoliko dana).

<sup>3</sup> **Ekspozicija:** direktno nanošenje na telo ili delove tela (topical application, mikroimerzija, prskanje); izlaganje pesticidima nanetim na inertne površine ili delove biljaka i biljnih organa (sa ili bez prethodnog direktnog tretiranja test-organizama); izlaganje pesticidima u/na tretiranom supstratu (biljni proizvodi, zemlja, voda); tretiranje domaćina, plena, hrane i dr. Analizirajući razne modifikacije laboratorijskih testova toksičnosti, Robertson i Worner (1990) su istakle potrebu za eksperimentalnim postupkom što sličnijem realnim uslovima ekspozicije test-organizama.

<sup>4</sup> Prilikom testiranja subletalnih efekata pesticida, pored akutne (jednokratne) ekspozicije, primenjuje se i **hronična**, kontinuirana ekspozicija test-organizama subletalnim dozama/koncentracijama u dužem vremenskom periodu (od nekoliko dana do nekoliko nedelja ili kraja životnog ciklusa).

## Promene ponašanja

Ponašanje životinja je rezultat složene interakcije unutar njihovog nervnog sistema. Imajući u vidu da među zoocidima preovlađuju oni čije je mesto delovanja upravo nervni sistem, ne iznenađuje postojanje velikog broja podataka o uticaju neurotoksičnih jedinjenja na ponašanje artropoda (Haynes, 1988; Gerson i Cohen, 1989; Fábíán i Petersen, 1994; Holland i Chapman, 1994; William i Baird, 2002; Thompson, 2003; Desneux i sar., 2007). Neurotoksični pesticidi utiču na lokomotornu aktivnost i mobilnost, podstiču disperziju sa tretiranih površina, otežavaju ili onemogućavaju navigaciju, orijentaciju i pronalaženje domaćina, menjaju ponašanje karakteristično za način ishrane, parenje i polaganje jaja. Promene složenih obrazaca reprodukcije ili navigacije zasnivaju se na narušavanju hemijske, akustičke i vizuelne komunikacije (Haynes, 1988; Desneux i sar., 2007). Ovde treba istaći da je disperzija kod nekih vrsta rezultat senzorne percepcije i izbegavanja kontakta sa pesticidom, i da ovakav odgovor treba razlikovati od disperzije koja je posledica direktnog toksičnog delovanja na nervni sistem. Međutim, čak i odgovor bez ostvarenog kontakta ne isključuje potpuno mogućnost toksičnog efekta gasovite faze pesticida. U literaturi se termini **repelentnost** (kao rezultat senzorne percepcije) odnosno **iritantnost** (kao posledica intoksikacije) koriste *sensu stricto*, ali i tako da prvi termin podrazumeva disperziju koja može da bude i posledica ostvarenog kontakta sa pesticidom (Haynes, 1988; Zyzak i sar., 1996; Hoy i sar., 1998). Takođe, u definiciju **antifidantnog** efekta treba uključiti samo onu inhibiciju ili redukciju ishrane koja nastaje direktnim delovanjem na periferne senzore („organe za ukus”) insekata i drugih artropoda, mada ovako definisan efekat ne mora da bude odlučujući za ukupnu efikasnost u poljskim uslovima (Isman, 2002, 2006).

I pesticidi koji deluju van nervnog sistema mogu da izazovu promene ponašanja. Pored azadirachtina, koji se u literaturi često navodi kao primer moćnog antifidanta i repelenta (Schmutterer, 1990; Copping i Menn, 2000; Copping i Duke, 2007), tu su i primeri tortricida čija je sposobnost orijentacije i pronalaženja partnera za parenje umanjena nakon tretiranja insekticidima regulatorima rasta (Knight, 2000; Hoelscher i Barrett, 2003; Reinke, 2006), kolembola koje izbegavaju kontakt sa herbicidima (Heupel, 2002), ili pčela poremećene sposobnosti učenja usled izlaganja delovanju profloraza (Decourtye i sar., 2005). Pesticidi iz različitih klasa menjaju ponašanje *Daphnia* spp., utičući na br-

zinu kretanja i orijentaciju (Shimizu i sar., 2002), redukujući stope filtracije i ingestije hrane (Fernández-Casalderrey i sar., 1994; Villarroel i sar., 1999a), izazivajući post-ekspozicionu depresiju u ishrani (William i Baird, 2002). Endotoksini *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) u transgenim biljkama, namenjeni stvaranju otpornosti prema pojedinim vrstama štetnih insekata, takođe mogu da utiču na ponašanje artropoda: transgeni plavi patlidžan sa *Bt* Cry3Bb toksinom bio je atraktivniji od običnog patlidžana kao biljka-domaćin za paučinstvu grinju *Tetranychus urticae*, dok je njen predator *Phytoseiulus persimilis* preferirao plen koji se razvijao na običnom patlidžanu (Rovenská i sar., 2005).

## Fiziološki efekti

Subletalni efekti pesticida na fiziologiju artropoda ispoljavaju se kroz uticaj na dužinu života, brzinu razvika, fekunditet i/ili fertilitet, odnos polova, imunitet preživelih jedinki (Stark i Banks, 2003; Desneux i sar., 2007). Poznat je fenomen tzv. latentne toksičnosti (Yates i Sherman, 1970): dužina života adulta, preživelih tretiranje pesticidom u nekom od juvenilnih stadijuma, znatno je kraća od dužine života adulta u kontroli. U novije vreme, ovakvi efekti registrovani su prilikom ispitivanja efekata azadirachtina na tefritide (Stark i sar., 1990), akaricida inhibitora razvika na tetranihide (Sekulić, 1997; Marčić, 2002a, 2003a, 2003b, 2005), piriproksifena na vaš pamuka (Kerns i Stewart, 2000), *Bt*-toksina na krompirovu zlaticu (Costa i sar., 2000), insekticida regulatora rasta i spinosada na endoparazitnu osicu *Hyposoter didymator* (Schneider i sar., 2004). Dužina života preživelih jedinki može da bude značajno redukovana i nakon akutne ekspozicije letalnim ili subletalnim dozama u stadijumu adulta, što pokazuju primeri ženki parazitoidne ose *Aphytis melinus* (Rosenheim i Hoy, 1988) i ženki *T. urticae* (Marčić i Ogurlić, 2006a, 2006b, 2007; Marčić, 2007), tretiranih organofosfornim insekticidima, odnosno spirodiklofenom. Ekspozicija može da bude i indirektna: skraćanje života adulta registrovano je kod parazitoida *Trichogramma exiguum* nakon tretiranja lutki domaćina spinosadom i tebufenozidom (Suh i sar., 2000) i predatora *Chrysoperla carnea*, čije su larve prvog stupnja hranjene vašima tretiranim azadirachtinom (Ahmad i sar., 2003).

Posledica tretiranja pesticidima u nekom od pre-adultnih stadijuma može da bude i produženje vremena razvika preživelih jedinki; ovakav efekat izazivaju kako neurotoksični (Holland i Chapman, 1994; Consoli

i sar., 1998; George i Ambrose, 1999; Galvan i sar., 2005), tako i pesticidi drugačijeg mehanizma delovanja (Biddinger i Hull, 1999; Liu i Chen, 2001; Butter i sar., 2003; Marčić, 2003a, 2005), uključujući i *Bt*-toksine aplicirane na lišće (Costa i sar., 2000; Nault i sar., 2000) ili u veštačku hranu (Eizaguirre i sar., 2005). I *Bt*-toksini prisutni u transgenim biljkama takođe mogu da utiču na brzinu razvića: larve nekih sovića, za koje *Bt*-toksini iz transgenog pamuka (Adamczyk i sar., 1998; Ashfaq i sar., 2001), odnosno kukuruza (Storer i sar., 2001; Binning i Rice, 2002; Dutton i sar., 2002), nisu bili smrtonosni, razvijale su se sporije od larvi hranjenih običnim biljkama. S druge strane, ima i primera ubrzanog razvića pod uticajem nekih piretroida (Iftner i Hall, 1984; Zanuncio i sar., 2003), odnosno regulatora rasta (Biddinger i sar., 2006). U testu hronične

toksičnosti za *Daphnia magna*, tetradifon je značajno produžio vreme do prve reprodukcije (Villarroel i sar., 1999b).

U studijama subletalnih efekata pesticida parametar koji se najčešće prati je fekunditet i/ili fertilitet ženki koje su preživele tretman. U Tabelama 1 i 2 prikazani su primeri redukovane, odnosno stimulisane reprodukcije artropoda različite taksonomske pripadnosti. Dok su podaci o redukciji raspoređeni na nekoliko najznačajnijih grupa pesticida, najveći broj primera stimulacije odnosi se na neurotoksična jedinjenja. Pesticidi istog mehanizma delovanja mogu da izazovu suprotne efekte kod iste vrste artropoda, što pokazuju primeri *T. urticae* i piretroida (Holland i Chapman, 1994; Bowie i sar., 2001), odnosno *Bt*-toksina (Royalty i sar., 1990; Rovenská i sar., 2005).

**Tabela 1.** Primeri redukcije fekunditeta i/ili fertiliteta artropoda indukovane pesticidima  
**Table 1.** Instances of pesticide-induced reductions in arthropod fecundity and/or fertility

Insekticidi i akaricidi – Insecticides and acaricides		
Način delovanja – Mode of action	Test-organizam – Test-organism	Referenca – Reference
Neurotoksična jedinjenja – Neurotoxic compounds:		
Dimetoat, hlörpirifos, metidation	<i>Aphytis melinus</i> <sup>(1)</sup>	Rosenheim i Hoy (1988)
Hlörpirifos	<i>Folsomia candida</i> <sup>(2)</sup>	Herbert i sar. (2004)
Fenitrotion	<i>Daphnia magna</i> <sup>(3)</sup>	Ferrando i sar. (1996)
Fluvalinat, esfenvalerat	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	Holland i Chapman (1994)
Esfenvalerat	<i>Typhlodromus pyri</i> <sup>(5)</sup>	Bowie i sarl. (2001)
	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	
	<i>Panonychus ulmi</i> <sup>(4)</sup>	
Malation, profenofos, ciflutrin	<i>Orius insidiosus</i> <sup>(6)</sup>	Elzen (2001)
Avermektin B1	<i>Ceratitix capitata</i> <sup>(7)</sup>	Albrecht i Sherman (1987)
	<i>Dacus cucurbitae</i> <sup>(7)</sup>	
	<i>Dacus dorsalis</i> <sup>(7)</sup>	
Fipronil	<i>Orius insidiosus</i> <sup>(6)</sup>	Elzen (2001)
Imidaklopid, tiaklopid, tiametoksam	<i>Neoseiulus fallacis</i> <sup>(5)</sup>	Villanueva i Walgenbach (2005)
Spinosad	<i>Neoseiulus fallacis</i> <sup>(5)</sup>	Villanueva i Walgenbach (2005)
Regulatori rasta insekata – Insect growth regulators:		
Azadirahstin	<i>Macrolophus caliginosus</i> <sup>(8)</sup>	Tedeshi i sar. (2001)
Piriprosifen	<i>Aphis gossypii</i> <sup>(9)</sup>	Kerns i Stewarth (2000)
Tebufenozid	<i>Platynota idaeusalis</i> <sup>(10)</sup>	Biddinger i sarl. (2006)
	<i>Cydia pomonella</i> <sup>(10)</sup>	Knight (2000)
Metoksifenozid	<i>Cydia pomonella</i> <sup>(10)</sup>	Hoelscher i Barrett (2003)
	<i>Grapholita molesta</i> <sup>(10)</sup>	Reinke (2006)
Triflumuron	<i>Musca domestica</i> <sup>(11)</sup>	Knapp i Cilek (1988)
	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	Sáenz-de-Cabezón i sar. (2002)
Flufenoksuron	<i>Phytoseiulus persimilis</i> <sup>(5)</sup>	Kim i Yoo (2002)
	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	
Lufenuron	<i>Helicoverpa armigera</i> <sup>(12)</sup>	Butter i sar. (2003)
Etoksazol	<i>Phytoseiulus persimilis</i> <sup>(5)</sup>	Kim i Yoo (2002)

