



朱文雅, 范睿, 梅文浩, 张烨, 王娟. 氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂寄生功能及主要解毒酶活性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (5): 1233 - 1238. ZHU Wen-Ya, FAN Rui, MEI Wen-Hao, ZHANG Ye, WANG Juan. Effects of sublethal dosage of chlorantraniliprole on function of parasitism and detoxifying enzymes activity in *Trichogramma chilonis* Ishii [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (5): 1233 - 1238.

氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂寄生功能及主要解毒酶活性的影响

朱文雅, 范睿, 梅文浩, 张烨, 王娟*

(山西农业大学植物保护学院, 太原 030031)

摘要: 为了明确氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 寄生功能及主要解毒酶活性的影响, 在实验室条件下观察氯虫苯甲酰胺处理后的螟黄赤眼蜂生长发育和寄生状况, 并使用酶联免疫吸附试验 (ELISA) 测定了解毒酶活性。结果表明经氯虫苯甲酰胺处理后, 螟黄赤眼蜂子代的羽化率从 91.59% 降至 84.49%, 发育历期由 11.19 d 缩短至 9.92 d。螟黄赤眼蜂子代寄生卵数和寄生率均有不同程度的降低, 其中子代寄生率在 26.67%~38.00%。细胞色素 P450 酶活性和谷胱甘肽 S-转移酶的酶活性均显著高于对照, 其中细胞色素 P450 酶活性增加了 19.23%, 谷胱甘肽 S-转移酶活性增加了 33.75%。氯虫苯甲酰胺对细胞色素 P450 和谷胱甘肽转移酶有诱导作用, 这两种解毒酶可能参与螟黄赤眼蜂对氯虫苯甲酰胺的代谢解毒。

关键词: 氯虫苯甲酰胺; 螟黄赤眼蜂; 亚致死剂量; 寄生; 解毒酶

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2024) 05-1233-06

Effects of sublethal dosage of chlorantraniliprole on function of parasitism and detoxifying enzymes activity in *Trichogramma chilonis* Ishii

ZHU Wen-Ya, FAN Rui, MEI Wen-Hao, ZHANG Ye, WANG Juan* (College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to clarify the effects of sublethal dosage of chlorantraniliprole on function of parasitism and detoxifying enzyme activity in *Trichogramma chilonis*, the growth development and parasitism of *T. chilonis* treated with sublethal dosage of chlorantraniliprole were observed and the detoxifying enzymes activity were determined by using ELISA method in the laboratory. The results showed that the emergence rate of offspring decreased from 91.59% to 84.49% and the developmental duration was shortened from 11.19 to 9.92 days. The number of parasitized eggs and parasitism rate decreased to vary degrees, with the parasitism rates were ranging from 26.67% to 38.00%. The activity of P450 and GST in treated *T. chilonis* were significantly higher than control, with an increase of 19.23% and 33.75%, respectively. Chlorantraniliprole had an inducing effect on P450 and GST, which may be involved in the metabolic detoxification of chlorantraniliprole in *T. chilonis*.

Key words: Chlorantraniliprole; *Trichogramma chilonis*; sublethal dosage; parasitism; detoxifying enzyme

氯虫苯甲酰胺属于微毒级农药, 对多种鳞翅目害虫防控效果明显, 对鞘翅目和部分半翅目害虫也有较好的防效, 具有高效性、低残留、持效期长及对环境和人畜安全等特点, 同时对捕食性天敌和寄

基金项目: 国家现代农业 (梨) 产业技术体系资助项目 (CARS-28); 山西省青年科学研究项目 (202103021223133, 20210302124024); 山西农业大学博士科研启动项目 (2021BQ57); 山西省自然科学研究面上项目 (202303021211089)

作者简介: 朱文雅, 女, 1981 年生, 博士, 副研究员, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: zhuwenya1981@126.com

*通讯作者 Author for correspondence: 王娟, 女, 1986 年生, 博士, 讲师, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: wangjuan350@163.com

收稿日期 Received: 2023-09-06; 接受日期 Accepted: 2024-01-04

生天敌表现出低毒且环境生态安全性高等优良特性(刘芳等, 2009)。

赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 是当今国内外人工繁育和田间释放应用最成功的一类卵寄生型天敌。螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 作为一种重要的天敌昆虫资源, 主要是通过田间大量释放来达到防控害虫的目的, 现已被广泛应用于防治农业和林业害虫并取得良好的防治效果(张俊杰等, 2015)。但化学杀虫剂的大量频繁施用, 在杀灭害虫的同时会不可回避地伤害天敌赤眼蜂, 使其对自然生境中靶标害虫的控制能力降低, 进而对生态系统造成负面影响。

