

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2014.06.11

高效氯氰菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应

王 坤^{1,2}, 王 甦², 宋丽芳¹, 张 帆², 李永丹^{1*}

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院昆虫学系, 北京 100194;

2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要: 螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 是害虫生物防治中一种重要的卵寄生蜂, 其在防治害虫的同时, 也会受到田间杀虫剂的影响。本研究选择高效氯氰菊酯和啉虫脒亚致死剂量, 以两性生命表法计算种群参数, 揭示了这两种药剂亚致死剂量对该种群生长、繁殖的影响。试验测定了高效氯氰菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂的亚致死剂量 LC_{20} 值分别为 0.119 和 1.091 mg/L。研究结果显示, 经亚致死浓度 LC_{20} 的啉虫脒处理后, 螟黄赤眼蜂的寄生卵量显著低于对照 ($P < 0.05$), 寿命 (1.17 d) 显著缩短, 种群参数 (内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 、净生殖力 R_0 和世代平均历期 T) 均低于对照, 其中净生殖力 R_0 (27.573) 显著低于对照 ($P < 0.05$)。经亚致死剂量 LC_{20} 的高效氯氰菊酯处理后, 螟黄赤眼蜂的单雌产卵量显著高于对照 ($P < 0.05$)。试验结果表明高效氯氰菊酯的亚致死剂量对螟黄赤眼蜂的增殖有一定的刺激作用, 而亚致死剂量的啉虫脒则会影响螟黄赤眼蜂的寄生能力, 在螟黄赤眼蜂盛发期, 田间施用啉虫脒时, 应注意其残留量对螟黄赤眼蜂的影响。

关键词: 螟黄赤眼蜂; 啉虫脒; 高效氯氰菊酯; 两性生命表; 亚致死效应

中图分类号: Q965.9; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2014) 06-0000-00

Sublethal effects of acetamiprid and beta-cypermethrin on reproduction of *Trichogramma chilonis*

WANG Kun, WANG Su, SONG Li-Fang, ZHANG Fan, LI Yong-Dan* (1. Department of Entomology, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Institute of Plant & Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: *Trichogramma chilonis* is an important egg parasitoid in pest biocontrol, the insecticide can effect the *T. chilonis* meanwhile control pest. In the study, the sublethal concentraion of beta-cypermethrin and acetamiprid were selected to reveal the effect on development and fecundity of *T. chilonis* by using two-sex life table. The results show that the sublethal concentration (LC_{20}) of beta-cypermethrin and acetamiprid were 0.119 and 1.091 mg/L, respectively. The number of parasitic egg was significantly lower as compared with control ($P < 0.05$), the lifespan of *T. chilonis* was significantly decreased than control. In addition, life table parameters (the intrinsic rate of increase r_m , the finite rate of increase λ , the net reproductive rate R_0 and mean generation time T) were lower than their respective controls, furthermore, the R_0 was significantly lower as compared with control. The number of eggs per female of *T. chilonis* was significantly higher than control after treated with sublethal concentration of beta-cypermethrin. The results demonstrated that sublethal concentration of beta-cypermethrin stimulated

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2013CB127600); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJ CX20140101); 北京市科技计划项目 (D141100000914000)

作者简介: 王坤, 男, 1990年生, 汉族, 硕士, 研究方向为昆虫毒理学

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: yongdanli@cau.edu.cn

the reproduction of *T. chilonis*, however, sublethal concentration of acetamiprid effected the parasitic ability. Furthermore, the effect of residue acetamiprid on *T. chilonis* was considered when apply it in the field during the emergence period of this insect.

Key words: *Trichogramma chilonis*; acetamiprid; beta - cypermethrin; age - stage two - sex life table; sublethal effect

螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 属于膜翅目 Hymenoptera 赤眼蜂属 *Trichogramma*, 是常见鳞翅目害虫的重要天敌之一 (Hassan, 1993)。同时能够在柞蚕卵、米蛾卵等替代寄主上繁殖而受到人们的重视。国内外现在广泛应用赤眼蜂于农林害虫的生物防治中, 其使用面积最大、使用范围也最广, 已经成为防治农林害虫对象最多的一类天敌 (King, 1993)。