Inhibitori metaboličkih procesa – Metabolic processes inhibitors:		
Tetradifon	<i>Daphnia magna</i> <sup>(3)</sup>	Villarroel i sar. (1999b)
Propargit	<i>Chrysoperla carnea</i> <sup>(13)</sup>	Rezaei i sar. (2007)
Acehinocil, hlorfenapir, fenazakvin	<i>Phytoseiulus persimilis</i> <sup>(5)</sup>	Kim i Yoo (2002)
	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	
Spirodiklofen	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	Marčić i Ogurlić (2006a, b; 2007) Cheon i sar. (2007)
Inhibitori ishrane – Feeding inhibitors:		
Pimetrozin	<i>Chrysoperla carnea</i> <sup>(13)</sup>	Rezaei i sar. (2007)
Razaranje membrana srednjeg creva – Disruption of midgut membranes:		
Bt var.berliner	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	Royalty i sar. (1990)
Bt δ-endotoksin	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> <sup>(14)</sup>	Costa i sar. (2000)
Fungicidi – Fungicides		
Benomil	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(4)</sup>	Alston i Thomson (2004)
	<i>Galendromus occidentalis</i> <sup>(5)</sup>	
Mankozeb	<i>Galendromus occidentalis</i> <sup>(5)</sup>	Bernard i sar. (2004)
	<i>Euseius victoriensis</i> <sup>(5)</sup>	
Herbicidi – Herbicides		
Cianazin	<i>Daphnia magna</i> <sup>(3)</sup>	Kashian i Dodson (2002) Sánchez i sar. (1999)

(<sup>1</sup>) Hymenoptera: Aphelinidae; (<sup>2</sup>) Collembola; (<sup>3</sup>) Cladocera; (<sup>4</sup>) Acari: Tetranychidae; (<sup>5</sup>) Acari: Phytoseiidae; (<sup>6</sup>) Hemiptera: Anthocoridae; (<sup>7</sup>) Diptera: Tephritidae; (<sup>8</sup>) Heteroptera: Miridae; (<sup>9</sup>) Homoptera: Aphididae; (<sup>10</sup>) Lepidoptera: Tortricidae; (<sup>11</sup>) Diptera: Muscidae; (<sup>12</sup>) Lepidoptera: Noctuidae; (<sup>13</sup>) Neuroptera: Chrysopidae; (<sup>14</sup>) Coleoptera: Chrysomelidae

Stimulativni efekti stresnih agenasa na rast, dužinu života, reprodukciju, dokumentovani su kod taksonomski veoma različitih organizama. Termin **hormezis**, uveden sredinom prošlog veka i kasnije redefinisano, obuhvata takav odgovor živih organizama na stresne agense, gde niske ili subletalne doze deluju stimulativno, dok visoke doze deluju toksično ili inhibitoryno (Forbes, 2000; Cohen, 2006). S druge strane, u entomološkoj literaturi je prisutniji termin **hormoligoza** kojim je Luckey (1968) označio stimulaciju kao posledicu ekspozicije niskim dozama pesticida u suboptimalnim uslovima razvoja izloženih organizama. Razmatrajući primenljivost ovih definicija na registrovane primere stimulacije artropoda, Cohen (2006) je predložio termin **homeostatička modulacija**, koji bi obuhvatio hormoligozu i hormezis, ali i one slučajeve gde pesticidi stimulišu reprodukciju vrsta koje nisu primarni ciljevi njihovog delovanja (npr. efekti neonicotoida, nekih piretroida, fungicida i herbicida na grinje). Homeostatičku modulaciju, kao direktnu stimulaciju reprodukcije pesticidima, treba razlikovati od **trofobioze**, indirektno stimulacije reprodukcije koja je rezultat poboljšanog nutritivnog kvaliteta biljaka-domaćina tretiranih pesticidima (Kerns i Gaylor, 1993; Hardin i sar., 1995; Cohen, 2006).

Radi jednostavnijeg izlaganja, subletalni efekti su podeljeni na promene ponašanja i promene fiziologije, što ne znači da se i u realnim uslovima interakcije artropoda, biljaka i pesticida uvek jasno uočava šta je primarni efekat. Tako npr. redukcija fekunditeta, jednog od parametara koji se najčešće prati, može da bude posledica, kako efekata pesticida na reproduktivnu fiziologiju (Dallaire i sar., 2004; Reinke, 2006), tako i redukovane ishrane i/ili promena obrazaca ponašanja prilikom pronalaženja domaćina, parenja, polaganja jaja (Royalty i sar., 1990; Kaethner, 1992; Devine i sar., 1998; Desneux i sar., 2007). Usporeno razviće larvi nekih koleoptera i lepidoptera objašnjava se redukcijom ishrane usled intoksikacije organizma *Bt*-toksinima (Costa i sar., 2000; Nault i sar., 2000; Dutton i sar., 2002; Eizaguirre i sar., 2005). Efekat pesticida u tritrofičkom sistemu biljka-herbivor-parazitoid/predator može da bude i indirektno: promenjen kvalitet biljke-domaćina menja obrasce ponašanja i na kraju utiče na brojnost potomstva (Hardin i sar., 1995), kao što i umanjena nutritivna vrednost plena kontaminiranog pesticidom usporava razviće predatora (Obrist i sar., 2006).

**Tabela 2.** Primeri homeostatičke modulacije fekunditeta i/ili fertiliteta artropoda indukovane pesticidima  
**Table 2.** Instances of pesticide-induced homeostatic modulation of arthropod fecundity and/or fertility

Insekticidi i akaricidi – Insecticides and acaricides		
Način delovanja – Mode of action	Test-organizam – Test-organism	Referenca – Reference
Neurotoksična jedinjenja – Neurotoxic compounds:		
DDT	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Saini i Cutkomp (1966) Dittrich i sar. (1974)
Dikofol	<i>Scirtothrips citri</i> <sup>(2)</sup>	Morse i Zareh (1991)
Endosulfan	<i>Daphnia magna</i> <sup>(3)</sup>	Fernández-Casalderrey i sarl. (1993)
Azinfosmetil	<i>Myzus persicae</i> <sup>(4)</sup> <i>Panonychus citri</i> <sup>(1)</sup>	Lowery i Sears (1986) Costa i sar. (1988)
Malation	<i>Panonychus citri</i> <sup>(1)</sup> <i>Scirtothrips citri</i> <sup>(2)</sup>	Jones i Parella (1984) Morse i Zareh (1991)
Metil-paration	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup> <i>Nilaparvata lugens</i> <sup>(5)</sup>	Maggi i Leigh (1983) Chelliah i sar. (1980)
Butocarboxim	<i>Panonychus citri</i> <sup>(1)</sup>	Costa i sar. (1988)
Karbaril	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Dittrich i sar. (1974) Boykin i Campbell (1982)
Metomil	<i>Plutella xylostella</i> <sup>(6)</sup> <i>Geocoris pallens</i> <sup>(7)</sup>	Sota i sar. (1988) Yokoyama i Pritchard (1984)
Cipermetrin	<i>Panonychus citri</i> <sup>(1)</sup>	Costa i sar. (1988)
Deltametrin	<i>Nilaparvata lugens</i> <sup>(5)</sup>	Chelliah i sar. (1980)
Fenvalerat	<i>Plutella xylostella</i> <sup>(6)</sup>	Sota i sar. (1988) Fujiwara i sar. (2002)
Permetrin	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Iftner i Hall (1984)
	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Iftner i Hall (1984)
	<i>Panonychus citri</i> <sup>(1)</sup>	Jones i Parella (1984)
	<i>Supputius cincticeps</i> <sup>(8)</sup>	Zanuncio i sar. (2003)
Imidacloprid	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	James i Price (2002)
	<i>Amblyseius victoriensis</i> <sup>(9)</sup>	James (1997)
Spinosad	<i>Orius insidiosus</i> <sup>(10)</sup>	Elzen (2001)
Razaranje membrana srednjeg creva – Disruption of midgut membranes:		
<i>Bt</i> Cry3Bb	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Rovenská i sar. (2005)
Fungicidi – Fungicides		
Mankozeb	<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Boykin i Campbell (1982)
Herbicidi – Herbicides		
Acifluorfen	<i>Geocoris punctipes</i> <sup>(7)</sup>	Farlow i Pitre (1983)
Bentazon		
Glifosat	<i>Geocoris punctipes</i> <sup>(7)</sup>	Yokoyama i Pritchard (1984)

<sup>(1)</sup> Acari: Tetranychidae; <sup>(2)</sup> Thysanoptera: Thripidae; <sup>(3)</sup> Cladocera; <sup>(4)</sup> Homoptera: Aphididae; <sup>(5)</sup> Hemiptera: Delphacidae; <sup>(6)</sup> Lepidoptera: Yponomeutidae; <sup>(7)</sup> Hemiptera: Lygaeidae; <sup>(8)</sup> Heteroptera: Pentatomidae; <sup>(9)</sup> Acari: Phytoseiidae; <sup>(10)</sup> Hemiptera: Anthocoridae

### Kvantifikacija subletalnih efekata

Potreba za kvantifikacijom subletalnih efekata kroz odgovarajuće parametre proizišla je iz zahteva za potpunijom procenom kompatibilnosti pesticida i bioloških kontrolnih agenasa, odnosno negativnih efekata na vrste koje su ekotoksikološki indikatori kontaminacije

životne sredine pesticidima (Cortet i sar., 1999; Stark i sar., 2007a, 2007b).

U testovima sa artropodama, posebno u ekotoksiološkim studijama, kao parametri subletalnih efekata koriste se i **srednja efektivna doza/koncentracija** (ED<sub>50</sub>/EC<sub>50</sub>), tj. doza/koncentracija koja neki biološki proces inhibira ili redukuje za 50%, najni-

ža efektivna koncentracija (LOEC) i najviša koncentracija koja ne izaziva efekat (NOEC) (Cortet i sar., 1999; Villarroel i sar., 1999b; Stark i Banks, 2003). Nastojeći da objedine letalne i subletalne efekte u jedinstveni parametar, Overmeer i Van Zon (1982) predložili su formulu (1) za izračunavanje „totalnog efekta” pesticida na populacije predatorske grinja *Amblyseius potentillae*:

$$E = 100\% - (100\% - M) \times R \quad (1)$$

gde je  $E$  totalni efekat,  $M$  smrtnost korigovana prema Abbott-ovoj formuli,  $R$  reproduktivni kapacitet, izračunat prema formuli  $R = R_t/R_c$  ( $R_t$  je prosečan broj jaja položenih po ženki u tretmanu;  $R_c$  je prosečan broj jaja položenih po ženki u kontroli). Međunarodna organizacija za biološku kontrolu (IOBC) prihvatila je, uz izvesne modifikacije, ovaj parametar kao osnovu za kategorizaciju štetnosti pesticida za predatore i parazitoide (Bakker i sar., 1992; Hassan, 1992; Amano i Haseeb, 2001).

