

Pengaruh Dosis/Konsentrasi Subletal Terhadap Berbagai Perilaku Serangga

Victor George Siahaya

Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura,
Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka, Ambon 97233, Indonesia
vg.siahaya@faperta.unpatti.ac.id

ABSTRAK

Sebagian besar studi dampak insektisida selalu menggunakan toksisitas akut dengan indikator kematian, padahal efek letal tidak dapat mendeterminasi secara keseluruhan pengaruh insektisida pada serangga. Secara keseluruhan, pengaruh dosis/konsentrasi subletal insektisida dapat menyebabkan efek biologis, mengganggu jumlah telur, masa peneluran, berat larva dan pupa, masa perkembangan, lama hidup dan tingkat fertilitas, disamping pengaruh terhadap perilaku makan, sistem lokomotor dan mengurangi atau meningkatkan produksi serta respons terhadap feromon, efek fisiologis pada sistem reproduksi dan sistem kekebalan serta status nutrisi serangga. Hal ini menunjukkan bahwa efek subletal sangat penting menjadi landasan untuk analisis resiko insektisida. Disamping itu, efek subletal juga mempengaruhi keberadaan musuh alami dan serangga berguna lainnya, sehingga diharapkan lebih banyak lagi studi tentang dampaknya terhadap serangga bukan sasaran.

Kata kunci: pengaruh biologis, musuh alami, feromon, pengaruh subletal

Effect of Sublethal Dose/Concentration on Various Insect Behaviors

ABSTRACT

Most of the studies on the impact of insecticides have always used acute toxicity with an indicator of death, whereas the lethal effect cannot fully determine the effect of the insecticide on insects. Overall, the effect of sublethal dose/concentration of insecticides can cause biological effects, disrupt egg number, laying period, larva and pupal weight, development period, life span and fertility rate, in addition to influencing feeding behavior, spawning period, locomotor system and reducing or increasing production and response to pheromones, physiological effects on the reproductive and immune systems and the nutritional status of insects. This suggests that the sublethal effect is very important to form the basis for analysis of insecticide risk. In addition, the sublethal effect also affects the presence of natural enemies and other useful insects, so it is hoped that more studies on their impact on non-target insects are expected.

Key word: biological effects, natural enemies, pheromones, sublethal effect

PENDAHULUAN

Meskipun cukup banyak cara pengendalian pada program pengelolaan hama terpadu, namun insektisida tetaplah menjadi metode yang paling dapat diandalkan untuk pengendalian serangga. Pengaruh insektisida dan racun lainnya pada hama serangga dan arthropoda lainnya telah menjadi subjek penelitian yang cukup banyak diteliti^[1]. Metode untuk menguji pengaruh samping

racun telah dikembangkan sebagai fungsi evaluasi pengendalian serangga. Sebelum itu metode laboratorium klasik untuk memperkirakan pengaruh samping insektisida pada hama serangga, musuh alami dan arthropoda adalah dengan menentukan median dosis mematikan (LD_{50}) atau konsentrasi mematikan (LC_{50})^[2]. Penilaian dosis/konsentrasi yang mematikan adalah cara terbaik untuk membandingkan toksisitas bahan aktif yang berbeda dan formulasi

insektisida yang berbeda yang mengandung bahan aktif yang sama. Perkiraan mematkan juga dapat menjadi informasi penting ketika mengevaluasi perkembangan populasi hama yang resisten terhadap insektisida.

Pada tanaman di lapangan, dosis/konsentrasi insektisida yang lebih rendah biasanya terjadi setelah aplikasi awal, karena terdegradasi oleh beberapa faktor abiotik, seperti curah hujan, suhu dan sinar matahari. Dengan cara ini, dalam kondisi lapangan, serangga dapat terkena dosis/konsentrasi insektisida yang subletal dan mungkin mengalami pengaruh subletal pula^[3]. Pengaruh subletal didefinisikan sebagai pengaruh biologis, fisiologis, demografis, atau perilaku pada individu atau populasi yang bertahan terhadap paparan toksikan pada dosis/konsentrasi letal atau subletal. Dosis/konsentrasi subletal didefinisikan sebagai penyebab tidak adanya kematian yang terlihat pada populasi percobaan^[2]. Secara umum, dosis/konsentrasi insektisida di bawah median lethal (LD_{50}/LC_{50}) dianggap sebagai subletal. Pengaruh subletal dapat diperlihatkan pada pengurangan masa hidup, tingkat perkembangan, pertumbuhan populasi, fertilitas, keperidian, perubahan rasio jenis kelamin, kelainan bentuk, perubahan perilaku, makan, pencarian dan oviposisi^[4, 5]. Dengan demikian, toksikan dapat memberikan efek rendah dan nyata yang harus dipertimbangkan saat memeriksa dampak keseluruhannya.

Pengaruh subletal telah dilaporkan terjadi pada beberapa ordo serangga terhadap aspek biologis, fisiologis, perilaku dan demografis yang berbeda, seperti pengaruh ekstrak air pada kelangsungan hidup *Trichilla* sp., dan juga perkembangan serta berat larva dan kepompong dari *Spodoptera frugiperda*^[6]. Pengaruh fisiologis dan perilaku diamati pada *Aphis mellifera* L. yang ketika terkena dosis subletal dari permethrin menunjukkan tingkat respon belajar yang lebih rendah daripada lebah yang tidak diberikan dosis tersebut, tetapi mendapatkan kembali kemampuan belajar normalnya dengan bertambahnya waktu akibat terjadinya

degradasi insektisida^[7]. Parameter demografis, seperti laju fekunditas, laju peningkatan intrinsik dan laju kelahiran intrinsik pada *Brevicoryne brassicae* dipengaruhi ketika diberikan konsentrasi subletal dari imidacloprid dan pymetrozine^[8]. Selain itu, musuh alami juga dipengaruhi oleh dosis/konsentrasi insektisida subletal, seperti *Catolaccus grandis* (Burks), ekto-parasitoid dari *Anthonomus grandis* Boheman, dimana tidak terjadi pengembangan pupa dari parasitisme selama periode pengobatan 24 jam pada saat terkena malathion atau spinosad^[9].

Diantara insektisida yang digunakan dalam studi pengaruh subletal, insektisida botani dan biologis, organoklorida, organofosfat, karbamat, diamida, hidrazin, pengatur tumbuh, neonicotinoid dan piretroid menunjukkan beberapa efek samping yang dapat dilihat pada Tabel 1.