目前在农业生产上主要使用化学防治和生物防治来控制鳞翅目等害虫。当使用杀虫剂防治害虫后, 除对害虫和天敌昆虫造成直接的杀伤外, 随着杀虫剂在环境中浓度逐渐递减, 部分天敌昆虫还会受到杀虫剂的亚致死剂量 (或浓度) 的影响。所谓亚致死浓度是当昆虫接触一定剂量的杀虫剂后, 此剂量的杀虫剂虽不足以杀死昆虫, 但能影响其行为活动、生命表相关参数等 (Haynes, 1988)。研究表明, 亚致死剂量的杀虫剂可以减少雌蜂的产卵量 (Desneux *et al.*, 2006) 和世代平均历期等 (Bao *et al.*, 2009), 部分低剂量的杀虫剂对天敌昆虫具有一定的刺激增殖作用 (James & Price, 2002)。此外, 亚致死剂量的杀虫剂还有助于耐药性强的昆虫增强个体的抗药性 (韩文素等, 2011)。

高效氯氰菊酯和啉虫脒是田间大量使用的广谱性杀虫剂, 能有效防治鳞翅目等害虫 (Jander *et al.*, 2014)。两种药剂在防治害虫的同时, 难免会对天敌昆虫造成一定的影响, 目前关于高效氯氰菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应尚未见详细报道。两性生命表是研究昆虫动态和进行预测预报的重要工具, 一直被国内外广泛使用, 其考虑昆虫个体间存在的差异, 注重了对雄性个体的评价, 从而解决了传统生命表所存在的缺陷 (Chi *et al.*, 1985; Chi *et al.*, 1988)。本文通过两性生命表评价上述两种药剂对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应, 以期为害虫综合治理过程中, 协调生物防治和化学防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试药剂及虫源

供试药剂: 97% 高效氯氰菊酯 (beta - cypermethrin) 原药, 购自山东中石化化工有限公司。98.2% 啉虫脒 (acetamiprid) 原药, 购自安徽金泰农药化工有限公司。

供试蜂种: 螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 由北京市农林科学院植保环保所天敌昆虫实验室提供, 寄主为米蛾 *Corcyra cephalonica* (Stainton) 卵, 在温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度为 70% - 80%, 光周期 16L: 8D 条件下饲养, 饲养期间不会接触任何杀虫剂。

1.2 试验方法

1.2.1 杀虫剂对螟黄赤眼蜂的生物学测定

参照 Shotkoski *et al.* (1990) 和 Shufron *et al.* (1997) 的药膜法, 并略有改进。先将每种供试杀虫剂的原药用丙酮溶解, 用丙酮将其稀释成 5 个浓度。分别吸取每个浓度的药液 200 μL 加入到高 5.2 cm, 直径 2 cm 的玻璃管 (内表面积 36 cm^2) 中, 将玻璃管放平, 迅速转动让药液均匀分布在管内壁。当丙酮挥发完全后, 分别在每支药膜管中接入羽化后 4 - 6 h 的成蜂 50 头左右, 饲喂 10% 的蜂蜜水, 用丙酮作为对照, 每个处理重复 4 次。用黑布将每支含有赤眼蜂的药膜管封闭, 放入人工气候箱 (温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度为 70% - 80%, 光周期 16L: 8D) 中继续饲养, 8 h 后统计每管成蜂死亡数和总数, 以解剖针轻触虫体, 虫体不动为死亡。

1.2.2 两性生命表的构建

将高效氯氰菊酯和啉虫脒分别用丙酮配制成 1000 mg/L 的母液, 再用丙酮分别将母液稀释为药剂的亚致死浓度 LC_{20} , 待用。将接种在 1 h 内的寄主卵作为供试材料, 于寄生卵变黑后选取 100 粒, 放入到人工气候箱中饲养。将接种时间 x 作为实验计算的起点, 设 x 以 12 h 为单位的时间间隔, 在每个时间间隔内记录寄生卵的发育情况, 以及赤

眼蜂羽化情况。当赤眼蜂羽化后，用之前配好的药液制药膜管，将羽化后的赤眼蜂接入到药膜管内，放到人工气候箱中处理 8 h 后，将赤眼蜂单头转移到干净的玻璃管中，饲喂 10% 的蜂蜜水。分别对每头赤眼蜂进行编号，并立即接入大约 200 粒（过量）的米蛾卵，每个时间段更换一次卵卡，将更换下的卵卡放入到人工气候箱中继续培养。每个时间间隔内记录成蜂的存活情况、逐日产卵量，直到成蜂死亡。当成蜂死亡后，将每头赤眼蜂分别通过解剖镜确定其雌雄。