近年来, 评价杀虫剂对天敌的亚致死效应已成为研究热点之一, 例如影响天敌的捕食或寄生行为、降低天敌的繁殖能力, 抑制天敌生长发育, 影响天敌群落结构及其多样性等, 对天敌体内解毒酶活性及靶标受体表达量具有诱导作用(徐志英等, 2006; 李锐等, 2014)。噻虫嗪亚致死剂量对多异瓢虫 3 龄幼虫的发育历期、成虫寿命和产卵量有显著影响(Rahmani *et al.*, 2022)。吡虫啉和噻嗪酮亚致死剂量可显著降低螟黄赤眼蜂的寄生力, 其中螟黄赤眼蜂的寄生力随着吡虫啉处理次数的增加而逐步降低(谢连城等, 2021)。噻虫嗪、噻虫啉和烯啶虫胺亚致死剂量可诱导玉米螟赤眼蜂谷胱甘肽 *S*-转移酶、羧酸酯酶活性升高(贺双等, 2017)。尽管氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂的毒力及安全性已有研究, 但有关氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂寄生功能和解毒酶活性的影响尚未见报道。本研究在分析氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂生长发育和寄生状况影响的基础上, 测定了氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂体内主要解毒酶活性的影响, 为深入了解氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂亚致死效应的作用机理及其在田间的合理使用提供理论支持和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

螟黄赤眼蜂于 2019 年 7 月采自山西省运城市盐湖区泓芝驿镇梨园梨小食心虫 *Grapholita molesta* Busck 寄生卵, 经鉴定纯化, 以米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton 卵为寄主, 在温度 25℃、相对

湿度 75%、光周期 15 L : 9 D 的饲养条件下繁育多代并建立稳定的室内饲养种群(刘志诚等, 2000)。米蛾饲养所用饲料, 麦麸占 79%, 豆面、玉米面、白面各占 7%。饲料配制时按饲料与水 100 : 15 的比例加水, 以满足米蛾生长发育对水分的需求。试验前收集新鲜干净的米蛾卵并将其均匀的散布于托盘上, 用紫外灯照射 30 min 以杀死卵内胚胎, 供螟黄赤眼蜂寄生(袁曦等, 2013)。

1.2 供试试剂

氯虫苯甲酰胺(纯度 97.8%)购自上海安谱实验科技股份有限公司, 为分析纯标准品。昆虫细胞色素 P450 酶、谷胱甘肽 *S*-转移酶、羧酸酯酶酶联免疫分析(ELISA)试剂盒均购自上海生工生物工程股份有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

1.3 试验方法

1.3.1 雌蜂比、羽化率、发育历期测定

在明确杀虫剂浓度范围的基础上(毒力测定工作已预先完成, 结果另文发表)(朱文雅等, 2021), 用丙酮将氯虫苯甲酰胺稀释至亚致死浓度(1.68 mg/mL)。使用移液枪吸取 0.5 mL 氯虫苯甲酰胺沿管壁缓慢加入指形管(内壁面积 54.6 cm²), 匀速旋转指形管, 氯虫苯甲酰胺均匀地分布在指形管内壁以形成药膜(王彦化等, 2012)。待药液全部挥发后, 在每支指形管中引入羽化 6 h 的赤眼蜂成蜂 200±10 头, 饲喂 10% 蜂蜜水。用黑布封紧管口, 置于人工气候箱(温度 25℃±1℃、相对湿度 75%±5%、光周期 15 L : 9 D)中培养 8 h 后, 挑取存活单头雌蜂分别引入提前放置 3 cm×2 cm 卵卡(200 粒米蛾卵)的指形管中, 4 h 后去除母蜂, 并将卵卡置于人工气候箱中, 重复 4 次, 以丙酮处理作为对照。待子蜂全部羽化后, 记录子蜂的发育历期, 并在体视显微镜下统计出蜂卵数、子蜂数和雌雄数。

1.3.2 氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂寄生功能影响的测定

将灭活后的米蛾卵按照不同密度梯度均匀撒在涂有白乳胶的卡纸上(米蛾卵密度梯度: 5、10、20、40、60、80、100、120 粒/卡), 各卵粒间无堆砌和重叠, 待其晾干后将其分别放入指形管内。挑取氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理 8 h 后的螟黄赤眼蜂单头雌蜂引入指形管中, 并喂以 15% 蜂蜜水, 后用黑布进行密封, 丙酮处理组为对照。以一个米蛾