Subletalni efekti pesticida na ponašanje prilikom ishrane takođe mogu da budu iskazani odgovarajućim parametrima (indeksima, koeficijentima) zasnovanim na veličini konzumirane i/ili oštećene lisne površine; za merenje površine koriste se i softverski sistemi koji stvaraju digitalnu sliku lista (Mordue-Luntz i sar., 1998; Nachman i Zemek, 2002; O'Neal i sar., 2002). Promene ponašanja prilikom ishrane *Daphnia* spp. izražavaju se promenama stopa filtracije i ingestije hrane (Fernández-Casalderrey i sar., 1994; Villarroel i sar., 1999a) ili post-ekspozicionom depresijom u ishrani (William i Baird, 2002).

U poređenju sa testovima akutne toksičnosti, parametri  $ED_{50}/EC_{50}$ , NOEC, LOEC i model biotesta koji zagovara IOBC, nesumnjivo poboljšavaju kvalitet evaluacije i pružaju jasniju sliku o efektima pesticida. S druge strane, ovako definisan biotest uglavnom uzima u obzir samo fekunditet/fertilitet, dok drugi subletalni efekti, npr. promene u trajanju razvića, uzrastu prve reprodukcije, dužini životnog ciklusa i/ili ponašanju, ostaju neregistrovani. Pored toga, reč je o evaluaciji na nivou jedinke, a ne na nivou populacije, kakva je neophodna za pouzdaniju procenu efektivnosti pesticida u realnim uslovima, odnosno vremena potrebnog za oporavak populacija, posebno u slučajevima interakcije predator-plen, odnosno parazitoid-domaćin (Robertson i Worner, 1990; Stark i sar., 2007a, 2007b).

Kao način za integraciju efekata koje toksikant može da izazove na nivou populacije predložen je **demograf-**

**sko-toksikološki** pristup, čiji je cilj određivanje parametara populacionog rasta (Forbes i Calow, 1999; Stark i Banks, 2003; Stark i sar., 2007a, 2007b). Laboratorijski eksperimenti zasnovani na analizi odgovora iskazanog **tablicama života** (*life tables*) test-organizama jedan su od načina za iskazivanje efekata pesticida na nivou populacije.

## TABLICE ŽIVOTA I DEMOGRAFSKA TOKSIKOLOGIJA ARTROPODA

### Konstrukcija tablica i izračunavanje parametara populacionog rasta

Tablice života nastale su kao rezultat potrebe američkih kompanija koje su prodavale životno osiguranje za procenom verovatnoće da njihovi klijenti dožive određenu starost. Izraz demografija, koji je *sensu stricto* obuhvatao samo statističke studije humanih populacija, počeo je da se primenjuje na analizu dinamike populacija uopšte, uključujući i populacije artropoda (Birch, 1948; Harcourt, 1969; Bellows i sar., 1992; Carey, 1993). Demografska literatura poznaje više kategorija i formi tablica života. Ovde govorimo o uzrasno-specifičnim tablicama života, zasnovanim na modelu stabilne populacije, koji posmatra jedan pol (ženski) u izolovanoj populaciji stabilne uzrasne strukture. Ove tablice sadrže podatke o **uzrasno-specifičnom preživljavanju** ( $l_x; L_x$ )<sup>5</sup> i **uzrasno-specifičnom fertilitetu** ( $m_x$ )<sup>6</sup> za grupu ženki iste starosti do kraja života poslednje ženke u grupi (Tabela 3).

Na osnovu ovih podataka izračunavaju se **bruto stopa reprodukcije** ( $G$ ) i **neto stopa reprodukcije** ( $R_0$ ), primenom jednačina (2) i (3) (Carey, 1993):

$$G = \sum m_x \quad (2)$$

$$R_0 = \sum L_x m_x \quad (3)$$

Centralni parametar koji se izračunava na osnovu podataka o stopama preživljavanja i fertiliteta je **prirodna stopa rasta** (*intrinsic rate of increase*,  $r_m$ ), mera prirodne (urođene) sposobnosti logaritamskog rasta izolovane populacije u idealnim uslovima sredine. Čuveni populacioni matematičar A.J. Lotka razvio je i definisao

<sup>5</sup> Proporcija živih ženki starosti  $x$  ( $l_x$ ), tj. proporcija živih ženki na sredini intervala  $x, x+1$  ( $L_x = [l_x + l_{x+1}]/2$ )

<sup>6</sup> Prosečan broj ženskog potomstva po ženki na sredini intervala  $x, x+1$  ( $m_x$ )

ovaj parametar za potrebe humane demografije. Birch (1948) je predložio nov oblik Lotkine jednačine (4) i primenio ga za izračunavanje prirodne stope rasta populacija insekata iterativnim postupkom:

$$\sum L_x m_x e^{-r_m x} = 1 \quad (4)$$

Vrednosti  $r_m > 0$ , odnosno  $r_m < 0$ , ukazuju na eksponencijalni rast, odnosno opadanje populacije, dok  $r_m = 0$  označava stabilno stanje. Konačnoj vrednosti prirodne stope rasta najviše doprinosi reprodukcija u mladem uzrastu. Pored direktnog uticaja stopa preživljavanja i fertiliteta, na visinu prirodne stope rasta populacije utiče i trajanje vremena razvića, odnosno uzrast prve re-

**Tabela 3.** Tablica života ženki *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), konstruisana na osnovu sopstvenih rezultata (Marčić, 2003a)

**Table 3.** Life table of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) females, constructed from our data

$x$	$l_x$	$L_x$	$m_x$	$L_x m_x$
10 <sup>*1</sup>	0.93 <sup>*2</sup>	15.83	2.75	2.56
11	0.93	14.83	7.62	7.09
12	0.93	13.83	9.31	8.66
13	0.90	13.26	9.97	8.97
14	0.90	12.26	8.90	8.01
15	0.84	12.06	8.17	6.86
16	0.81	11.47	7.89	6.39
17	0.78	10.87	6.59	5.14
18	0.76	10.13	5.85	4.45
19	0.73	9.51	5.72	4.18
20	0.70	8.87	4.54	3.18
21	0.67	8.22	3.57	2.39
22	0.58	8.34	3.50	2.03
23	0.58	7.34	3.50	2.03
24	0.55	6.69	2.16	1.19
25	0.52	6.02	1.72	0.89
26	0.41	6.37	1.93	0.79
27	0.38	5.79	1.00	0.38
28	0.35	5.20	1.50	0.52
29	0.32	4.59	0.64	0.20
30	0.26	4.42	0.33	0.09
31	0.17	5.24	0.67	0.11
32	0.12	6.00	0.75	0.09
33	0.12	5.00	0.25	0.03
34	0.12	4.00	0.00	0.00
35	0.12	3.00	0.00	0.00
36	0.12	2.00	0.00	0.00
37	0.12	1.00	0.00	0.00
			$G = 98.83$	$R_0 = 76.23$

\*1  $x = 1-8$  (juvenilno razviće/juvenile development);  $x = 9$  (pre-ovipozicioni period/pre-oviposition period);  $x = 10$  (uzrast prve reprodukcije/age of first reproduction)

\*2  $l_x = 0.93$  (uračunat juvenilni mortalitet od 7%)/(7% juvenile mortality included)

$x$  = Dužina života (dani)/Life span (days)

$l_x$  = Proporcija živih ženki starosti  $x$ /Proportion of live females aged  $x$

$L_x$  = Proporcija živih ženki na sredini intervala  $x, x+1$ ; /Proportion of live females at mid-interval  $x, x+1$ ;

$m_x$  = Prosečan broj ženskog potomstva po ženki na sredini intervala  $x, x+1$ /Average female offspring per female at mid-interval  $x, x+1$

$G$  = Bruto stopa reprodukcije/Gross reproduction rate

$R_0$  = Neto stopa reprodukcije/Net reproduction rate



produkcije; što je starost ženki ( $x$ ) manja, to je vrednost  $r_m$  veća. Kod kolonizirajućih vrsta, čije su prirodne populacije obično u rastućoj fazi i gde je fertilitet blizu fiziološkog maksimuma, posledica relativno malog usporavanja/ubrzanja juvenilnog razvića može da bude značajno smanjenje/povećanje prirodne stope rasta (Snell, 1978; Sabelis, 1985).

Na osnovu vrednosti  $r_m$  izračunavaju se vrednosti i ostalih parametara: **konačne stope rasta**, tj. faktora umnožavanja populacije u jedinici vremena ( $\lambda$ ), **srednjeg vremena generacije** ( $T$ ) i **vremena udvostručenja populacije** ( $DT$ ), primenom sledećih jednačina (Birch, 1948; Carey, 1993; Maia i sar., 2000):

$$\lambda = e^{r_m} \quad (5)$$

$$T = \frac{\ln R_0}{r_m} \quad (6)$$

$$DT = \frac{\ln 2}{r_m} \quad (7)$$

Zastupljenost pojedinih starosnih klasa, tj. frakcija starosti  $x$  u stabilnoj populaciji ( $c_x$ ), na osnovu koje je moguće odrediti uzrasnu strukturu populacije, računa se primenom jednačine (8) (Carey i Krainacker, 1988; Carey, 1993):

$$c_x = \frac{e^{-r_m x} L_x}{\sum e^{-r_m x} L_x} \quad (8)$$

Pored radova Birch-a (1948), Laing-a (1969), Hazan-a i saradnika (1973), primeri konstruisanja tablica života i izračunavanja parametara populacionog rasta nalaze se i u odličnoj knjizi o demografskim metodama u entomologiji, koju je napisao Carey (1993). Za statističko poređenje vrednosti  $r_m$  i drugih populacionih parametara primenjuju se tzv. „jackknife”, odnosno „bootstrap” postupci (Sokal i Rohlf, 1981; Meyer i sar., 1986; Maia i sar., 2000).

### Uticao različitih faktora na populacioni rast artropoda

Tablice života razvijene su za primenu u analizi populacija artropoda iz različitih taksona: herbivora, predatora i parazitoida, bioindikatora (Porter i sar., 1983; Bellows i sar., 1992; Dent, 1997; Cornell i sar., 1998). Posebno pogodna za demografske tehnike su vrste jednostavnog životnog ciklusa, koje se gaje relativno lako i čije populacije brzo rastu, kao što su grinje, lisne va-

ši ili diptere (Carey, 1982; Carey i Krainacker, 1988; Carey, 1993; Walthall i Stark, 1997a). Prirodna stopa rasta najbolji je indikator potencijalne sposobnosti populacije da iskoristi postojeće uslove za umnožavanje (Snell, 1978). Pored primene u cilju provere demografskih koncepata i modela, tablice života artropoda koriste se i za proučavanja uticaja ekoloških i drugih faktora na populacioni rast.