1.3 数据统计分析

试验结果采用 PoLo 2.0 软件，计算致死中浓度 LC_{50} 、卡平方和独立回归方程。亚致死剂量高效氯氰菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂生命表参数的

统计分析，应用特征年龄 - 龄期两性生命表软件（Chi, 2012）进行，采用 bootstrap 方法计算种群动态参数。

2 结果与分析

2.1 两种杀虫剂对螟黄赤眼蜂亚致死浓度的确定

啉虫脒和高效氯氰菊酯对螟黄赤眼蜂生物测定结果见表 1。啉虫脒和高效氯氰菊酯对螟黄赤眼蜂的致死中浓度（ LC_{50} ）分别为为 3.043 mg/L、0.299 mg/L，选取 1.091 mg/L 的啉虫脒和 0.119 mg/L 的高效氯氰菊酯作为两种药剂的亚致死浓度（ LC_{20} ）用于后续实验。

表 1 杀虫剂对螟黄赤眼蜂成蜂的毒力测定结果
Table 1 Toxicity of insecticides on adults of *Trichogramma chilonis*

药剂 Insecticides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	浓度（95% 置信区间）（mg/L） Concentration（95% FL）		χ^2 Chi - square value
		LC ₂₀	LC ₅₀	
啉虫脒 Acetamiprid	y = 0. 138x + 0. 084	1. 091 (0. 795 - 1. 355)	3. 043 (2. 470 - 4. 092)	6. 022
高效氯氰菊酯 Beta - cypermethrin	y = 0. 424x + 0. 262	0. 119 (0. 089 - 0. 150)	1. 214 (0. 251 - 0. 351)	12. 090

2.2 高效氯氰菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂年龄 - 龄期存活率（ s_{xj} ）的影响

两种杀虫剂处理螟黄赤眼蜂后，其年龄 - 龄期存活率如图 1 所示。年龄 - 龄期存活率是指个体从卵发育到年龄 x 龄期 j 的概率，可以描述不同虫态的重叠现象，也可以反映出不同虫态的存活率，更能反映出螟黄赤眼蜂生长发育及其存活的情况。

各处理组与对照组的雌蜂寿命以及存活率都明显高于雄蜂。高效氯氰菊酯处理后，成蜂的寿命明显高于对照组，整体存活率也高于对照；啉虫脒处理组中，成蜂的寿命相对于对照缩短，说明该剂量的啉虫脒对赤眼蜂有一定的杀伤作用。

2.3 高效氯氰菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂特征年龄繁殖力的影响

两种杀虫剂处理螟黄赤眼蜂后，其特征年龄繁殖力如图 2 所示。啉虫脒处理螟黄赤眼蜂后，产卵高峰期相对于对照出现延后，并且产卵高峰值低于对照。高效氯氰菊酯处理螟黄赤眼蜂后，

在 17 d 和 18 d 两个时间间隔内出现产卵高峰，总的繁殖力高于对照。

2.4 对螟黄赤眼蜂成蜂寿命以及单雌产卵量的影响

由表 2 可以看出，赤眼蜂成蜂受到亚致死剂量的两种杀虫剂作用后，成蜂寿命以及单雌产卵量都受到影响。其中，经啉虫脒处理后的成蜂单雌产卵量降低，寿命缩短，而经过高效氯氰菊酯处理后的成蜂单雌产卵量显著高于对照，且成蜂寿命延长。

2.5 对螟黄赤眼蜂种群动态参数的影响

受高效氯氰菊酯和啉虫脒亚致死效应的影响，螟黄赤眼蜂的种群参数变化如表 3 所示。螟黄赤眼蜂经过啉虫脒处理后，种群生命表参数（内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 、净生殖力 R_0 和世代平均历期 T ）均低于对照，其中净生殖力 R_0 （27.573）显著低于对照（ $P < 0.05$ ）。而经过高效氯氰菊酯处理后，种群净生殖力 R_0 显著高于对照。