PENGARUH DOSIS SUBLETAL PADA BIOLOGI SERANGGA

Pengaruh dosis/konsentrasi subletal insektisida pada biologi serangga dapat muncul dengan sendirinya melalui berkurangnya oviposisi, peningkatan periode perkembangan tahap dewasa atau penurunan waktu hidup. Namun demikian, pengaruh dosis subletal/konsentrasi beberapa insektisida neurotoksik pada fertilitas dan keperidian serangga diduga terkait dengan perubahan perilaku, terutama selama tahap reproduksi^[10]. Beberapa pengaruh biologis telah dilaporkan terjadi karena penggunaan dosis/konsentrasi subletal, misalnya pengaruh subletal dari insektisida lufenuron, methoxyfenozide, spinosad, endosulfan, novaluron dan tebufenozide pada *Anticarsia gemmatalis* Hübner, mengurangi berat kepompong, lama umur imago dan fertilitasnya^[11]. Insektisida hexaflumuron menurunkan jumlah telur, periode oviposisi, kepompong dan munculnya imago *Plutella xylostella* (Linnaeus)^[12]. Pengaruh subletal dari cyantraniliprole pada *Helicoverpa assulta*

Guenée menurunkan berat kepompong dan fekunditasnya dari generasi induk pada LC₃₀. Namun, cyantraniliprole tidak secara signifikan mempengaruhi periode kepompong, persentase imago betina dan lama umur imago pada generasi yang lain ^[13].

Tabel 1. Kelompok kimia, bahan aktif dan mekanisme kerja insektisida yang digunakan dalam studi pengaruh subletal

Kelompok kimia	Bahan aktif	Mekanisme kerja
Insektisida antibiotik (Spinosyn)	Spinosad	Reseptor asetilkolin nikotinic dan reseptor asam y-aminobutirat
Insektisida nabati	Azadirachtin	Penghambat ekdisis
	Minyak atsiri dan senyawa utama pada umumnya	Penghambat ekdisis, penghambat asetilkolinesterase, peniru octopamine
Karbamat	Methomyl	Penghambat asetilkolinesterase
Hidrazin		
Bisacylhydrazine	Bisacylhydrazine (RH 5849)	Agonis ekdisteroid
Diacylhydrazines	Metoksifenozyd	
	Tebufenozide	
Diamide	Cyantraniliprole	Reseptor ryanodine (mempengaruhi saluran kalsium pd retikulum sarkoplasma)
	Klorantraniliprol	
Pengatur tumbuh serangga		
Peniru hormon juvenile	Pyriproxyfen	Penghambat perkembangan ciri serangga dewasa
	Hexaflumuron	
Turunan urea	Lufenuron	Penghambat sintesis kitin
	Novaluron	
	Triflumuron	
Tiadiazin	Buprofezin	
	Acetamiprid	
Neonicotinoid	Clothianidin	Peniru asetilkolin
	Imidacloprid	
	Thiacloprid	
Organoklorida	Endosulfan	Mengganggu transmisi impuls saraf (fluks Na dan K)
Organofosfat	Klorpirifos	Penghambat asetilkolinesterase
Piretroid	Deltametrin	Saluran modulator natrium

Beberapa penelitian juga melaporkan pengaruh subletal minyak esensial dan senyawanya terhadap biologi serangga. Aktivitas insektisida minyak esensial didasarkan pada konsentrasi tinggi senyawa utama yang termasuk dalam kelas terpena, fenolat, dan alkaloid ^[14]. Minyak atsiri cabai panjang dan cengkeh menunjukkan aktivitas

zat ini pada beberapa parameter biologis dari *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), seperti periode kelangsungan hidup yang berkurang, perubahan dalam larva dan beratnya serta periode kepompong, penurunan lama umur, fertilitas dan keperidiannya ^[15]. Minyak esensial dari *Eucalyptus staigeriana* F. Muell, *Ocimum gratissimum* L. dan *Foeniculum*

vulgare Mill menunjukkan beberapa pengaruh subletal pada biologi *S. frugiperda*, yaitu berkurangnya berat larva dan kepompong pada dosis subletal LD₁₀, LD₂₀ dan LD₄₀ [16]. Minyak neem (10 g L⁻¹ azadirachtin A) memberikan pengaruh subletal yang berbeda terhadap *Bonagota salubricola* (Meyrick), seperti periode larva yang berkepanjangan, berkurangnya viabilitas kepompong dan fertilitasnya [17]. Pada serangga *Helicoverpa armigera* (Hübner), dilaporkan terjadi peningkatan periode kepompong ketika ngengat terkena minyak Mimba dengan cara menelannya [18].

Penilaian pengaruh subletal insektisida pada biologi serangga sangat penting bagi program pengelolaan hama terpadu, karena dosis/konsentrasi subletal tidak menyebabkan kematian serangga, tetapi hanya memberi gangguan pada sifat biologis yang pada akhirnya dapat juga mengurangi populasi serangga generasi berikutnya pada tanaman.

PERILAKU SERANGGA SEBAGAI UKURAN PENGARUH DOSIS SUBLETAL

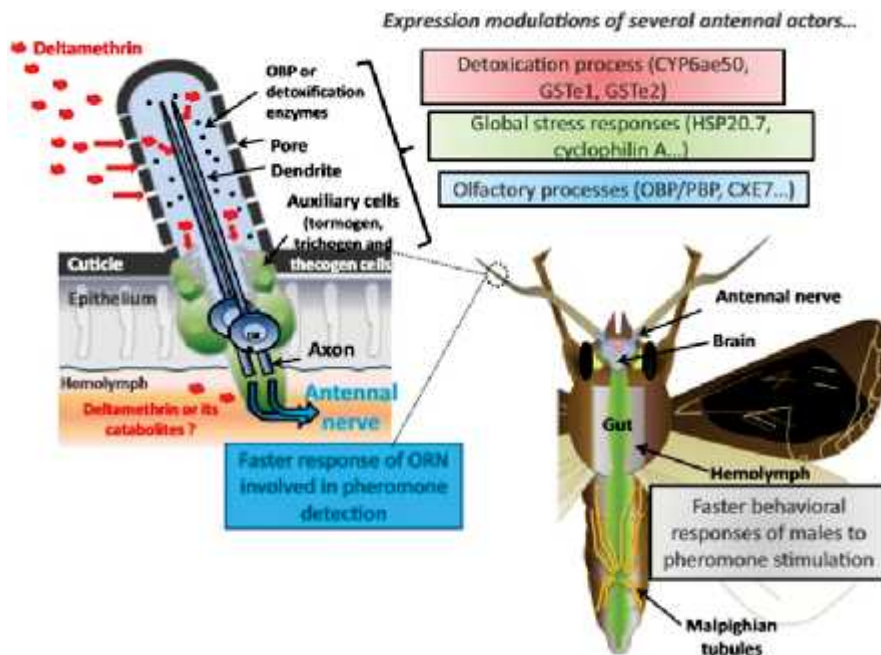
Paparan dosis/konsentrasi subletal insektisida dapat menyebabkan perubahan beberapa parameter perilaku serangga, seperti mencari makan, pemilihan lokasi bertelur, komunikasi feromon dan lain-lain. Produksi dan emisi feromon oleh serangga betina, jantan dan pendeteksiannya bergantung pada mekanisme fisiologis kompleks yang melibatkan hormon dan neurohormon. Beberapa insektisida yang bekerja pada sistem endokrin juga dapat mempengaruhi perilaku reproduksi.