Temperatura je ključni faktor koji određuje stope rasta i dinamiku populacija artropoda, jer postoji visoka korelacija između vremena razvića, fekunditeta i fertiliteta, dužine života, i promena temperature (Birch, 1948; Logan i sar., 1976; Dent, 1997). Značajan broj demografskih studija posvećen je uticaju temperatura (konstantnih i/ili promenljivih, posebno ili u interakciji sa drugim faktorima) na prirodnu stopu rasta, sa ciljem da se utvrdi optimalni temperaturni režim i definiše model razvoja radi preciznijeg predviđanja populacione dinamike (Carey i Bradley, 1982; Evans, 1982; Elliot i sar., 1988; Michels i Behle, 1989; Wermelinger i sar., 1990a; Bounfour i Tanigoshi, 2001; Roy i sar., 2003; Kasap, 2004; Davis i sar., 2006; Zamani i sar., 2006). Na populacioni rast herbivornih artropoda znatno utiču stanje i osobine biljke-domaćina: vrsta i sorta (Gerson i Aronowitz, 1980; Jansson i Smilowitz, 1986; Krips i sar., 1998; Kasap, 2004), mineralna ishrana (Wermelinger i sar., 1991), stres (Wermelinger i sar., 1990b; Aucejo-Romero i sar., 2004). Pogodnost genetski modifikovanih biljaka za razvoj herbivornih artropoda takođe može da se izrazi parametrima populacionog rasta (Alla i sar., 2003; Castagnoli i sar., 2003; Le Roux i sar., 2004; Ribeiro i sar., 2006). Različite vrste osnovne i dopunske hrane (polen, plen) mogu značajno da utiču na reproduktivni uspeh i stope rasta populacija predatora (Enkegaard i sar., 1997; Hansen i sar., 1999; Abdallah i sar., 2001; Russo i sar., 2004).

Poseban aspekt primene demografskih metoda je iskazivanje adaptivne vrednosti („fitnesa”) populacija/rasa artropoda kod kojih je selekcionisana rezistentnost na pesticide. Adaptivna vrednost je jedan od faktora koji utiču na evoluciju rezistentnosti: kad prestane selekcionirajući pritisak pesticidima, prirodna selekcija postepeno eliminiše iz populacije rezistentne genotipove, ukoliko se oni odlikuju i manjom adaptivnom vrednošću (manjim fekunditetom i/ili fertilitetom, sporijim razvićem), u odnosu na osetljivije genotipove (Roush i McKenzie, 1987; Roush i Daly, 1990).

Rezultati nekoliko demografskih studija pokazali su da rezistentnost na pesticide ne mora da bude povezana sa reproduktivnom inferiornošću selekcionisanih

rasa artropoda. Poredeći parametre populacionog rasta rasa *T. urticae* rezistentnih na klofentezin i heksitiazoks, odnosno klofentezin i dikofol, sa rasama normalne osetljivosti, Herron i Rophail (1993) i Marčić i Sekulić (1998) su ustanovili da se vrednosti  $r_m$  i drugih populacionih parametara ne razlikuju značajno. S druge strane, Yamamoto i saradnici (1995) su utvrdili da je rasa *Panonychus citri*, rezistentna na heksitiazoks, reproduktivno inferiorna u odnosu na normalno osetljivu rasu, na temperaturi od 35°C; na 25°C, međutim, nisu utvrđene značajne razlike. Proučavajući rase *Sitophilus oryzae* različite osetljivosti na organofosforne insekticide, Becket i saradnici (1996) su ustanovili da jedino rezistentnost na hlörpirifos-metil negativno utiče na demografske performanse. Značajna redukcija  $r_m$  vrednosti registrovana je kod rase krompirove zlatice, rezistentne na *Bt-Cry3A* toksin (Alyokhin i Ferro, 1999).

### Demografsko-toksikološki biotest pesticida

Već široko korišćen u analizi uticaja ekoloških faktora, demografski postupak je primenjen i za evaluaciju efekata pesticida i drugih toksikanata na rast populacija artropoda. Pojam *demografska toksikologija* obuhvata laboratorijske postupke testiranja efekata pesticida, iskazanih promenama vrednosti prirodne stope rasta i drugih populacionih parametara (Stark i Banks, 2003). U Tabeli 4 prikazani su primeri demografsko-toksikoloških studija efekata pesticida na različite vrste artropoda.

Neke od ovih studija, u kojima su poređeni različiti postupci testiranja toksičnosti, pokazuju da je demografsko-toksikološki biotest superiorniji u proceni ukupnih efekata pesticida. Tako su npr. Walthall i Stark (1997a) izlagali jedinke *Acyrtosiphon pisum* rezidualnom delovanju imidakloprida na biljkama pasulja i efekte iskazali na dva načina: kao  $LC_{50}$  vrednosti, posle 34, 48 i 72 sata, odnosno kao  $R_0$  i  $r_m$  vrednosti, u testu koji je trajao do kraja životnog ciklusa. Jedinke izložene koncentraciji od 0.25 mg/L imale su vrednost prirodne stope rasta za 24% manju od kontrolne; istovremeno, na osnovu dobijenih regresionih linija, ova koncentracija ostvaruje smrtnost od 60%. Preživle ženke, koje su uspele da ostvare ovako relativno visoku stopu rasta, omogućuju populaciji da brzo kompenzuje gubitke nastale toksičnim delovanjem insekticida. Na osnovu podataka dobijenih testiranjem akutne toksičnosti nije bilo moguće predvideti ovakav kompenzacioni efekat. Saber i saradnici (2004) su ustanovili

da se iz parazitiranih jaja *C. pomonella*, tretiranih koncentracijom azadirahatina preporučenom za primenu, pojavilo 34% manje adulta parazitoida *Trichogramma cacoeciae*, što ovaj insekticid svrstava u neznatno štetne, prema IOBC klasifikaciji. Međutim, vrednosti  $R_0$ ,  $r_m$ ,  $T$  i  $DT$  u kohorti adulta koji su se pojavili iz tretiranih jaja bile su značajno niže, u poređenju sa kontrolnom kohortom, ukazujući na činjenicu da se samo na osnovu procenta redukcije pojavljivanja adulta parazitoida iz jaja tretiranog domaćina ne može adekvatno oceniti selektivnost pesticida. Rezaei i saradnici (2007) su ispitivali efekte imidakloprida, propargita i pimetrozina na *C. carnea*, koristeći IOBC-metod totalnog efekta i demografsko-toksikološki test, i zaključili da je za procenu efekata pesticida demografski pristup osetljiviji i precizniji, posebno imajući u vidu rezultate za pimetrozina.

S druge strane, Forbes i Calow (1999) su postavili pitanje da li je odgovor na delovanje toksikanata, iskazan uticajem na pojedina obeležja životnog ciklusa (preživljavanje, uzrast prve reprodukcije, brojnost potomstva, dužina života), manje ili više osetljiva mera efekata, u poređenju sa odgovorom iskazanim stopama populacionog rasta. Analizirajući veći broj eksperimentalnih radova u kojima je efekat toksikanata na artropode i druge invertebrate istovremeno iskazan na oba načina, autori su zaključili da su promene  $r_m$  i  $\lambda$  vrednosti relevantniji parametar za iskazivanje efekata, jer integrišu potencijalno složene interakcije među pojedinačnim karakteristikama u jedinstveni parametar; male, statistički neregistrovane promene nekih od pomenutih obeležja mogu u ukupnom zbiru da izazovu značajne promene vrednosti stopa rasta.

Demografske studije prikazane u Tabeli 4 donekle se međusobno razlikuju u metodološkom smislu (izbor doza/koncentracija, način ekspozicije, izabrani razvojni stadijumi artropoda), a njihovi rezultati uglavnom pokazuju negativne efekte pesticida na populacioni rast, kao rezultat redukcije uzrasno-specifičnog preživljavanja i/ili fertiliteta. U nekim radovima pažnja je posvećena i poremećaju uzrasne strukture preživelih delova populacije, dok drugi potvrđuju značaj uticaja usporavanja razvića na vrednosti stopa populacionog rasta (Villarrol i sar., 1999b; Stark i Vargas, 2003, 2005; Marčić, 2004, 2005). Nekoliko studija donosi i primere stimulacije, odnosno homeostatičke modulacije populacionih parametara (Jones i Parella, 1984; Marčić, 2003b; Acheampong i Stark, 2004; Zaniccio i sar., 2005). Zajedničko za sve njih je konstrukcija tablica života i izračunavanje vredno-

**Tabela 4.** Primeri demografsko-toksikoloških studija efekata pesticida na artropode  
**Table 4.** Instances of demographic-toxicological studies of pesticide effects on arthropods

Test-organizam – Test-organisms	Pesticid – Pesticide	Referenca – Reference
<i>Tetranychus urticae</i> <sup>(1)</sup>	Mankozeb, benomil, karbaril	Boykin i Campbell (1982)
	Dikofol	Ahmadi (1983)
	Amitraz	Ibrahim i Knowles (1986)
	Heksitiazoks	Sekulić (1997)
	Flufenzin	Marčić (2002a, b; 2004)
	Klofentezin	Marčić (2002b; 2003b; 2004)
	Tebufenpirad	Marčić (2004; 2005)
	Spirodiklofen	Marčić (2007)
	Azadirahntin	Martinez-Villar i sar. (2005)
<i>Tetranychus viennensis</i> <sup>(1)</sup>	Klofentezin	Li i sar. (2006)
<i>Panonychus citri</i> <sup>(1)</sup>	Malation, permetrin	Jones i Parella (1984)
<i>Neoseiulus longispinosus</i> <sup>(2)</sup>	Abamectin	Ibrahim i Yee (2000)
<i>Acyrtosiphon pisum</i> <sup>(3)</sup>	Imidaklopid	Walthall i Stark (1997a)
<i>Aphis gossypii</i> <sup>(3)</sup>	Acefat, bifentrin, piriproksifen	Kerns i Stewart (2000)
<i>Sitophilus oryzae</i> <sup>(4)</sup>	Pirimifosmetil, deltametrin	Longstaff i Desmarchelier (1983)
<i>Leptinotarsa decemlineata</i> <sup>(5)</sup>	Bt δ-endotoksin	Costa i sar. (2000)
<i>Gastrophysa polygoni</i> <sup>(5)</sup>	Cipermetrin, dimetoat	Kjaer i sar. (1998)
<i>Chrysoperla carnea</i> <sup>(6)</sup>	Imidaklopid, propargit, pimetozin	Rezaei i sar. (2007)
<i>Supputius cincticeps</i> <sup>(7)</sup>	Permetrin	Zanuncio i sar. (2005)
<i>Trichogramma cacoeciae</i> <sup>(8)</sup>	Azadirahntin	Saber i sar. (2004)
<i>Diaeretiella rapae</i> <sup>(9)</sup>	Pimetozin	Acheampong i Stark (2004)
<i>Daphnia magna</i> <sup>(10)</sup>	Maneb	Van Leeuwen i sar. (1987)
	Diazinon	Sánchez i sar. (1999)
	Tetradifon	Villarroel i sar. (1999 b)
	Fenvalerat	Pieters i Liess (2006)
<i>D. pulex</i> <sup>(10)</sup>	Simazin	Fitzmayer i sar. (1982)
	Diazinon, spinosad	Stark i Vargas (2003)
	Fipronil	Stark i Vargas (2005)
<i>Folsomia candida</i> <sup>(11)</sup>	Hlorpirifos	Crommentuijn i sar. (1997)