卵密度作为一个处理，共 8 个处理，每个处理进行 4 次重复，在人工气候箱内（25℃±1℃、RH 75%±5%、光周期 15 L : 9 D）培养。持续观察寄生卵的颜色变化，记录黑色寄生卵的数目，统计每个处理的寄生卵数及寄生率。

1.3.3 氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂解毒酶活性影响的测定

使用酶联免疫吸附试验（ELISA）测定解毒酶活性。螟黄赤眼蜂经试验方法 1.3.1 处理后用黑布封紧管口后，置于人工气候箱内（25℃±1℃、RH 75%±5%、光周期 15 L : 9 D）条件下培养 8 h 后收集存活的成蜂 100±10 头。用液氮速冻后放入-80℃冰箱保存备用。取待试处理于匀浆器内，分别加入 1.2 mL 预冷的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液（pH7.4），用匀浆器将标本充分匀浆。匀浆液于 4℃、10 000 g 离心 10 min 后，将上清液转移至新的离心管中，取上清液放在冰上作为酶液备用。根据说明书，将获得的上清液用于细胞色素 P450（CYP450）、羧酸酯酶（CarE）和谷胱甘肽 S-转移酶（GST）酶活性测定。将 10 μL 的样品与 100 μL 辣根过氧化物酶（HRP）偶联试剂在 96 孔板上 37℃反应 60 min。每孔加 100 μL 显色剂溶液（试剂 A:试剂 B=1:1），37℃反应 15 min，加停止液 50 μL 终止反应。以空白孔调零，在 450 nm 波长处依序测量各孔的吸光度（RT-6100，Rayto）。

1.4 数据统计与分析

所有试验数据均由 SPSS 16.0 统计软件进行处理，对不同处理间的寄生卵数、寄生率和不同解毒酶活性，采用 SPSS 软件进行单因素方差分析（ANOVA）及 Duncan 法进行多重比较，统计数据用平均值±标准差（mean±SD）表示，*P*<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂生长发育的影响

氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂子代雌蜂比无显著影响，而对子代发育历期和子代羽化率有显著影响。螟黄赤眼蜂经氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理后，子代的羽化率从 91.59%降至 84.49%，而子代发育历期由 11.19 d 缩短至 9.92 d（表 1）。

表 1 氯虫苯甲酰胺对子代的雌蜂比、羽化率和发育历期的影响

Table 1 Effects of chlorantraniliprole on offspring female ratio, offspring emergence rate and developmental duration of *Trichogramma chilonis*

处理 Treatment	雌蜂比（%） Female ratio	羽化率（%） Emergence rate	发育历期（d） Developmental duration
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	84.25 ± 4.22	84.49 ± 2.62*	9.92 ± 0.03*
对照 Control	85.02 ± 3.29	91.59 ± 2.44	11.19 ± 0.09

注：*代表同列数据在 0.05 水平差异显著，下同。Note: * referred to the different significance with control in the same column at 0.05 level. The same as follows.

2.2 氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂寄生功能的影响

氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理螟黄赤眼蜂后，对螟黄赤眼蜂子代寄生卵数和寄生率有一定的影响。氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理后的螟黄赤眼蜂在不同米蛾卵密度条件下的寄生情况表明，当寄主卵密度较低时，赤眼蜂对寄主卵的寄生数随着寄主卵密度的增大而增多；当寄主卵的密度达一定值后，赤眼蜂对寄主卵的寄生数随寄主卵密度的增大逐渐减少，寄生率也相对降低（表 2，表 3）。当氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理螟黄赤眼蜂后，螟黄赤眼蜂的子代寄生率在 26.67%~38.00%，均低于对照组。在卵卡密度为 10、20、60、80、100 粒时，氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂的寄生率影响尤其显著。尤其在卵密度为 20 粒时寄生率由对照组的 73.33%降至处理组的 31.67%，降低了 41.66%，差异极显著；卵密度为 120 粒时，对照组和处理组寄生率都显著降低。

2.3 氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂解毒酶活性的影响

氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理螟黄赤眼蜂后，螟黄赤眼蜂体内的羧酸酯酶酶活性与对照无显著差异，而细胞色素 P450 酶活性和谷胱甘肽 S-转移酶酶活性均显著高于对照，其中细胞色素 P450 酶活性增加了 19.23%，尤其是谷胱甘肽 S-转移酶活性与对照相比增加了 33.75%（图 1）。表明螟黄赤眼蜂体内的细胞色素 P450 酶和谷胱甘肽 S-转移酶可能参与了氯虫苯甲酰胺的代谢解毒。