Dosis/konsentrasi insektisida subletal dapat mengubah sistem komunikasi kimiawi dan akibatnya kemungkinan menurunkan tingkat reproduksi pada serangga yang sangat bergantung pada komunikasi penciuman. Misalnya, pengaruh deltametrin pada perilaku panggilan dan produksi feromon seks pada

Ostrinia furnacalis Guenée menunjukkan hal tersebut. *O. furnacalis* mengembangkan sistem kompensasi, dimana serangga jantan yang terhindar dari paparan insektisida menunjukkan respon yang rendah terhadap feromon, sementara serangga betina yang bertahan hidup memproduksi dan melepaskan lebih banyak feromon [19].

Selain efek merugikan, insektisida pada dosis/konsentrasi subletal juga dapat menyebabkan respon positif pada saat reproduksi, yang dikenal sebagai hormesis dan hormoligosis. Namun informasi tentang efek tersebut pada perilaku serangga masih sangat kurang [20]. Dosis rendah clothianidin pada serangga jantan *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) menunjukkan “efek bifasik” dengan peningkatan atau penurunan respon feromon tergantung pada dosis insektisida yang diberikan [21].

Pengaruh dosis subletal deltametrin pada antena *Spodoptera littoralis* (Boisduval) menyebabkan peningkatan respon serangga jantan terhadap feromon seks (efek hormesis), tetapi tidak mempengaruhi responnya terhadap tanaman inang. Dosis subletal deltametrin dapat mengubah ekspresi beberapa aktivitas antena yang terlibat dalam detoksifikasi insektisida. Perubahan ini dapat diamati pada tingkat transkripsi beberapa gen antena yang terlibat dalam sistem detoksifikasi dan dalam pengenalan bau/aroma serta pengangkutan, seperti gen dari protein pengikat bau (OBP). Pada serangga jantan *S. littoralis* yang diberikan deltametrin, peningkatan yang signifikan dalam tingkat transkripsi gen yang terlibat dalam detoksifikasi insektisida dilaporkan, seperti kromosom P450, glutathione S-transferases (GSTs) dan esterase. Proses penciuman juga terpengaruh, karena repolarisasi pada antena berkurang, sementara respon cepat dari neuron reseptor penciuman (ORN) diinduksi. Respon perilaku yang lebih cepat pada serangga jantan untuk stimulasi feromon dapat dilihat pada Gambar 1 [22].



Gambar 1. Model pengaruh yang muncul dari dosis subletal deltamethrin pada sistem penciuman *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) [22]

Pengaruh dosis subletal LD₀₁ klorpirifos pada serangga jantan *Trichogramma brassicae* menunjukkan bahwa responnya terhadap feromon seks betina menurun secara signifikan. Di sisi lain, ketika diaplikasikan insektisida pada serangga betina, respon serangga jantannya terhadap feromon seks sedikit tetapi meningkat secara signifikan [23]. Serangga betina *Trichogramma brassicae* yang lolos dari paparan dosis subletal deltamethrin menunjukkan tingkat parasitisme yang lebih rendah terhadap telur *Ephestia kuehniella* Zeller [24].

Mengubah bau/aroma khusus tanaman dengan aroma yang nonspesifik dapat menyebabkan penolakan terhadap lokasi peneluran. Dengan cara yang sama, dosis/konsentrasi subletal insektisida dapat menimbulkan efek jera terhadap peneluran dan pemberian makan serangga. Konsentrasi subletal dari beberapa minyak atsiri menyebabkan berkurangnya kemampuan makan dan bertelur dari *A. gemmatalis*, karena adanya komponen volatil minyak esensial yang mengubah perilaku serangga tersebut

[25]. Dosis subletal dari metomil meningkatkan gangguan perilaku *S. littoralis* dalam mencium bau makanan [26]. *Sitophilus zeamais* Motschulsky yang terpapar oleh *Cinnamomum zeylanicum* L. menunjukkan pengaruh pada perilaku lokomotor, seperti waktu, kecepatan dan jarak berjalan [27].

Dosis subletal insektisida dapat menimbulkan resurgensi serangga melalui pengaruhnya terhadap peningkatan pertumbuhan dan kandungan nutrisi tanaman (sebagai pakan serangga hama) dan terhadap perkembangan sistem reproduksi serangga hama. Kombinasi dari pengaruh tersebut terlihat pada peningkatan laju makan, keperidian, dan lama hidup imago [28].

Hasil penelitian pemberian konsentrasi subletal insektisida deltametrin pada wereng coklat *Nilaparvata lugens* membuktikan bahwa aplikasi deltametrin pada konsentrasi subletal mendorong peningkatan keperidian *N. lugens* dan laju peningkatannya dipengaruhi oleh frekuensi *N. lugens* terpapar oleh insektisida tersebut. Semakin sering terpapar

maka keperidian *N. lugens* semakin tinggi yang akhirnya menyebabkan resurjensi. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi deltametrin untuk suatu target spesies, dapat berpengaruh terhadap spesies hama padi lainnya [29].

Penggunaan pengendalian perilaku bersama dengan pengendalian kimiawi dalam pengelolaan hama terpadu diakui sebagai suatu cara yang menjanjikan dan efisien. Oleh karena itu, evaluasi dari pengaruh subletal insektisida pada perilaku serangga sangat penting dalam pengembangan strategi baru.

RESPON FISILOGIS TERHADAP DOSIS/KONSENTRASI SUBLETAL

Paparan dosis/konsentrasi subletal insektisida yang menyerang sistem saraf atau mengganggu keseimbangan hormonal dapat mempengaruhi fisiologi serangga dan mengurangi kelangsungan hidup dan reproduksi [30]. Secara potensial, semua kelas insektisida dapat mempengaruhi reproduksi serangga melalui pengaruh samping subletal terhadap parameter fisiologis, seperti pematangan telur, oogenesis, ovulasi, spermatogenesis dan motilitas sperma [10].