<sup>(1)</sup> Acari: Tetranychidae; <sup>(2)</sup> Acari: Phytoseiidae; <sup>(3)</sup> Hemiptera: Aphididae; <sup>(4)</sup> Coleoptera: Curculionidae; <sup>(5)</sup> Coleoptera: Chrysomelidae; <sup>(6)</sup> Neuroptera: Chrysopidae; <sup>(7)</sup> Heteroptera: Pentatomidae; <sup>(8)</sup> Hymenoptera: Trichogrammatidae; <sup>(9)</sup> Hymenoptera: Aphidiidae; <sup>(10)</sup> Cladocera; <sup>(11)</sup> Collembola

sti prirodne stope rasta i drugih populacionih parametara. Za svoj pregledni rad o efektima pesticida i drugih toksikanata na populacije artropoda, Stark i Banks (2003) su uspeli da prikupe 75 radova, od kojih se 19 odnosi na pesticide i demografsko-toksikološki biotest. Ovi autori ističu da, i pored nesumnjivih prednosti demografske toksikologije, ovaj pristup još uvek nije dovoljno široko prihvaćen u primenjenoj entomologiji i ekotoksikologiji. Jedan od razloga za to verovatno je činjenica da demografsko-toksikološki pristup podrazumeva relativno dugotrajan i naporan eksperimentalni postupak<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> U jednom broju studija sa pesticidima, efekti pesticida iskazani su kroz promene vrednosti **trenutne stope rasta**

Podaci koji se prikupljaju za konstruisanje tablica života mogu da se organizuju i u *matriks modele*, što omogućava projektovanje populacionog rasta u budućnosti, na osnovu sadašnjeg stanja uzrasno/razvojno strukturi-

(instantaneous rate of increase;  $r_i$ ), izračunate primenom formule (9):

$$r_i = \ln(N_f/N_0)/\Delta T \quad (9)$$

gde je  $N_f$  konačan broj jedinki,  $N_0$  početni broj jedinki a  $\Delta T$  broj dana trajanja oglada. Postupak određivanja  $r_i$  ne zahteva izradu tablica života niti toliki utrošak rada i vremena kao *lege artis* sproveden demografski postupak. Trenutna stopa rasta može da se koristi kao alternativni pokazatelj efekata pesticida na nivou populacije (Walthall i Stark, 1997b).

rane populacije. Projekcioni matriks modeli mogu da se primene i za procenu efekata pesticida, poređenjem vremena potrebnog kontrolnoj populaciji i populaciji izloženoj stresu da dostignu zadatu veličinu, odnosno utvrđivanjem tzv. indeksa zastoja populacionog rasta. Ovakav pristup posebno je značajan za sagledavanje interakcije predator-plen, odnosno parazitoid-domaćin (Wennergren i Stark, 2000; Stark i sar., 2004, 2007a, 2007b).

Demografsko-toksikološki biotest ima i izvesna metodološka ograničenja, jer ne uzima u obzir neke populacione fenomene koji se javljaju u prirodnim uslovima, kao što su uticaj gustine populacije, kompeticije, imigracije/emigracije, učinak predatora i parazitoida i drugi. U radovima koje su objavili Grant (1998), Sibly (1999) i Forbes i saradnici (2001) razmatraju se upravo neki od ovih fenomena u kontekstu evaluacije efekata toksikanata na populacionom nivou. I pored pomenuatih nedostataka i ograničenja demografske toksikologije, ovaj pristup je suštinski značajan za ekološki zasnovanu integralnu zaštitu bilja i kvalitetnu procenu ekotoksikološkog rizika primene pesticida.

## LITERATURA

- Abdallah, A.A., Zhang, Z.Q., Masters, G.J. and McNeill, S.:** *Euseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential biocontrol agent against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): life history and feeding habits on three different types of food. *Exp. Appl. Acarol.*, 25: 833-847, 2001.
- Acheampong, S. and Stark, J.D.:** Effects of the agricultural adjuvant Sylgard 309 and the insecticide pymetrozine on demographic parameters of the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae*. *Biol. Contr.*, 31: 133-137, 2004.
- Adamczyk, J.J.Jr., Holloway, J.W., Church, G.E., Leonard, B.R. and Graves, J.B.:** Larval survival and development of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on normal and transgenic cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* Cry1A(c)-endotoxin. *J. Econ. Entomol.*, 91: 539-545, 1998.
- Abmad, M., Ossiewatsch, H.R. and Basedow, T.:** Effects of neem-treated aphids as food/hosts on their predators and parasitoids. *J. Appl. Entomol.*, 127: 458-464, 2003.
- Abmadi, A.:** Demographic toxicology as a method for studying the dicofol-two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) system. *J. Econ. Entomol.*, 76: 239-242, 1983.
- Albrecht, C.P. and Sherman, M.:** Lethal and sublethal effects of avermectin B<sub>1</sub> on three fruit fly (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.*, 80: 344-347, 1987.
- Ali, F.S.:** Life tables of *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Gamasida: Phytoseiidae) at different temperatures. *Exp. Appl. Acarol.*, 22: 335-342, 1998.
- Alla, S., Cherqui, A., Kaiser, L., Azzouzz, H., Sangwann-Norreel, B.S. and Giordanengo, P.:** Effects of potato plants expressing the nptII-gus fusion marker genes on reproduction, longevity and host-finding of the peach-potato aphid, *Myzus persicae*. *Entomol. Exp. Appl.*, 106: 95-102, 2003.
- Alston, D.G. and Thomson, S.V.:** Effects of fungicide residues on the survival, fecundity and predation of the mites *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Galendromus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.*, 97: 950-956, 2004.
- Alyokhin, A.V. and Ferro, D.N.:** Relative fitness of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) resistant and susceptible to the *Bacillus thuringiensis* Cry3A toxin. *J. Econ. Entomol.*, 92: 510-515, 1999.
- Amano, H. and Haseeb, M.:** Recently-proposed methods and concepts of testing the effects of pesticides on the beneficial mite and insect species: study limitations and implications in IPM. *Appl. Entomol. Zool.*, 36: 1-11, 2001.
- Ashfaq, M., Young, S.Y. and McNew, R.W.:** Larval mortality and development of *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) reared on transgenic *Bacillus thuringiensis*-cotton cultivar expressing Cry1Ac insecticidal protein. *J. Econ. Entomol.*, 94: 1053-1058, 2001.
- Aucejo-Romero, S., Gómez-Cadenas, A. and Jacas-Miret, J.A.:** Effect of NaCl-stressed citrus plants on life-history parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 33: 55-67, 2004.
- Bakker, F., Grove, A., Blümel, S., Calis, J. and Oomen, P.:** Side-effects tests for phytoseiids and their rearing methods. *IOBC/WPRS Bulletin*, 15: 61-81, 1992.
- Becket, S.J., Evans, D.E. and Morton, R.:** A comparison of the demographics of pesticide susceptible and resistant strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat. *J. Stored Prod. Res.*, 32: 141-151, 1996.
- Bellows, T.S.Jr., van Driesche, R.G. and Elkinton, J.S.:** Life-table construction and analysis in the evaluation of natural enemies. *Annu. Rev. Entomol.*, 37: 581-614, 1992.
- Bernard, M.S., Horne, P.A. and Hoffmann, A.A.:** Developing an ecotoxicological testing standard for predatory mites in Australia: acute and sublethal effects of fungicides on *Euseius victoriensis* and *Galendromus occidentalis* (Acarina: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.*, 97: 801-809, 2004.
- Biddinger, D. and Hull, L.:** Sublethal effects of selected insecticides on growth and reproduction of a laborato-

- ry susceptible strain of tufted apple bud moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.*, 92: 314-324, 1999.
- Biddinger, D., Hull, L., Huang, H., McPheron, B. and Loyer, M.:** Sublethal effects of chronic exposure to tebufenozide on the development, survival and reproduction of the tufted apple bud moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.*, 99: 834-842, 2006.
- Binning, R.R. and Rice, M.E.:** Effects of transgenic Bt corn on growth and development of the stalk borer *Papaipema nebris* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 95: 622-627, 2002.
- Birch, L.C.:** The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.*, 17: 15-26, 1948.
- Bounfour, M. and Tanigoshi, L.K.:** Effect of temperature on development and demographic parameters of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 94: 400-404, 2001.
- Bowie, M.H., Worner, S.P., Krips, O.E. and Penman D.R.:** Sublethal effects of esfenvalerate residues on pyrethroid resistant *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae) and its prey *Panonychus ulmi* and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 25: 311-319, 2001.
- Boxall, A.B.A., Brown, C.D. and Barrett, K.L.:** Higher-tier laboratory methods for assessing the aquatic toxicity of pesticides. *Pest Manag. Sci.*, 58: 637-648, 2002.
- Boykin, L.S. and Campbell, W.V.:** Rate of population increase of the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on peanut leaves treated with pesticides. *J. Econ. Entomol.*, 75: 966-971, 1982.
- Busvine, J.R.:** A critical review of the techniques for testing insecticides. Commonwealth Agricultural Bureaux, London, UK, 1971.
- Butter, N.S., Singh, G. and Dhawan, A.K.:** Laboratory evaluation of the insect growth regulator lufenuron against *Helicoverpa armigera* on cotton. *Phytoparasitica*, 31: 200-203, 2003.
- Carey, J.R.:** Demography of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Oecologia*, 52: 389-395, 1982.
- Carey, J.R.:** Applied Demography for Biologists. Oxford University Press, UK, 1993.
- Carey, J.R. and Bradley, J.W.:** Developmental rates, vital schedules, sex ratios and life-tables for *Tetranychus urticae*, *T. turkestanii* and *T. pacificus* (Acarina: Tetranychidae) on cotton. *Acarologia*, 23: 334-345, 1982.
- Carey, J.R. and Krainacker, D.A.:** Demographic analysis of mite populations: extension of stable theory. *Exp. Appl. Acarol.*, 4: 191-210, 1988.
- Castagnoli, M., Caccia, R., Liguori, M., Simoni, S., Marinari, S. and Soressi, G.P.:** Tomato transgenic lines and *Tetranychus urticae*: changes in plant suitability and susceptibility. *Exp. Appl. Acarol.*, 31: 177-189, 2003.
- Chelliab, S., Fabellar, L.T. and Heinrichs, E.A.:** Effect of sublethal doses of three insecticides on the reproductive rate of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* on rice. *Environ. Entomol.*, 9: 778-780, 1980.
- Cheon, G.S., Paik, C.H., Lee, G.H. and Kim, S.S.:** Toxicity of spirodiclofen to the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae), and its prey, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *J. Entomol. Sci.*, 42: 44-51, 2007.
- Cohen, E.:** Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 85: 21-27, 2006.
- Consoli, F.L., Parra, J.R.P. and Hassan, S.A.:** Side effects of insecticides used in tomato fields on the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym., Trichogrammatidae), a natural enemy of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep., Gelechiidae). *J. Appl. Entomol.*, 122: 43-47, 1998.
- Copping, L.G. and Menn, J.J.:** Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. *Pest Manag. Sci.*, 56: 651-676, 2000.
- Copping, L.G. and Duke, S.O.:** Natural products that have been used commercially as crop protection agents. *Pest Manag. Sci.*, 63: 524-554, 2007.
- Cornell, H.V., Hawkins, B.A. and Hochberg, M.E.:** Towards an empirically-based theory of herbivore demography. *Ecol. Entomol.*, 23: 340-349, 1998.
- Cortet, J., Gomot-de Vaufleury, A., Poinso-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C. and Cluzeau, D.:** The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *Eur. J. Soil Biol.*, 35: 115-134, 1999.
- Costa, C.J., Garcia, M.F., Ferragut, F., Laborda, R., Roca, D. and Marzal, C.:** Residual influence of the insecticides butocarboxim, cypermethrin and azinphos-methyl on the biotic potential of *Panonychus citri* (McGr.) (Acari: Tetranychidae). *Boletín de Sanidad Vegetale, Plagas* 14, 127-140, 1988.
- Costa, S.D., Barbercheck, M.E. and Kennedy, G.G.:** Sublethal acute and chronic exposure of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to  $\delta$ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol.*, 93: 680-689, 2000.
- Crommentuijn, T., Doodeman, C.J.A.M., Doornekamp, A. and van Gestel, C.A.M.:** Life table study with the springtail *Folsomia candida* (Willem) exposed to cadmium, chlorpyrifos and triphenyltin hydroxide. In: *Ecological Risk Assessment of Contaminants to Soil* (N.M. van Straalen and H. Lokke, eds.), Chapman and Hall, London, 1997, pp. 275-291.
- Dallaire, R., Labrecque, A., Marcotte, M., Bauce, E. and Delisle, J.:** The sublethal effects of tebufenozide on the pre-copulatory and copulatory activities of *Choristoneura fumif*