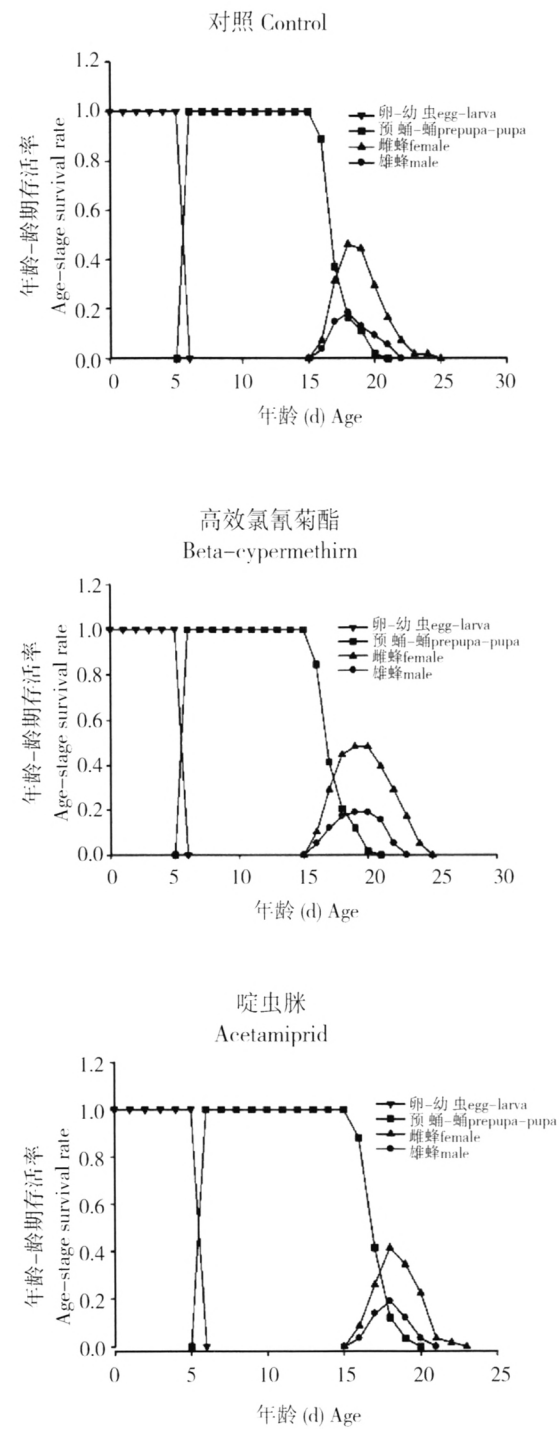


图1 亚致死剂量的啉虫脒和高效氯氟菊酯处理螟黄赤眼蜂后其年龄-龄期存活率 (s_{ij}) 的影响 ($d=12\text{ h}$)

Fig. 1 Age - stage survival rate of *Trichogramma chilonis* exposed to sublethal concentrations (LC_{20}) of acetamiprid and beta - cypermethrin

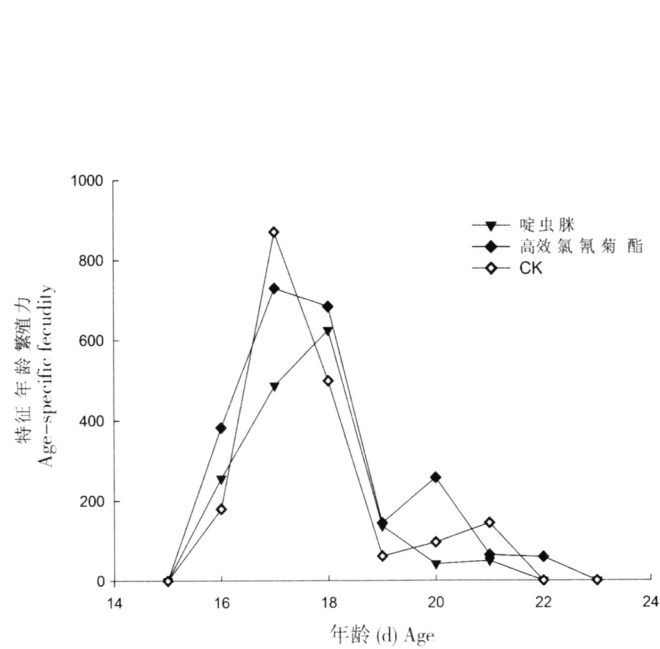


图2 亚致死剂量的啉虫脒和高效氯氟菊酯处理螟黄赤眼蜂后其特征年龄繁殖力 ($d=12\text{ h}$)