Pengatur tumbuh serangga (IGR) seperti agonis ecdyson dan spesifik untuk larva Lepidoptera, efektif melawan banyak hama penting tanaman [31]. Insektisida HR 5849 bisacylhydrazine dan tebufenozide (RH-5992) yang merupakan IGR berpengaruh terhadap perkembangan sistem reproduksi serangga jantan dan besarnya testikuler dari *Spodoptera litura* (Fabricius) ketika larva diberikan dosis subletal [32].

Studi dengan neonicotinoids, yang bertindak sebagai agonis reseptor asetilkolin dan mengganggu transduksi sinyal dari saraf kolinergik, menunjukkan bahwa thiacloprid, imidacloprid dan clothianidin juga dapat mengganggu sistem kekebalan lebah madu, mempengaruhi jumlah hemosit, respon enkapsulasi dan aktivitas mikroba pada hemolimfa [33]. Selain efek pada sistem kekebalan, neonicotinoid seperti imidacloprid juga ditemukan mengurangi viabilitas sperma

hingga 50% pada lebah [34]. Faktor-faktor ini juga dapat mempengaruhi kapasitas resistensi penyakit [35].

Insektisida dari kelas antranilamida, seperti ciantraniliprole, menargetkan reseptor rianodiana pada bagian otot dan saluran kalsium [36, 37]. Insektisida ciantraniliprole menampakkan pengaruh subletal pada *A. ipsilon*, dengan terjadinya pengurangan pada parameter nutrisi, termasuk lipid, karbohidrat dan protein, dan juga mempengaruhi perkembangan larva [38]. Pada penggunaan insektisida yang sama, terjadinya penurunan aktivitas enzim esterase, glutathione S-transferase dan oksidase dari *Spodoptera exigua* (Hübner) [39].

Aktivitas amilase pada usus tengah serangga *Tribolium castaneum* (Herbst) menurun pada pemberian konsentrasi subletal dari piretroid [40], namun dosis subletal dari klorpirifos dan metomil tidak menginduksi perubahan aktivitas enzim asetilkolinesterase dari larva *S. littoralis* [26].

Insektisida alami juga menunjukkan pengaruh subletal pada beberapa parameter fisiologis serangga. Ekstrak dari *Artemisia annua* L. menurunkan kadar amilase pada kumbang *Xanthogaleruca luteola* Mull setelah pemberian 24 jam, tetapi meningkat secara signifikan setelah 48 jam [41]. Minyak esensial dari *A. annua* secara signifikan mengurangi tingkat protein, karbohidrat dan lipid dari ngengat *Plodia interpunctella* (Hubner) [42]. Perubahan perkembangan embrio dari ulat grayak *S. frugiperda* diverifikasi dengan menggunakan mikroskop elektron setelah terpapar pada konsentrasi subletal azadirachtin, lufenuron dan deltamethrin. Perubahan tersebut terdiri dari embrio yang belum berkembang, butiran kuning telur yang tersebar luas, disintegrasi corium, blastoderme yang tidak terorganisir dengan adanya vakuola dan sel amorf pada bagian kuning telur [43].

Parameter fisiologis lainnya seperti spermatogenesis dan histokimia ovariol dari *S. frugiperda* dipengaruhi oleh minyak esensial dari *Piper hispidinervum* [44] dan *Szygium*

aromaticum (L.) pada konsentrasi subletal^[45]. Begitu juga profil biokimia dari larva *S. frugiperda* terpengaruh bila diberikan dosis subletal *Cymbopogon winterianus* Jowitt, yaitu mengganggu histofisiologi reproduksi serangga^[46].

Memahami proses fisiologis yang mempengaruhi sifat hidup serangga merupakan langkah penting untuk mengevaluasi pengaruh insektisida secara keseluruhan terhadap serangga hama dan musuh alami dalam program pengelolaan hama terpadu.

STUDI DEMOGRAFIS UNTUK PENILAIAN PENGARUH DOSIS SUBLETAL

Penggunaan pendekatan ekotoksikologi meningkatkan evaluasi insektisida dan racun lainnya dalam program pengendalian populasi hama terpadu. Perkiraan konsentrasi/dosis letal dulunya dirancang untuk mengukur satu pengaruh pada satu waktu^[1]. Studi demografi memperoleh perkiraan yang lebih baik dari dampak insektisida pada serangga hama dan musuh alami, dimana hal ini menjelaskan semua pengaruh yang mungkin ditimbulkan oleh toksikan pada suatu populasi, termasuk interaksi yang tidak nampak dalam toksisitas jangka pendek^[47, 48].

Analisa dari parameter demografis dapat mengevaluasi pengaruh subletal yang jauh lebih baik di bawah kurva respons dosis/konsentrasi, yang hasilnya menunjukkan adanya penurunan populasi bahkan cenderung terjadi kepunahan pada dosis/konsentrasi yang sebelumnya hanya dianggap memiliki sedikit pengaruh pada individu^[49]. Di sisi lain, dosis/konsentrasi subletal insektisida juga dapat menyebabkan peledakan populasi hama yang dipicu oleh stimulasi reproduksi^[50, 51].

Studi toksikologi demografis melalui bioassay tabel kehidupan memberikan ukuran pengaruh insektisida pada tingkat pertumbuhan populasi. Pengaruh subletal pada laju pertumbuhan populasi setelah terpapar insektisida sangat dipengaruhi oleh struktur

populasi awal. Karena perbedaan stadia serangga dapat menunjukkan kerentanan yang berbeda terhadap toksikan, maka hal ini menjadi penting untuk dipertimbangkan sebagai faktor dalam memperkirakan kerentanan populasi^[52].

Untuk melihat respons pada tabel kehidupan dilakukan percobaan dengan cara memaparkan individu atau kelompok serangga pada peningkatan dosis/konsentrasi toksikan selama masa hidup mereka^[1]. Data kematian dan reproduksi harian dicatat dan digunakan untuk menghasilkan parameter tabel kehidupan. Dalam studi tabel kehidupan, tingkat kenaikan intrinsik (r_m), tingkat kenaikan terbatas (r), tingkat reproduksi bersih (R_0), waktu pembangkitan rata-rata (T) dan waktu penggandaan (TD) merupakan parameter yang penting^[53]. Tetapi kerugian utama dari penggunaan toksikologi demografis adalah pengembangan data tabel kehidupan menjadi mahal dan memakan waktu yang cukup lama. Salah satu cara untuk mengurangi biaya tersebut adalah dengan menggunakan tabel kehidupan secara parsial atau metode laju pertumbuhan populasi lainnya, seperti laju kenaikan sesaat (r_i)^[54].