- erana* and *C. rosaceana*. Entomol. Exp. Appl., 112: 169-181, 2004.
- Davis, J.A., Radcliffe, E.B. and Ragsdale, D.W.:** Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). Environ. Entomol., 35: 1461-1468, 2006.
- Decourtye, A., Devillers, J., Genecque, E., Le Menach, K., Budzinski, H., Cluzeau, S. and Pham-Delegue, M.H.:** Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning performances of the honeybee *Apis mellifera*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 48: 242-250, 2005.
- Dent, D.R.:** Quantifying insect populations: estimates and parameters. In: Methods in ecological and agricultural entomology (D.R. Dent and M.P. Walton, eds.), CAB International, Oxford, UK, 1997, pp. 57-98.
- Desneux, N., Decourtye, A. and Delpuech, J.M.:** The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. Annu. Rev. Entomol., 52: 81-106, 2007.
- Devine, G.J., Harling, Z.K., Scarr, A.W. and Devonshire, A.L.:** Lethal and sublethal effects of imidacloprid on nicotine-tolerant *Myzus nicotianae* and *Myzus persicae*. Pestic. Sci., 48: 57-62, 1998.
- Dittrich, V., Streibert, P. and Bathe, P.A.:** An old case reopened: mite stimulation by insecticide residues. Environ. Entomol., 3: 534-540, 1974.
- Dutton, A., Klein, H., Romeis J. and Bigler, F.:** Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. Ecol. Entomol., 27: 441-447, 2002.
- Eizaguirre, M., Tort, S., Lopez, C. and Albajes, B.:** Effects of sublethal concentrations of *Bacillus thuringiensis* on larval development of *Sesamia nonagrioides*. J. Econ. Entomol., 98: 464-470, 2005.
- Elliot, N.C., Kieckhefer, R.W. and Walgenbach, D.D.:** Effects of constant and fluctuating temperature on developmental time and demographic statistics for the corn leaf aphid (Homoptera: Aphididae). J. Econ. Entomol., 81: 1365-1389, 1988.
- Elzen, G.W.:** Lethal and sublethal effects of insecticide residues on *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthracoridae) and *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae). J. Econ. Entomol., 94: 55-59, 2001.
- Enkegaard, A., Sardar, M.A. and Brodsgaard, H.F.:** The predatory mite *Hypoaspis miles*: biological and demographic characteristics on two prey species, the mushroom sciarid fly *Lycoriella solani* and the mould mite *Tyrophagus putrescentiae*. Entomol. Exp. Appl., 82: 135-146, 1997.
- Evans, D.E.:** The influence of temperature and grain moisture content on the intrinsic rate of increase of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). J. Stored Prod. Res., 18: 55-66, 1982.
- Fábián, M. and Petersen, H.:** Short-term effects of the insecticide dimethoate on activity and spatial distribution of a soil inhabiting collembolan *Folsomia fimetaria* Linné (Collembola: Isotomidae). Pedobiologia, 38: 289-302, 1994.
- Farlow, R.A. and Pitre, H.N.:** Bioactivity of the post-emergence herbicides acifluorfen and bentazon on *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae). J. Econ. Entomol., 76: 200-203, 1983.
- Fernández-Casalderrey, A., Ferrando, M.D. and Andreu-Moliner, E.:** Effects of endosulfan on survival, growth and reproduction of *Daphnia magna*. Comp. Biochem. Physiol. C, 106: 437-441, 1993.
- Fernández-Casalderrey, A., Ferrando, M.D. and Andreu-Moliner, E.:** Effects of sublethal concentrations of pesticides on the feeding behavior of *Daphnia magna*. Ecotoxicol. Environ. Saf., 27: 82-89, 1994.
- Ferrando, M.D., Sancho, E. and Andreu, E.:** Chronic toxicity of fenitrothion to an algae (*Nannochloris oculata*), a rotifer (*Brachionus calyciflorus*) and the cladoceran (*Daphnia magna*). Ecotoxicol. Environ. Safety, 35: 112-120, 1996.
- Finney, D.J.:** Probit Analysis, 2nd edition. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1971.
- Fitzmayer, K.M., Gieger, J.G. and van den Avyle, M.J.:** Effect of chronic exposure to simazine on the cladoceran *Daphnia pulex*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 11: 603-609, 1982.
- Forbes, V.E.:** Is hormesis an evolutionary expectation? Funct. Ecol., 14: 12-24, 2000.
- Forbes, V.E. and Calow, P.:** Is the per capita rate of increase a good measure of population-level effects in ecotoxicology? Environ. Toxicol. Chem., 18: 1544-1556, 1999.
- Forbes, V.E., Sibly, R.M. and Calow, P.:** Toxicant impact on density-limited populations: a critical review of theory, practice and results. Ecol. Appl., 11: 1249-1257, 2001.
- Frampton, G.K., Jänsch, S., Scott-Fordsman, J.J., Römbke, J. and Van den Brink, P.J.:** Effects of pesticides on soil invertebrates in laboratory studies: a review and analysis using species sensitivity distributions. Environ. Toxicol. Chem., 25: 2480-2489, 2006.
- Fujiwara, Y., Takahashi, T., Yoshioka, T. and Nakasuji, F.:** Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs. Appl. Entomol. Zool., 37: 103-109, 2002.
- Galvan, T.L., Koch, R.L. and Hutchinson, W.D.:** Effects of spinosad and indoxacarb on survival, development and reproduction of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). Biol. Control., 34: 108-114, 2005.

- George, P.J.E. and Ambrose, D.P.:** Insecticidal impact on the post-embryonic development of *Rhynocoris kumarii* Ambrose and Livingstone (Het., Reduviidae). J. Appl. Entomol., 123: 509-512, 1999.
- Gerson, U. and Aronowitz, A.:** Feeding of the carmine spider mite on seven host plant species. Entomol. Exp. Appl., 28: 109-115, 1980.
- Gerson, U. and Cohen, E.:** Resurgence of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids. Exp. Appl. Acarol., 6: 29-46, 1989.
- Gotob, T., Yamaguchi, K. and Mori, K.:** Effect of temperature on life history of the predatory mite *Amblyseius (Neoseiulus) californicus* (Acari: Phytoseiidae). Exp. Appl. Acarol., 32: 15-30, 2004.
- Grant, A.:** Population consequences of chronic toxicity: incorporating density dependence into the analysis of life table response experiments. Ecol. Model., 105: 325-335, 1998.
- Hansen, D.L., Brodsgaard, H.F. and Enkegaard, A.:** Life table characteristics of *Macrolophus caliginosus* preying upon *Tetranychus urticae*. Entomol. Exp. Appl., 93: 269-275, 1999.
- Harcourt, D.G.:** The development and the of life tables in the study of natural insect populations. Annu. Rev. Entomol., 14: 175-196, 1969.
- Hardin, M.R., Benrey, B., Coll, M., Lamp, W.G., Roderick, G.K. and Barbosa, P.:** Arthropod pest resurgence: an overview of potential mechanisms. Crop Prot., 14: 3-18, 1995.
- Hassan, S.A.:** Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: descriptions of test methods. IOBC/WPRS Bulletin, 15: 18-39, 1992.
- Hazan, A., Gerson, U. and Tabori, A.S.:** Life history and life tables of the carmine spider mite. Acarologia, 15: 414-440, 1973.
- Haynes, K.F.:** Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. Annu. Rev. Entomol., 33: 149-168, 1988.
- Herbert, I.N., Svendsen, C., Hankant, P.K. and Spurgeon, D.J.:** Comparison of instantaneous rate of population increase and critical-effect estimates in *Folsomia candida* exposed to four toxicants. Ecotoxicol. Environ. Saf., 57: 175-183, 2004.
- Herron, G. and Rophail, J.:** Effect of clofentezine-hexythiazox resistance on life-table attributes of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Exp. Appl. Acarol., 17: 823-830, 1993.
- Heupel, K.:** Avoidance response of different collembolan species to Betanal. Eur. J. Soil. Biol., 38: 273-276, 2002.
- Hoelscher, J.A. and Barrett, B.A.:** Effects of methoxyfenozide-treated surfaces on the attractiveness and responsiveness of adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol., 96: 623-628, 2003.
- Holland, J.M. and Chapman, R.B.:** A comparison of the toxic and sub-lethal effects of fluvalinate and esfenvalerate on the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). Exp. Appl. Acarol., 18: 3-22, 1994.
- Hoy, C.W., Head, G.P. and Hall, F.R.:** Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. Annu. Rev. Entomol., 43: 571-594, 1998.
- Ibrahim, Y.B. and Knowles, C.O.:** Effects of formamidines on the population growth of *Tetranychus urticae* Koch. Crop Prot., 5: 411-416, 1986.
- Ibrahim, Y.B. and Yee, T.S.:** Influence of sublethal exposure to abamectin on the biological performance of *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae). J. Econ. Entomol., 93: 1085-1089, 2000.
- Iftner, D.C. and Hall, F.R.:** The effects of fenvalerate and permethrin residues on *Tetranychus urticae* Koch fecundity and rate of development. J. Agric. Entomol., 1: 191-200, 1984.
- Isman, M.B.:** Insect antifeedants. Pestic. Outlook, 13: 152-157, 2002.
- Isman, M.B.:** Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annu. Rev. Entomol., 51: 45-66, 2006.
- James, D.G.:** Imidacloprid increases egg production in *Amblyseius victoriensis* (Acari: Phytoseiidae). Exp. Appl. Acarol., 21: 75-82, 1997.
- James, D.G. and Price, T.S.:** Fecundity in twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. J. Econ. Entomol., 95: 729-732, 2002.
- Jansson, R.K. and Smilowitz, Z.:** Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: abundance, population growth and within plant distribution of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Environ. Entomol., 15: 49-55, 1986.
- Jones, V.P. and Parella, M.P.:** The sublethal effects of selected insecticides on life table parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). Can. Entomol., 116: 1033-1040, 1984.
- Kaethner, M.:** Fitness reduction and mortality effects of neem-based pesticides on the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say (Col., Chrysomelidae). Z. Angew. Entomol., 113: 456-465, 1992.
- Kasap, I.:** Effect of apple cultivar and of temperature on the biology and life table parameters of the twospotted spider mite *Tetranychus urticae*. Phytoparasitica, 32: 73-82, 2004.
- Kashian, D.R. and Dodson, S.I.:** Effects of common-use pesticides on developmental and reproductive processes in *Daphnia*. Toxicol. Industr. Health, 18: 225-235, 2002.