Fig. 2 Age - specific fecundity of *Trichogramma chilonis* exposed to sublethal concentrations (LC_{20}) of acetamiprid and beta - cypermethrin

表2 杀虫剂对螟黄赤眼蜂成蜂寿命以及单雌产卵量的影响

Table 2 Sublethal effects of beta - cypermethrin and acetamiprid on the Longevity and fecundity of <i>Trichogramma chilonis</i>		
处理 Treatment	单雌产卵量 (粒) Number of eggs laid per female	成虫寿命 (d) Adult longevity
丙酮 (对照) Acetone (control)	58.43 ± 1.749 b	1.51 ± 0.07 b
啉虫脒 Acetamiprid	48.91 ± 0.904 c	1.17 ± 0.041 c
高效氯氟菊酯 Beta - cypermethrin	66.29 ± 1.192 a	2.21 ± 0.074 a

表 3 亚致死剂量的杀虫剂处理螟黄赤眼蜂后的种群参数

Table 3 Life table parameters of *Trichogramma chilonis* treated by sublethal concentrations of insecticides

处理 Treatment	内禀增长率 (d^{-1}) r_m	周期增长率 Finite rate of increase λ	净生殖力 Net reproduction rate R_0	平均世代周期 (d^{-1}) Mean generation time T
丙酮 (对照) Acetone (control)	0.1901 ± 0.0739 a	1.2094 ± 0.0484 a	34.32 ± 1.976 b	18.56 ± 0.03010 a
啮虫脒 Acetamiprid	0.1789 ± 0.0646 a	1.1959 ± 0.0135 a	27.57 ± 0.438 c	18.50 ± 0.06342 a
高效氯氰菊酯 Beta - cypermethrin	0.1959 ± 0.0604 a	1.2165 ± 0.0776 a	38.88 ± 1.232 a	18.65 ± 0.8114 a

3 结论与讨论

在害虫的综合防治过程中，化学防治和生物防治是两项重要的措施，如何协调好两者的关系，一直是国内外研究的热点。杀虫剂大量应用时，一方面防治了大量的害虫，另一方面可能对当地的天敌昆虫造成一定的影响。近年来，关于杀虫剂对昆虫的亚致死效应逐渐成为国内外研究的热点，在全面评价药剂作用时，应当考虑药剂对天敌昆虫的亚致死效应。

本研究结果表明，啮虫脒在 1.091 mg/L 亚致死浓度下抑制了螟黄赤眼蜂的增殖，表现为显著降低了雌蜂的单雌产卵量，成蜂的寿命也有显著缩短，净生殖力 R_0 相对于对照明显降低。这种亚致死浓度的杀虫剂抑制昆虫增殖的现象在其他研究中均有报道。如：亚致死剂量的多杀菌素降低了小菜蛾雌虫的产卵量 (Yin *et al.*, 2008)；当棉蚜 (Geramis *et al.*, 2005)、褐飞虱 (Bao *et al.*, 2009)、白粉虱 (He *et al.*, 2013) 接触亚致死剂量的吡虫啉后生殖力降低；亚致死剂量的阿维菌素、多杀霉素处理卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae* 后，其成蜂寿命、寄生卵量都出现降低 (王德森等, 2011)。昆虫体内的激素受到亚致死浓度的杀虫剂处理后可能出现失衡，从而对昆虫生殖力造成影响。啮虫脒是一种神经毒性的杀虫剂，其在亚致死剂量下能够引起神经系统的紊乱，从而影响了昆虫激素的调控，最终影响了昆虫的繁殖。

不同的杀虫剂种类以及剂量会对害虫的生殖力产生不同的影响。本研究结果表明，高效氯氰

菊酯在 0.119 mg/L 亚致死浓度下刺激了螟黄赤眼蜂的增殖，表现为雌蜂的单雌产卵量升高，成蜂的寿命也高于对照，净生殖力 R_0 相对于对照明显增大，这种现象在很多研究结果中都有报道。如：用亚致死剂量的氰戊菊酯处理小菜蛾后，小菜蛾的产卵量增加 (Fujiwara *et al.*, 2002)；当桃蚜接触到亚致死剂量的吡虫啉后，刺激了桃蚜的增殖 (Cutler *et al.*, 2009)；亚致死浓度的氰戊菊酯和三唑磷作用到褐飞虱后，其繁殖力能够显著的提高 (Bao *et al.*, 2009)。类似的现象在亚致死剂量的杀虫剂作用到天敌昆虫中也有报道，如：卷蛾分索赤眼蜂受到亚致死浓度的高效氯氰菊酯的作用后，对其寄生能力、繁殖能力都有明显的刺激作用 (王德森等, 2011)。可见，亚致死浓度的杀虫剂能够刺激昆虫的增殖，为协调化学防治和生物防治提供理论依据。