Pendekatan demografis ini telah digunakan dalam konteks toksikologi oleh beberapa penulis untuk menilai pengaruh subletal sintetis. Penggunaan bioassay tabel kehidupan menunjukkan bahwa konsentrasi subletal dari cyantraniliprole menurunkan kecepatan pertumbuhan dan mengurangi reproduksi populasi *A. ipsilon*^[38]. Tabel kehidupan untuk evaluasi konsentrasi subletal chlorantraniliprole juga menunjukkan durasi yang panjang pada stadia larva dan pupa dari ordo Lepidoptera seperti *O. furnacalis* dan *P. xylostella*^[55, 56]. Perubahan demografis dalam multigenerasi juga diamati pada *P. xylostella* setelah terpapar konsentrasi subletal dari spinosad^[57]. Juga telah dilaporkan, bahwa pengaruh subletal dari spinosad dapat mempengaruhi dinamika populasi dari *S. exigua* dengan berkurangnya kemampuan hidup, reproduksi dan penundaan perkembangannya^[58].

Aphis gossypii Glover yang terpapar insektisida nabati azadirachtin dari ekstrak air biji mimba, dan minyak jarak memberikan nilai negatif terhadap laju peningkatan seketika (r_i)^[59]. Negatif r_i untuk *A. gossypii* populasi juga diamati dengan penggunaan insektisida botani Compostonat[®], Rotenat[®] dan Neempro[®]^[60]. Negatif r_i dan penurunan populasi *Myzus persicae* (Sulzer) juga dilaporkan saat menggunakan insektisida nabati dari minyak mimba, NeemAzal T / S[®]^[61].

Dengan cara ini, studi tentang pengaruh subletal insektisida pada serangga hama dan musuh alami dengan menggunakan parameter demografis sangat penting untuk memandu penggunaan toksikan baru, penundaan gejala resistensi dan mengurangi risiko terjadinya resurgensi hama.

PENGARUH DOSIS SUBLETAL PADA MUSUH ALAMI

Studi tentang pengaruh insektisida pada serangga menguntungkan, terutama musuh alami, telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Dampak yang dilihat tidak terbatas hanya pada kematian saja, tetapi juga melihat pengaruh subletal pada serangga yang bertahan dari paparan insektisida^[2]. Pengaruhnya dapat dilihat pada perubahan parameter biologis, seperti reproduksi (fertilitas, keperidian dan sex rasio), waktu perkembangan, lama hidup dan perilaku serangga^[10, 62].

Pengaruh subletal pada musuh alami dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu: fisiologis dan perilaku. Diantara pengaruh pada fisiologis musuh alami, adalah perubahan neurofisiologi, perkembangan, lama hidup imago, fekunditas dan sex rasio^[2]. Diantara pengaruh pada perilaku musuh alami, adalah perubahan mobilitas serangga, perubahan kemampuan mencari mangsa atau inang, serta perubahan perilaku makan dan oviposisi serangga.

Zat pengatur tumbuh serangga (Insect Growth Regulator = IGR) dapat mendorong

perubahan dalam perkembangan musuh alami. Selain bekerja pada sistem endokrin serangga, juga mengganggu proses pergantian kulit (molting) dan pembentukan kutikula^[2]. Penurunan fertilitas dan keperidian diamati sebagai pengaruh subletal dari zat pengatur tumbuh serangga pada larva predator *Ceraeochrysa cubana* (Hagen) yang terpapar pyriproxyfen, tebufenozide, methoxyfenozide dan buprofezin^[63]. Pyriproxyfen adalah pengatur pertumbuhan serangga yang meniru hormon juvenile pada beberapa spesies. Insektisida ini secara signifikan mengurangi kesuburan serangga hama dan juga dapat mempengaruhi musuh alami^[64]. Dalam studi tentang selektivitas zat pengatur tumbuh serangga dan neonicotinoid pada *Trichogramma pretiosum* Riley, insektisida novaluron sedikit berbahaya bagi munculnya generasi F₁, sedangkan acetamiprid, imidacloprid, lufenuron dan triflumuron tidak berbahaya^[65]. Perlakuan insektisida acetamiprid pada serangga muda dan imago dari ektoparasitoid *Aphytis melinus* DeBach tidak mempengaruhi perkembangan serangga mudanya selama stadia pupa^[66]. Pengaruh toksisitas dan subletal terhadap keperidian dan fertilitas dari enam jenis insektisida pada musuh alami *Chrysoperla carnea* (Stephens) dan *Adalia bipunctata* (Linnaeus), menunjukkan bahwa deltamethrin mempengaruhi parameter reproduksi (keperidian dan fertilitas) dari imago *C. carnea*, tetapi menyebabkan kematian total pada larva dan imago *A. bipunctata*^[67]. Pengaruh letal dan subletal dari insektisida lufenuron pada *Diatraea flavipennella* (Kotak) dan parasitoidnya (*Cotesia flavipes* Cameron) dilaporkan terjadi penundaan periode perkembangan *C. flavipes* saat memarasit larva *D. flavipennella* yang lolos dari paparan subletal insektisida^[68].

Tidak hanya insektisida sintetis saja yang cenderung mempengaruhi musuh alami, tetapi juga insektisida nabati dan minyak esensial. Pengaruh insektisida nabati berbahan dasar mimba Azamax[®], ekstrak mimba dalam air dan minyak yang dapat diemulsi *Ricinus*

communis menunjukkan pengaruh buruk pada perkembangan larva instar pertama dan keempat dari predator *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus) [59]. Pengaruh letal dan subletal pada *Eriopsis connexa* (Germar) juga diamati di laboratorium saat menggunakan ekstrak biji mimba [61]. Evaluasi pengaruh dari empat jenis ekstrak tumbuhan pada parasitoid *T. galloi* (Zucchi) menunjukkan bahwa ekstrak kulit kayu *Aspidosperma pyrifolium* mengurangi tingkat parasitisme pada telur *D. sacharallis* (Fabr) [69]. Beberapa minyak esensial juga mempengaruhi reproduksi *Euborellia annulipes* (Lucas), dan minyak esensial dari *F. vulgare* Mill. dan *Nicotiana tabacum* L. menunjukkan tindakan penghambatan pada perilaku bertelur dari predator [70].