- Kerns, D.L. and Gaylor, M.J.:** Induction of cotton aphids outbreaks by insecticides in cotton. *Crop Prot.*, 12: 387-392, 1993.
- Kerns, D.L. and Stewart, S.D.:** Sublethal effects of insecticides on the intrinsic rate of increase of cotton aphid. *Entomol. Exp. Appl.*, 94: 41-49, 2000.
- Kim, S.S. and Yoo, S.S.:** Comparative toxicity of some acaricides to the predatory mite, *Phytoseiulus persimilis* and the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *BioControl*, 47: 563-573, 2002.
- Kjaer, C., Elmegaard, N., Axelsen, J.A., Andersen, P.N. and Seidelin, N.:** The impact of phenology, exposure and instar susceptibility on insecticide effects on a chrysomelid beetle population. *Pestic. Sci.*, 52: 361-371, 1998.
- Knapp, F.W. and Cilek, J.E.:** Mortality of eggs and larvae obtained from house flies (Diptera: Muscidae) exposed to triflumuron residues. *J. Econ. Entomol.*, 81: 1662-1664, 1988.
- Knight, A.L.:** Tebufenozide targeted against codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) adults, eggs and larvae. *J. Econ. Entomol.*, 93: 1760-1767, 2000.
- Krips, O.E., Wind, A., Willems, P.E.L. and Dicke, M.:** Intrinsic rate of population increase of the spider mite *Tetranychus urticae* on the ornamental crop gerbera: intraspecific variation in host plant and herbivore. *Entomol. Exp. Appl.*, 89: 159-168, 1998.
- Laing, J.E.:** Life history and life table of *Tetranychus urticae* Koch. *Acarologia*, 11: 32-42, 1969.
- Le Roux, V., Saguez, J., Vincent, C. and Giordanengo, P.:** Rapid method to screen resistance of potato plants against *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) in the laboratory. *J. Econ. Entomol.*, 97: 2079-2082, 2004.
- Li, D., Tian, J. and Shen, Z.:** Assessment of sublethal effects of clofentezine on life-table parameters in hawthorn spider mite (*Tetranychus viennensis*). *Exp. Appl. Acarol.*, 38: 255-273, 2006.
- Liu, T.X. and Chen, T.Y.:** Effects of insect growth regulator fenoxycarb on immature *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae). *Fla. Entomol.*, 84: 628-633, 2001.
- Logan, J.A., Wollkind, J.J., Hoyt, S.C. and Tanigoshi, L.K.:** An analytical model for description of temperature-dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.*, 5: 1130-1140, 1976.
- Longstaff, B.C. and Desmarchelier, J.M.:** Effects of the temperature toxicity relationships of certain pesticides upon the population growth of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 19: 25-30, 1983.
- Lowery, D.T. and Sears, M.K.:** Effect of exposure to insecticide azinphosmethyl on reproduction of green peach aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 79: 1534-1538, 1986.
- Luckey, T.D.:** Insecticide hormoligosis. *J. Econ. Entomol.*, 61: 7-12, 1968.
- Maggi, L.V. and Leigh, T.F.:** Fecundity response of the twospotted spider mite to cotton treated with methyl parathion or phosphoric acid. *J. Econ. Entomol.*, 76: 20-25, 1983.
- Maia, A. de H.N., Luiz, A.J.B. and Campaniolo, C.:** Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. *J. Econ. Entomol.*, 93: 511-518, 2000.
- Marčić, D.:** Delovanje flufenzina na populacioni rast *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Pesticidi*, 17: 5-22, 2002a.
- Marčić, D.:** Subletalno delovanje klofentezina i flufenzina na preovipozicione ženke *Tetranychus urticae* Koch. *Pesticidi*, 17: 101-110, 2002b.
- Marčić, D.:** Letalni i subletalni efekti akaricida na *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet*, 2003a, str. 1-112.
- Marčić, D.:** Effects of clofentezine on life table parameters of the twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Exp. Appl. Acarol.*, 30: 249-263, 2003b.
- Marčić, D.:** Efekat akaricida na uzrasnu strukturu *Tetranychus urticae* Koch. *Pestic. fitomed.*, 19: 193-200, 2004.
- Marčić, D.:** Sublethal effects of tebufenpyrad on the eggs and immatures of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Exp. Appl. Acarol.*, 36: 177-185, 2005.
- Marčić, D.:** Sublethal effects of spirodiclofen on life history and life table parameters of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Exp. Appl. Acarol.*, 42: 121-129, 2007.
- Marčić, D. and Ogurlić, I.:** Lethal and sublethal effects of spirodiclofen on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Pestic. fitomed.*, 21: 137-143, 2006a.
- Marčić, D. and Ogurlić, I.:** Sublethal effects of spirodiclofen on *Tetranychus urticae* Koch pre-ovipositional females after different exposure times. *Pestic. fitomed.*, 21: 223-229, 2006b.
- Marčić, D. and Ogurlić, I.:** The effects of spirodiclofen on reproduction of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Pestic. i fitomed.*, 22: 105-111, 2007.
- Marčić, D. and Sekulić, D.:** Effects of acaricide resistance on life history parameters of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Pesticidi*, 13: 13-21, 1998.
- Martinez-Villar, E., Sáenz-de-Cabezón, F.J., Moreno-Grijalba, F., Marco, V. and Pérez-Moreno, I.:** Effects of azadirachtin on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 35: 215-222, 2005.



- Meyer, J.S., Ingersoll, C.G., McDonald, L.L. and Boyce, M.S.:** Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology*, 67: 1156-1166, 1986.
- Michels, G.J. and Beble, R.W.:** Influence of temperature on reproduction, development, and intrinsic rate of increase of Russian wheat aphid, greenbug and bird-cherry-oat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.*, 82: 439-444, 1989.
- Mordue-Luntz, A.J., Simmonds, M.S.J., Ley, S.V., Blaney, W.M., Mordue, W., Nasiruddin, M. and Nisbet, A.J.:** Action of azadirachtin, a plant allelochemical, against insects. *Pestic. Sci.*, 54: 277-284, 1998.
- Morse, J.G. and Zareh, N.:** Pesticide-induced hormoligosis of citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) fecundity. *J. Econ. Entomol.*, 84: 1169-1174, 1991.
- Nachman, G. and Zemek, R.:** Interaction in a tritrophic acarine predator-prey metapopulation system III: Effects of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on host plant condition. *Exp. Appl. Acarol.*, 25: 27-42, 2002.
- Nault, B.A., Costa, S.D. and Kennedy, G.G.:** Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) deeding, development and survival to adulthood after continuous exposure to *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis*-treated potato foliage from the field. *J. Econ. Entomol.*, 93: 149-156, 2000.
- Obrist, L.B., Dutton, A., Romeis, J. and Bigler, F.:** Biological activity of Cry1Ab toxin expressed by Bt maize following ingestion by herbivorous arthropods and exposure of the predator *Chrysoperla carnea*. *BioControl*, 51: 31-48, 2006.
- O'Neal, M.E., Landis, D.A. and Isaacs, R.:** An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. *J. Econ. Entomol.*, 95: 1190-1194, 2002.
- Overmeer, W.P.J. and Van Zon, A.Q.:** A standardized method for testing the side effects of pesticides on the predacious mite *Amblyseius potentillae* Garman (Acarina: Phytoseiidae). *Entomophaga*, 27: 357-364, 1982.
- Penman, D.R. and Chapman, R.B.:** Pesticide-induced mite outbreaks: pyrethroids and spider mites. *Exp. Appl. Acarol.*, 4: 265-276, 1988.
- Pieters, B.J. and Liess, M.:** Maternal nutritional state determines the sensitivity of *Daphnia magna* offspring to short-term fenvalerate exposure. *Aquat. Toxicol.*, 76: 268-277, 2006.
- Porter, K.G., Gerritsen, J. and Orcutt Jr. J.D.:** Functional response and fitness in a generalist filter feeder *Daphnia magna* (Cladocera: Crustacea). *Ecology*, 64: 735-742, 1983.
- Reinke, M.:** The sublethal effects of ecdyzone agonists on the attractiveness, responsiveness, fertility and fecundity of oriental fruit moth, and a comparative examination with codling moth on larval feeding damage. MSc Thesis, University of Missouri, 2006.
- Rezaei, M., Talebi, K., Naveh, V.H. and Kavousi, A.:** Impact of the pesticides imidacloprid, propargite and pymetrozine on *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae): IOBC and life-table assays. *BioControl*, 52: 385-398, 2007.
- Ribeiro, A.P.O., Pereira, E.J.G., Galvan, T.L., Picanço, M.C., Picoli, E.A.T., da Silva, D.J.H., Fári, M.G. and Otoni, W.C.:** Effect of eggplant transformed with oryzacystatin gene on *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*. *J. Appl. Entomol.*, 130: 84-90, 2006.
- Robertson, J.L., Russell, R.M., Preisler, H.K. and Savin, N.E.:** Pesticide bioassays with arthropods (2<sup>nd</sup> edition). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2007.
- Robertson, J.L. and Worner, S.P.:** Population toxicology: suggestion for laboratory bioassays to predict pesticide efficacy. *J. Econ. Entomol.*, 83: 8-12, 1990.
- Rosenheim, J. and Hoy, M.:** Sublethal effects of pesticides on the parasitoid *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *J. Econ. Entomol.*, 81: 476-483, 1988.
- Roush, R.T. and Daly, J.A.:** The role of population genetics in resistance research and management. In: *Pesticide Resistance in Arthropods* (R.T. Roush and B.E. Tabashnik, eds.), Chapman and Hall, New York, 1990, pp. 97-152.
- Roush, R.T. and McKenzie, J.A.:** Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annu. Rev. Entomol.*, 32: 361-380, 1987.
- Rovenská, G.Z., Zemek, R., Schmidt, J.E.U. and Hilbeck, A.:** Altered host plant preference of *Tetranychus urticae* and prey preference of its predator *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) on transgenic Cry3Bb-eggplants. *Biol. Control*, 33: 293-300, 2005.
- Roy, M., Brodeur, J. and Cloutier, C.:** Effect of temperature on intrinsic rates of natural increase ( $r_m$ ) of a coccinellid and its spider mite prey. *BioControl*, 48: 57-72, 2003.
- Royalty, R.N., Hall, F.R. and Taylor, R.A.J.:** Effects of thuringiensin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) mortality, fecundity and feeding. *J. Econ. Entomol.*, 83: 7792-798, 1990.
- Russo, A., Cocuzza, G.E. and Vasta, M.C.:** Life tables of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) feeding on *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 40: 103-112, 2004.
- Sabelis, M.W.:** Reproductive strategies. In: *Spider mites, their biology, natural enemies and control* (W. Helle and M.W. Sabelis, eds.), Vol. 1A, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1985, pp. 265-278.