表 2 氯虫苯甲酰胺对子代螟黄赤眼蜂寄生卵数的影响

Table 2 Effects of chlorantraniliprole on the number of offspring eggs parasitized in *Trichogramma chilonis*

处理 Treatment	米蛾卵密度（粒）Host egg density							
	5	10	20	40	60	80	100	120
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	2.00 ± 0.57	3.33 ± 0.33*	6.33 ± 0.88*	13.30 ± 0.66	16.00 ± 2.00*	22.66 ± 1.76*	38.00 ± 3.51*	26.00 ± 3.60*
对照 Control	3.00 ± 0.57	6.66 ± 0.66	14.66 ± 2.33	14.33 ± 2.66	38.00 ± 3.75	41.33 ± 9.68	54.60 ± 5.23	45.66 ± 2.90

表 3 氯虫苯甲酰胺对子代螟黄赤眼蜂寄生率的影响

Table 3 Effects of chlorantraniliprole on offspring parasitism rate of *Trichogramma chilonis*

处理 Treatment	米蛾卵密度（粒）Host egg density							
	5	10	20	40	60	80	100	120
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	33.33 ± 11.55	33.33 ± 6.67*	31.67 ± 3.83*	37.50 ± 5.20	26.67 ± 3.33*	28.33 ± 2.20*	38.00 ± 3.51*	30.00 ± 5.46
对照 Control	60.00 ± 17.64	66.67 ± 3.33	73.33 ± 6.72	35.83 ± 6.67	63.33 ± 6.31	51.67 ± 12.10	54.67 ± 5.24	38.06 ± 2.42

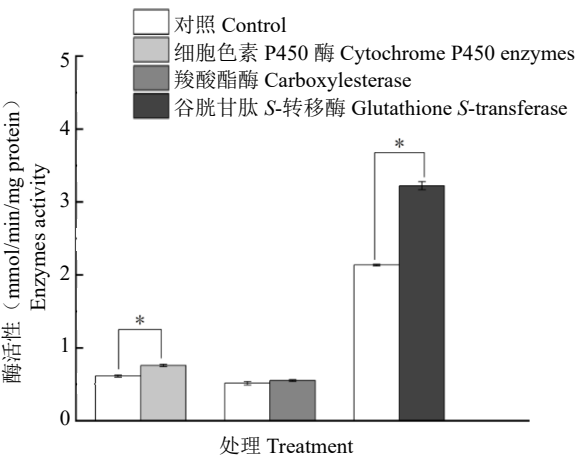


图 1 氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂主要解毒酶活性的影响
Fig. 1 Effects of chlorantraniliprole on detoxifying enzymes activity of *Trichogramma chilonis*

3 结论与讨论

螟黄赤眼蜂是害虫生物防治中应用较为广泛的卵寄生性天敌，在防治多种农业害虫上发挥了重要作用。生物防治与化学防治的协调使用，最大程度地减少杀虫剂对赤眼蜂的损伤，充分发挥赤眼蜂在害虫防治中的作用是生产上迫切解决的关键问题。明确赤眼蜂对杀虫剂的毒性及解毒机理，对指导田间科学用药、保护天敌具有重要意义。

杀虫剂对赤眼蜂的影响，除对赤眼蜂具有直接致死的作用外，还可以通过其他多个方面即亚致死效应展现出来。杀虫剂虽不会导致赤眼蜂成蜂和处于寄主卵内不同发育阶段（卵期、幼虫期、预蛹期、蛹期）的赤眼蜂立即死亡，但是杀虫剂的慢性毒性会对赤眼蜂的生殖力、发育历期、子代的存活时间、寄生率和羽化率等均产生不利影响（Suh *et al.*, 2000）。本研究发现氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂的生长发育和寄生能力均有不同程度的影响，螟黄赤眼蜂子蜂发育历期明显缩短，子代寄生卵数减少，寄生率显著降低。杀虫剂可以抑制赤眼蜂寄生能力也有很多相关报道，例如王坤等（2014）发现啉虫脒处理螟黄赤眼蜂后雌蜂的寿命显著缩短，产卵量也明显降低。欧善生等（2012）报道了棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 经氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理后，成虫期比对照组有一定程度的缩短。王瑜等（2022）研究发现不同类型的杀菌剂和杀虫剂对玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* Pang et Chen 的寄生能力、死亡率和羽化率均产生显著影响。其中，阿维菌素和吡虫啉毒性较大，残留时间也较长，对玉米螟赤眼蜂寄生能力影响较大；高效氯氰菊酯对玉米螟赤眼蜂子代羽化率影响最大，子代羽化率远低于对照组。本研究与前