Sebagian besar studi dampak insektisida (termasuk untuk piretroid) terhadap parasitoid dan musuh alami lainnya menggunakan toksisitas akut dengan indikator kematian (mortalitas). Hal ini dapat mengabaikan pengaruh subletal yang mempengaruhi perilaku dan fisiologi musuh alami (fekunditas, fertilitas, lama hidup, perkembangan, laju pemunculan, atau dengan memodifikasi ciri-ciri perilaku yang akan mempengaruhi interaksi antara parasitoid dan inang) [2]. Oleh karena itu, dampak pestisida pada serangga bukan sasaran harusnya mencakup pengaruh letal dan subletal [1, 2]. Pengaruh letal tidak dapat mendeterminasi secara keseluruhan (komplit) pengaruh insektisida pada makhluk hidup, sehingga pengaruh subletal sangat penting sebagai acuan/landasan untuk analisis resiko insektisida [1].

Dosis/konsentrasi subletal insektisida juga dapat mempengaruhi serangga yang menguntungkan seperti lebah, menyebabkan perubahan dalam perkembangan, perilaku, morfofisiologi dan sistem kekebalan, mempengaruhi fungsi koloni dan menurunkan lama hidup individu [71]. Selektivitas insektisida terhadap musuh alami sangat penting untuk pengendalian hayati sebagai

bagian dari program pengelolaan hama terpadu.

KESIMPULAN

Studi tentang pengaruh subletal telah cukup banyak dilakukan selama ini, tidak saja hanya untuk insektisida sintetis, tetapi juga untuk insektisida botani terhadap serangga hama dan musuh alaminya (parasitoid dan predator). Akan tetapi, hal ini masih merupakan awal dari pembukaan jalur pengetahuan untuk bidang ini, karena setiap individu dan spesies dapat memberikan respon yang berbeda untuk setiap insektisida.

Secara keseluruhan, pengaruh subletal insektisida dapat menyebabkan efek biologis, mengganggu jumlah telur, masa peneluran, berat larva dan pupa, masa perkembangan, kedaruratan dewasa, lama hidup dan tingkat fertilitas; pengaruh terhadap perilaku makan, masa peneluran, sistem lokomotor dan mengurangi atau meningkatkan produksi serta respons terhadap feromon; dan efek fisiologis pada sistem reproduksi dan sistem kekebalan serta status nutrisi serangga.

Penggunaan parameter demografis dalam penilaian pengaruh subletal muncul untuk memperluas konsep efek total insektisida tidak hanya pada individu, tetapi juga pada populasi serangga. Selain itu, penilaian pengaruh subletal pada musuh alami memungkinkan pengembangan program pengelolaan hama terpadu dengan penggunaan gabungan pengendalian kimia dan biologis yang lebih aman dan efektif.

Sebagai tantangan di masa depan, sangat perlu untuk menargetkan masalah yang lebih luas dalam mengamati pengaruh dosis/konsentrasi subletal terhadap riwayat hidup serangga secara keseluruhan, dan memperluas dampak ini ke perspektif yang lebih luas lagi seperti komunitas dan ekosistem. Studi tentang pengaruh subletal insektisida pada serangga sangat penting dan perlu dipertimbangkan saat mengakses pengaruh toksikan secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stark, J.D. and J.E. Banks. 2003. Population level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*. 48: 505–519.
- [2] Desneux, N., Decourtye, A., and J.M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review Entomology*. 52: 81–106.
- [3] Stark, J.D., Jepson, P.C. and D. Mayer. 1995. Limitations to the use of topical toxicity data for predictions of pesticide side effects in the field. *Journal of Economic Entomology*. 88(5): 1081–1088.
- [4] Lee, C.Y. 2000. Sublethal effects of insecticide on longevity, fecundity, and behaviour of insect pests: a review. *Bioscience*. 11: 107–112.
- [5] Singh, J.P. and K.K. Marwaha. 2000. Effects of sublethal concentrations of some insecticides on growth and development of maize stalk borer, *Chilo partellus* (Swinhoe) larvae. *Shashpa*. 7: 181–186.
- [6] Borgoni, P.C. and J.D. Vendramin. 2005. Sublethal effect of aqueous extracts of *Trichilia* spp. on *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) development on maize. *Neotropical Entomology*. 34: 311–317.
- [7] Mamood, A.N. and G.D. Waller. 1990. Recovery of learning responses by honey bees following sublethal exposure to permethrin. *Physiological Entomology*. 15: 55–60.
- [8] Lashkari, M.A., Sahragard, A. and M. Ghadamyari. 2007. Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on population growth parameters of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on rapeseed, *Brassica napus* L. *Insect Science*. 14: 207–212.
- [9] Elzen, G.W., Maldonado, S.N. and M.G. Rojas. 2000. Lethal and sublethal effects of selected insecticides and an insect growth regulator on the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) ectoparasitoid *Catolaccus grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Economic Entomology*. 93: 300–303.
- [10] Haynes, K.F. 1988. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. *Annual Review Entomology*. 33: 149–168.
- [11] Storch, G., Loeck, A.E., Borba, R.S., Magano, D.A., Moraes, C.L. and C.L. Grutzmacher. 2007. The effect of sublethal doses of insecticides on artificial diet and caterpillars of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Brasileira de Agrociência*. 13: 175–179.
- [12] Mahmoudvand, M., Abbasipour, H., Garjan, A.S. and A.R. Bandani 2012. Decrease in pupation and adult emergence of *Plutella xylostella* (L.) treated with hexaflumuron. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 72: 206–211.
- [13] Dong, J., Wang, K., Li Y. and S. Wang. 2016. Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole on *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*.
- [14] Ootani, M.A., Aguiar, R.W., Ramos, A.C.C., Brito, D.R., Silva, J.B. and J.P. Cajazeira. 2013. Use of essential oils in agriculture. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*. 4: 162–174.
- [15] Cruz, G.S., Teixeira, V.W., Oliveira, J.V., Teixeira, A.A.C., Araújo, A.C., Alves, T.J.S., Cunha, F.M. and M.O. Breda. 2015. Histological and histochemical changes by clove essential oil upon the gonads of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *International Journal of Morphology*. 33: 1393–1400.
- [16] Cruz, G.S., Teixeira, V.W., Oliveira, J.V., Lopes, F.S.C., Barbosa, D.R.S., Breda, M.O., Dutra, K.A., Guedes, C.A.,