- Saber, M., Hejazi, M.J. and Hassan, S.A.:** Effects of azadirachtin/neemazal on different stages and adult life table parameters of *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *J. Econ. Entomol.*, 97: 905-910, 2004.
- Sáenz-de-Cabezón, F.J., Pérez-Moreno, I. and Marco, V.:** Effects of triflumiron on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 26: 71-78, 2002.
- Saini, R.S. and Cutkomp, L.K.:** The effects of DDT and sublethal doses of dicofol on reproduction of the two-spotted spider mite. *J. Econ. Entomol.*, 59: 249-253, 1966.
- Sánchez, M., Ferrando, M.D., Sancho, E. and Andreu, E.:** Assessment of the toxicity of a pesticide with a two-generation reproduction test using *Daphnia magna*. *Comp. Biochem. Physiol. C*, 124: 247-252, 1999.
- Sánchez-Ramos, I. and Castañera, P.:** Effect of temperature on reproductive parameters and longevity of *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). *Exp. Appl. Acarol.*, 36: 93-105, 2005.
- Schmutterer, H.:** Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annu. Rev. Entomol.*, 35: 271-297, 1990.
- Schneider, M.I., Smagghe, G., Pineda, S. and Viñuela, E.:** Action of insect growth regulator insecticides and spinosad on life history parameters and absorption in third-instar larvae of the endoparasitoid *Hyposoter didymator*. *Biol. Control*, 31: 189-198, 2004.
- Sekulić, D.R.:** Promena parametara populacionog rasta *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) pod uticajem heksitiazoksa. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, 1997.
- Shimizu, N., Ogino, C., Kawanishi, T. and Hayashi, Y.:** Fractal analysis of *Daphnia magna* motion for acute toxicity bioassay. *Environ. Entomol.*, 17: 441-448, 2002.
- Sibly, R.M.:** Efficient experimental designs for studying stress and population density in animal populations. *Ecol. Appl.*, 9: 496-503, 1999.
- Snell, T.W.:** Fecundity, developmental time and population growth rate. *Oecologia*, 32: 119-125, 1978.
- Sokal, R.R. and Rohlf, J.F.:** Biometry, 2<sup>nd</sup> edition. Freeman, San Francisco, USA, 1981.
- Sota, N., Motoyama, N., Fujisaki, K. and Nakasuji, F.:** Possible amplification of insecticide hormoligosis from resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 33: 435-440, 1988.
- Stark, J.D. and Banks, J.E.:** Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 48: 505-519, 2003.
- Stark, J.D., Banks, J.E. and Acheampong, S.:** Estimating susceptibility of biological control agents to pesticides: influence of life history strategies and population structure. *Biol. Contr.*, 29: 392-398, 2004.
- Stark, J.D., Sugayama, R.L. and Kovaleski, A.:** Why demographic and modeling approaches should be adopted for estimating the effects of pesticides on biocontrol agents? *BioControl*, 52: 365-374, 2007a.
- Stark, J.D. and Vargas, R.:** Demographic changes in *Daphnia pulex* (Leydig) after exposure to the insecticides spinosad and diazinon. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 56: 334-338, 2003.
- Stark, J.D. and Vargas, R.I.:** Toxicity and hazard assessment of fipronil to *Daphnia pulex*. *Ecotox. Environ. Saf.*, 62: 11-16, 2005.
- Stark, J.D., Vargas, R. and Banks, J.E.:** Incorporating ecologically relevant measures of pesticide effect for estimating the compatibility of pesticides and biocontrol agents. *J. Econ. Entomol.*, 100: 1027-1032, 2007b.
- Stark, J.D., Vargas, R.I. and Thalman, R.K.:** Azadirachtin: effects on metamorphosis, longevity and reproduction of three tephritid fruit fly species (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.*, 83: 2168-2174, 1990.
- Storer, N.P., van Duyn, J.W. and Kennedy, G.G.:** Life history traits of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) on non-BT and Bt transgenic corn hybrids in eastern North Carolina. *J. Econ. Entomol.*, 94: 1268-1279, 2001.
- Sub, C.P.C., Orr, D.B. and van Duyn, J.W.:** Effects of insecticides on *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) preimaginal development and adult survival. *J. Econ. Entomol.*, 93: 577-583, 2000.
- Tedesbi, R., Alma, A. and Tavella, L.:** Side-effects of three neem (*Azadirachta indica* A. Juss) products on the predator *Macrolophus caliginosus* Wagner (Heteroptera: Miridae). *J. Appl. Entomol.*, 125: 397-402, 2001.
- Thompson, H.M.:** Behavioural effects of pesticides in bees: their potential for use in risk assessment. *Ecotoxicology*, 12: 317-330, 2003.
- Van Leeuwen, C.J., Neibeek, G. and Rijkeboer, M.:** Effects of chemical stress on the population dynamics of *Daphnia magna*: a comparison of two test procedures. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 14: 1-11, 1987.
- Villanueva, R.T. and Walgenbach, J.F.:** Development, oviposition and mortality of *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in response to reduced-risk insecticides. *J. Econ. Entomol.*, 98: 2114-2120, 2005.
- Villarvoel, M.J., Ferrando, M.D., Sancho, E. and Andreu, E.:** *Daphnia magna* feeding behavior after exposure to tetradifon and recovery from intoxication. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 44: 40-46, 1999a.

- Villarroel, M.J., Sancho, E., Ferrando, M.D. and Andreu-Moliner, E.:** Effect of an acaricide on the reproduction and survival of *Daphnia magna*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 63: 167-173, 1999b.
- Walthall, W.K. and Stark, J.D.:** A comparison of acute mortality and population growth rate as endpoints of toxicological effect. Ecotoxicol. Environ. Saf., 37: 45-52, 1997a.
- Walthall, W.K. and Stark, J.D.:** Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic ( $r_m$ ) and instantaneous ( $r_i$ ) rates of increase. Environ. Toxicol. Chem., 16: 1068-1073, 1997b.
- Wennergren, U. and Stark, J.:** Modeling long-term effects of pesticides on populations: beyond just counting dead animals. Ecol. Appl., 10: 295-302, 2000.
- Wermelinger, B., Baumgärtner, J., Zabner, P. and Delucchi, V.:** Environmental factors affecting the life tables of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina). I. Temperature. Mitt. Schweiz. Entomol. Ges., 63: 55-62, 1990a.
- Wermelinger, B., Schnider, F., Oertli, J.J. and Baumgärtner, J.:** Environmental factors affecting the life tables of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina). II. Host plant water stress. Mitt. Schweiz. Entomol. Ges., 63: 347-357, 1990b.
- Wermelinger, B., Oertli, J.J. and Baumgärtner, J.:** Environmental factors affecting the life tables of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). III. Host-plant nutrition. Exp. Appl. Acarol., 12: 259-274, 1991.
- William, R.A. and Baird, D.J.:** Postexposure feeding depression: a new toxicity endpoint for use in laboratory studies with *Daphnia magna*. Environ. Toxicol. Chem., 21: 1198-1205, 2002.
- Yamamoto, A., Yoneda, H., Hatano, R. and Asada, M.:** Influence of hexythiazox resistance on life history parameters in the citrus red mite, *Panonychus citri*. (McGregor). J. Pestic. Sci., 20: 521-527, 1995.
- Yates, J.R. and Sherman, M.:** Latent and differential toxicity of insecticides to larvae and adults of six fly species. J. Econ. Entomol., 63: 20-23, 1970.
- Yokoyama, V.Y. and Pritchard, J.:** Effect of pesticides on mortality, fecundity and egg viability of *Geocoris pallens* (Hemiptera: Lygaeidae). J. Econ. Entomol., 77: 876-879, 1984.
- Zamani, A.A., Talebi, A.A., Fatbiapour, Y. and Baniameri, V.:** Effect of temperature on biology and population growth parameters of *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae) on greenhouse cucumber. J. Appl. Entomol., 130: 453-460, 2006.
- Zanuncio, T.V., Serrao, J.E., Zanuncio, J.C. and Guedes, R.N.C.:** Permethrin-induced hormesis on the predator *Supputius cincticeps* (Stal, 1860) (Heteroptera: Pentatomidae). Crop Prot., 22: 941-947, 2003.
- Zanuncio, T.V., Zanuncio, J.C., Serrao, J.E., Medeiros, R.S., Pinon, T.B.M. and Sediyama, A.Z.:** Fertility and life expectancy of the predator *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae) exposed to sublethal doses of permethrin. Biol. Res., 38: 31-39, 2005.
- Zyzak, M.D., Byford, R.L., Craig, M.E. and Lockwood, J.A.:** Behavioral responses of the horn fly (Diptera: Muscidae) to selected insecticides in contact and noncontact environments. Environ. Entomol., 25: 120-129, 1996.

## Pesticides and Arthropods: Sublethal Effects and Demographic Toxicology

### SUMMARY

Insecticides and acaricides designed to control primary harmful insects and mites may also variously affect some other arthropods present in an (agro)ecosystem (e.g. secondary pests, predators, parasitoids, saprophytes, bioindicators, pollinators). Apart from insecticides and acaricides, arthropods may also be affected by the activity of other pesticides (fungicides, herbicides, etc.). Regardless of whether they are deemed desirable or not, the effects that pesticides have on arthropods need to be quantified as closely as possible through appropriate experimental procedures. Data acquired in tests designed to determine LD<sub>50</sub>/LC<sub>50</sub> values are inadequate for evaluation of pesticide effectiveness in the field as pesticides also cause various sublethal effects, generally disregarded in such investigations. The sublethal effects of pesticides refer to any altered behaviour and/or physiology of indi-

viduals that have survived exposure to pesticides at doses/concentrations that can be lethal (within range causing mortality in an experimental population that exceeds mortality in an untreated population) or sublethal (below that range). Pesticides affect locomotion and mobility, stimulate dispersion of arthropods from treated areas, complicate or prevent their navigation, orientation and ability to locate hosts, and cause changes in their feeding, mating and egg-laying patterns. Sublethal pesticide effects on arthropod physiology reflect on the life span, rate of development, fecundity and/or fertility, sex ratio and immunity of surviving individuals. Different parameters are being used in arthropod bioassays to determine sublethal effects ( $ED_{50}/EC_{50}$ , LOEC, NOEC, total effect index). Compared to acute toxicity tests, these parameters improve the quality of evaluation and create a more accurate view of the effects of a pesticide. However, such approach covers mainly fecundity/fertility alone, while all other sublethal effects remain unaccounted for. Besides, it refers to an evaluation of individuals, rather than populations, and it is the latter that are required for a more reliable evaluation of effectiveness of pesticides in real life. A demographic-toxicological approach has been proposed therefore as a way of integrating the effects that a toxicant may cause at population level, which includes the construction of life tables and computation of population growth parameters, including intrinsic rate of increase ( $r_m$ ) as a crucial parameter. Compared to other laboratory toxicity tests, the demographic-toxicological bioassay has been found superior in terms of a capacity to evaluate overall effects of pesticides, and such approach in evaluating pesticide effects is crucial for environmentally-based programmes of integrated plant protection and a competent evaluation of ecotoxicological risks of pesticide applications.

**Keywords:** Pesticides; Arthropods; Sublethal effects; Life tables; Demographic toxicology