本研究表明啮虫脒和高效氯氰菊酯对螟黄赤眼蜂的生长、发育和生殖力具有不同的影响，但其分子机理目前尚未知，需要下一步进行深入的研究。

参考文献 (References)

Bao HB, Liu SH, Gu JH, *et al.* Sublethal effects of four insecticides on the reproduction and wing formation of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Pest Manag. Sci.*, 2009, 65 (2): 170-174.

Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 1985, 24: 225-240.

Chi H. Life - table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. *Environ. Entomol.*, 1988, 17: 26-34.

- Cutler GC, Astatkie T, *et al.* Green peach aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), reproduction during exposure to sublethal concentrations of imidacloprid and azadirachtin [J]. *Pest Manag. Sci.*, 2009, 65 (2): 205–209.
- Desneux N, Denoyelle R, Kaiser L. A multi-step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp *Aphidius ervi* [J]. *Chemosphere*, 2006, 65 (10): 1697–1706.
- Fyjiwara Y, Takahashi T, Yoshioka T, *et al.* Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs [J]. *Appl. Entomol. Zool.*, 2002, 37 (1): 103–109.
- Gerami S, Jahromi KT, Ashouri A, *et al.* Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the life table parameters of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) [J]. *Comm. Appl. Biol. Sci.*, 2005, 70 (4): 779–785.
- Haynes KF. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior [J]. *Ann. Rev. Entomol.*, 1988, 33 (1): 149–168.
- Han W, Wang LH, Sun HH, *et al.* Research progress on sublethal effects of insecticides on insect [J]. *China Plant Prot.*, 2011, 31 (11): 15–20. [韩文素, 王丽红, 孙姗姗, 等. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应的研究进展 [J]. 中国植保导刊, 2011, 31 (11): 15–20]
- He YX, Zhao JW, Zheng Y, *et al.* Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* [J]. *Int. J. Biol. Sci.*, 2013, 9 (3): 246–255.
- James DG, Price TS. Fecundity in twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid [J]. *J. Econ. Entomol.*, 2002, 95 (4): 729–732.
- Jander R, *et al.* Toxicity of some insecticides used in maize crop on *trichogramma pretiosum* (Hymenoptera, Trichogrammatidae) immature stages [J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2014, 74 (2).
- King EG. Augmentation of parasites and predators for suppression of arthropod pest. In: Lumsden RD, Vaughn JL, eds. *Pest Management: Biologically Based Technologies*, Proceedings of Beltsville Symposium XVIII, USDA – ARS, Beltsville, MD [C]. Washington DC. American Chemical Society, 1993, 2–6.
- Hassan SA. The mass rearing and utilization of *Trichogramma* to control lepidopterous pests: achievements and outlook [J]. *Pestic. Sci.*, 1993, 37 (4): 387–391.
- Shotkoski FA, Mayo ZB, Peters LL. Induced disulfoton resistance in greenbugs (Homoptera: Aphididae) [J]. *Econ. Entomol.*, 1990, 83 (6): 2147–2152.
- Shufan RA, Wilde GE, Sloderbeck PE. Response of three greenbug (Homoptera: Aphididae) strains to five organophosphorous and two carbamate insecticides [J]. *Econ. Entomol.*, 1997, 90 (1): 283–286.
- Wang DS, *et al.* Sublethal effects of eleven insecticides of different categories on reproduction of *Trichogrammatidea bactrae* Nagaraja [J]. *Acta Entomologica Sinica*. 2011, 54 (1): 56–63. [王德森, 等. 11 种不同类型杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的亚致死效应 [J]. 昆虫学报, 2011, 54 (1): 56–63]
- Yin XH, *et al.* Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. *Crop Protection*, 2008, 27: 1385–1391.