- Navarro, D.M.A.F. and A.C.C. Teixeira. 2016. Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*. 109: 660–666.
- [17] Bernardi, D., Oabne, S., Bernardi, O., Silva, A., Cunha, U.S., and M.S. Garcia. 2011. Efficiency and sublethal effects of neem on *Bonagota salubricola* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33: 412–419.
- [18] De Ling, M.A., Gordh, G. and M.P Zalucki. 2000. Biological effects of azadirachtin on *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on cotton and artificial diet. *Australian Journal of Entomology*. 39: 301–304.
- [19] Wei H Y and, Du J W. 2004. Sublethal effects of larval treatment with deltamethrin on moth sex pheromone communication system of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 80:12–30.
- [20] Cutler, G.C. 2013. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. *Dose Response*. 11: 154–117.
- [21] Rabhi, K.K., Esancy, K., Voisin, A., Crespin, L., Le Corre, J., Tricoire Leignel, H., Anton, S. and C. Gadenne. 2012. Unexpected effects of low doses of a neonicotinoid insecticide on behavioral responses to sex pheromone in a pest insect. *PLoS One*. 9(12): e114411.
- [22] Lalouette, L., Pottier, M., Wycke, M., Boitard, C., Bozzolan, F., Maria, A., Demondion, E., Chertemps, T., Lucas, P., Renault, D., Maibeche, M. and D. Siaussat. 2016. Unexpected effects of sublethal doses of insecticide on the peripheral olfactory response and sexual behavior in a pest insect. *Environmental Science and Pollution Research*. 23: 3073–3085.
- [23] Delpuech, J., Gareau, E., Terrier, O. and P. Fouillet. 1998. Sublethal effects of the insecticide chlorpyrifos on the sex pheromonal communication of *Trichogramma brassicae*. *Chemosphere*. 36: 1775–1785.
- [24] Delpuech, J. and M. Delahaye. 2013. The sublethal effects of deltamethrin on *Trichogramma* behaviors during the exploitation of host patches. *Science of the Total Environment*. 447C: 274–279.
- [25] Ribeiro, C.R., Zanuncio, T.V., Ramalho, F.S., Silva, C.A.D., Serrão, J.E., and J.C. Zanuncio. 2015. Feeding and oviposition of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) with sublethal concentrations of ten condiments essential oils. *Industrial Crops and Products*. 74: 139–143.
- [26] Dewar, Y., Pottier, M.A., Lalouette, L., Maria, A., Dacher, M., Belzunces, L.P., Kairo, G., Renault, D., Maibeche, M., and Siaussat. 2016. Behavioral and metabolic effects of sublethal doses of two insecticides, chlorpyrifos and methomyl, in the Egyptian cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Science & Pollution Research International*. 23: 3086–3096.
- [27] Haddi, K., Oliveira, E.E., Faroni, L.R.A., Guedes, D.C., and N.N.S. Miranda. 2015. Sublethal exposure to clove and cinnamon essential oils induces hormetic like responses and disturbs behavioral and respiratory responses in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*. 108: 2815–2822.
- [28] Ratna, Y., Trisyono, Y.A., Untung, K., dan D. Indradewa. 2009. Resurjensi Serangga Hama Karena Perubahan Fisiologi Tanaman dan Serangga Sasaran Setelah Aplikasi Insektisida. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 15 (2): 55 – 64.

- [29] Ratna, Y., Trisyono, Y.A., Witjaksono, dan D. Indradewa. 2010. Pengaruh Konsentrasi dan Frekuensi Aplikasi Deltametrin Terhadap Resurgensi *Nilaparvata lugens*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 16 (1): 6–14.
- [30] Guedes, R.N.C., Smagghe, G., Stark, J.D., and N. Desneux. 2016. Pesticide induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review Entomology*. 61: 43–62.
- [31] Cadogan, B.L., Retnakaran, A., and J.H. Meating. 1997. Efficacy of RH 5992, a new insect growth regulator against spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) in a boreal forest. *Journal Economic Entomology*. 90: 551–559.
- [32] Seth, R.K., Kaur, J.J., Rao, D.K., and S.E. Reynolds. 2004. Effects of larval exposure to sublethal concentrations of the ecdysteroid agonists RH 5849 and tebufenozide (RH 5992) on male reproductive physiology in *Spodoptera litura*. *Journal of Insect Physiology*. 50: 505–517.
- [33] Elbert, A., Hass, M., Springer, B., Thielert, W., and R. Nauen. 2008. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*. 64: 1099–1105.
- [34] Chaimanee, V., Evans. J.D., Chen, Y/, Jackson, C., and J.S. Pettis. 2016. Sperm viability and gene expression in honey bee queens (*Apis mellifera*) following exposure to the neonicotinoid insecticide imidacloprid and the organophosphate acaricide coumaphos. *Journal Insect Physiology*. 89: 1–8.
- [35] Brandt, A., Gorenflo, A., Siede, R., Meiner, M., and R. Buchler. 2016. The neonicotinoids thiacloprid, imidacloprid and clothianidin affect the immune-competence of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal Insect Physiology* 86: 40–47.
- [36] Sattelle, D.B., Cordova, D., and T.R. Cheek. 2008. Insect ryanodine receptors: molecular targets for novel pest control chemicals. *Invertebrate Neuroscience*. 8: 107–119.
- [37] Lahm, G.P., Cordova, D., and J.D. Barry. 2009. New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 17: 4127–4133.
- [38] Xu, C., Zhang, Z., Cui, K., Zhao, Y., Han J., Liu F., and W. Mu. 2016. Effects of sublethal concentrations of cyantraniliprole on the development, fecundity and nutritional physiology of the black cutworm *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS One*. 11(6): e0156555.
- [39] Hui Ling, Y., Xin, X., Gui-in Y., Yi Qu C., and W. Xue Gui. 2015. Effects of sublethal doses of cyantraniliprole on the growth and development and the activities of detoxifying enzymes in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*. 58: 634–641.
- [40] Saleem, M.A., and A.R. Shakoori. 1987. Point effects of Dimilin and Ambush on enzyme activities of *Tribolium castaneum* larvae. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 29: 127–137.
- [41] Shekari, M., Sendi, J.J., Etebari, K., Zibae, A., and A. Shadparvar. 2008. Effects of *Artemisia annua* L. (Asteraceae) on nutritional physiology and enzyme activities of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Mull (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 91: 66–74.
- [42] Zamari, S., Sendi, J.J., and M. Ghadamyari. 2011. Effect of *Artemisia annua* L. (Asterales: Asteraceae) essential oil on mortality, development, reproduction and energy reserves of *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Fertilizers and Pesticides*. 2: 105–110.
- [43] Correia, A.A., Wanderley Teixeira, V., Teixeira, A.A.C., Oliveira, J.V., Gonçalves, G.G., Cavalcanti, M.G.,

- Brayner, F.A., and L.C. Alves. 2011. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. *Journal Economic Entomology*. 106: 747–755.
- [44] Alves, T.J.S., Cruz, G.S., Teixeira, V.W., Teixeira, A.A.C., Oliveira, J.V., Correia, A.A., Câmara, A.A.G., and Cunha, F.M. 2013. Effects of *Piper hispidinervum* on spermatogenesis and histochemistry of ovarioles of *Spodoptera frugiperda*. *Biotechnic and Histochemistry*. 88: 1–11.
- [45] Cruz, G.S., Teixeira, V.W., Oliveira, J.V., Correia, A.A., Breda, M.O., Alves, T.J.S., Cunha, F.M., Teixeira, A.A.C., Dutra, K.A., and D.M.A.F. Navarro. 2014. Bioactivity of *Piper hispidinervum* (Piperales: Piperaceae) and *Syzygium aromaticum* (Myrtales: Myrtaceae) oils, with or without formulated Bt on the biology and immunology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*. 107: 144–153.
- [46] Silva, C.T.S., Wanderley Teixeira, V., Cunha, F.M., Oliveira, J.V., Dutra, K.A., Navarro, D.M.A.F., and A.A.C. Teixeira. 2016. Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1979) treated with citronella oil (*Cymbopogon wintwrianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. *Acta Histochemistry*. 118: 347–352.
- [47] Kammenga, J.E., Busschers, M., Van Straalen, N.M., Jepson, J.P., and J. Bakker. 1996. Stress induced fitness reduction is not determined by the most sensitive lifecycle trait. *Functional Ecology*. 10: 106–111.
- [48] Kareiva, P., Stark, J., and U. Wennergren. 1996. Using demographic theory, community ecology and spatial models to illuminate ecotoxicology. In: Baird DJ, Maltby L, Greig Smith PW, Douben PET (eds.), *Ecotoxicology: Ecological Dimensions*. London: Chapman & Hall. pp. 13–23.
- [49] Bechmann, R.K. 1994. Use of life tables and LC50 tests to evaluate chronic and acute toxicity effects of copper on the marine copepod *Tisbe furcata* (Baird). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 13: 1509–1517.
- [50] Kerns, D.L., and M.J. Gaylor. 1992. Sublethal effects of insecticides on cotton aphid reproduction and color morph development. *Southwestern Entomologist*. 17: 245–250.
- [51] Kerns, D.L., and M.J. Gaylor. 1993. Induction of cotton aphid outbreaks by insecticides in cotton. *Crop Protection*. 12: 387–392.
- [52] Stark, J.D., and J.A.O. Banken. 1999. Importance of population structure at the time of toxicant exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 42: 282–287.
- [53] Huang, Y.B., and H. Chi. 2013. Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): with an invalidation of the jackknife technique. *Journal of Applied Entomology*. 137: 327–339.
- [54] Stark, J.D., and J.E. Banks. 2016. Developing demographic toxicity data: optimizing effort for predicting population outcomes. *PeerJ*. 4: e2067.
- [55] Han, W., Zhang, S., Shen, F., Liu, M., Ren, C., and X. Gao. 2012. Residual toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Pest Management Science*. 68: 1184–1190.
- [56] Song, Y., Dong, J., and H. Sun. 2013. Chlorantraniliprole at sublethal concentrations may reduce the population growth of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*. 56: 446–451.
- [57] Yin, X.H., Wu, Q.J., Li, X.F., Zhang, Y.J., and B.Y. Xu. 2009. Demographic changes in multigeneration *Plutella*

- xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) after exposure to sublethal concentrations of spinosad. *Journal of Economic Entomology*. 102: 357–365.
- [58] Wang, D., Wang, Y.M., Liu, H.Y., Xin, Z., and M. Xue. 2013. Lethal and sublethal effects of spinosad on *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*. 106: 1825–1831.
- [59] Breda, M.O., Oliveira, J.V., Marques, E.M., Ferreira, R.G., and M.F. Santana. 2011. Botanical insecticides applied on *Aphis gossypii* and its predator *Cycloneda sanguinea* on naturally colored cotton. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 46: 1424–1431.
- [60] Andrade, L.H., Oliveira, J.V., Breda, M.O., Marques, E.J., and I.M.M. Lima. 2012. Effects of botanical insecticides on the instantaneous population growth rate of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) in cotton. *Acta Scientiarum Agronomy*. 34: 119–124.
- [61] Venzon, M., Rosado, M.C., Pallini, A., Fialho, A., and C.J. Pereira. 2007. Lethal and sublethal toxicity of neem on green peach aphid and on its predator *Eriopsis conexa*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42: 627–631.
- [62] Wright, D.J., and R.H.J. Verkerk. 1995. Integration of chemical and biological control systems for arthropods: evaluation in a multitrophic context. *Pesticide Science*. 44: 207–218.
- [63] Ono, E.K. 2014. Lethal and sublethal effects of insect growth regulators over the predator *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions. *Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, Brasil*. 48 p.
- [64] Ohba, S.Y., Ohashi, K., Pujiyati, E., Higa, Y., Kawada, H., Mito, N., and M. Takagi. 2013. The effect of Pyriproxyfen as a “population growth regulator” against *Aedes albopictus* under semifield conditions. *PLoS One*. 8: e67045.
- [65] Carvalho, G.A., Godoy, M.S., Parreira D.S., Lasmar, O., Souza, J.R., and V.F. Moscardini. 2010. Selectivity of growth regulators and neonicotinoids for adults of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Revista Colombiana de Entomología* 36:195-201
- [66] Rill, S.M., Grafton Cardwell, E.E., and J.G. Morse. 2008. Effects of two insect growth regulators and a neonicotinoid on various life stages of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *BioControl*. 53: 579–587.
- [67] Garzón, A., Medina, P., Amor, F., Viñuela, E., and F. Budia. 2015. Toxicity and sublethal effects of six insecticides to last instar larvae and adults of the biocontrol agents *Chisoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere*. 132:87-93
- [68] Fonseca, A.P.P., Marques, E.J., Torres, J.B., Silva, L.M., and H.A.A. Siqueira. 2015. Lethal and sublethal effects of lufenuron on sugarcane borer *Diatraea flavipennella* and its parasitoid *Cotesia flavipes*. *Ecotoxicology*. 24: 1869–1879.
- [69] Trindade, R.C.P., Lima, I.S., Sant'Ana, A.E.G., Broglio, S.M.F., and P.P. Silva. 2013. Action of plants extract on *Trichogramma galloi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Comunicata Scientiae*. 4: 255–262.
- [70] Silva, A.B., Batista, J.L., and C.H. Brito. 2009. Influence of product of plant origin on oviposition and embryonic development of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). *Environmental Engineering*. 6: 54–65.
- [71] Frazier, M., Mullin, C., Frazier, J., and S. Ashcraft. 2008. What have pesticides got to do with it? *American Bee Journal*, Hamilton. 521–523.