述研究结果一致,发现氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理螟黄赤眼蜂后,子代寄生卵数减少,寄生率显著降低,证明氯虫苯甲酰胺亚致死剂量可以显著抑制螟黄赤眼蜂的寄生能力。本研究还发现,在不同米蛾卵密度条件下,当寄主卵密度较低时,赤眼蜂对寄主卵的寄生数随着寄主卵密度的增大而增多;当寄主卵的密度达 100 粒后,赤眼蜂对寄主卵的寄生数随寄主卵密度的增大逐渐减少。该现象在玉米螟赤眼蜂上也得到证实,张烨等(2015)认为单头玉米螟赤眼蜂的寄生能力并不能随着寄主卵密度增大呈同等倍数的增加,其寄主密度阈值为 90 粒/管。

本研究发现氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理螟黄赤眼蜂后,螟黄赤眼蜂体内的细胞色素 P450 酶活性和谷胱甘肽 S-转移酶酶活性均显著高于对照。由此推测螟黄赤眼蜂体内的细胞色素 P450 酶和谷胱甘肽 S-转移酶可能参与了螟黄赤眼蜂对氯虫苯甲酰胺的代谢解毒。赤眼蜂对杀虫剂的敏感性与杀虫剂的理化性质、化学结构及发生作用时的靶标部位密切相关,也有可能是涉及细胞色素 P450 多功能氧化酶系(Cytochrome P450 enzymes, P450)、谷胱甘肽 S-转移酶(Glutathione S-transferase, GST)及羧酸酯酶(Carboxylesterase, CarE) 3 种解毒酶活力增强导致的代谢抗性(阴琨等, 2008; 邱星辉, 2014; 陈澄宇等, 2016; 伍一军, 2020)。细胞色素 P450 酶和谷胱甘肽 S-转移酶已被广泛证实参与氯虫苯甲酰胺、毒死蜱和西维因等杀虫剂的代谢。抗虫威的小菜蛾 *Plutella xylostella* Linnaeus 体内谷胱甘肽 S-转移酶和细胞色素 P450 酶活性升高与其抗性密切相关(Zhang *et al.*, 2017)。谷胱甘肽 S-转移酶活性增加是我国西北地区的苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* Linne 种群对毒死蜱和西维因不敏感的主要原因(Yang *et al.*, 2015)。陈羿渠等(2017)发现,与敏感品系相比,甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 氯虫苯甲酰胺抗性品系的谷胱甘肽 S-转移酶和细胞色素 P450 酶活性显著升高;且用氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理抗性品系后,3 种关键解毒酶活性均不同程度增加,其中细胞色素 P450 酶活性增长倍数最高。此外,氯虫苯甲酰胺影响家蚕 *Bombyx mori* Linnaeus 体内解毒酶活性及相关基因的表达,导致谷胱甘肽 S-转移酶和细胞色素 P450 酶活性升高(Mao *et al.*, 2019)。氯虫苯甲酰胺对不同昆虫解毒酶的诱导作用不同,在本研究中发现

氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理螟黄赤眼蜂后,谷胱甘肽 S-转移酶和细胞色素 P450 酶活性均显著高于对照,其中细胞色素 P450 酶活性增加了 19.23%,谷胱甘肽 S-转移酶活性与对照相比增加了 33.75%。我们之前通过对氯虫苯甲酰胺处理螟黄赤眼蜂后的转录组分析,确定了参与代谢氯虫苯甲酰胺的细胞色素 P450 和谷胱甘肽 S-转移酶差异表达基因(Zhu *et al.*, 2022)。本研究和之前的研究结果一致证明,细胞色素 P450 酶和谷胱甘肽 S-转移酶是参与螟黄赤眼蜂代谢氯虫苯甲酰胺的重要解毒酶。

在选择化学杀虫剂防治病虫害时应注意对天敌赤眼蜂的影响,尽量减轻杀虫剂对天敌昆虫的伤害。本研究明确了氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对螟黄赤眼蜂的寄生能力以及主要解毒酶的影响,关于螟黄赤眼蜂对氯虫苯甲酰胺的解毒机理还有待深入探究。

参考文献 (References)

- Chen CY, Shi XY, Gao XW. Mechanism of insect metabolic resistance to pyrethroid insecticides [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2016, 18 (5): 545-555. [陈澄宇, 史雪岩, 高希武. 昆虫对拟除虫菊酯类杀虫剂的代谢抗性机制研究进展 [J]. 农药学报, 2016, 18 (5): 545-555]
- Chen YQ, Xiang X, Gong CW, *et al.* Effects of sublethal doses of chlorantraniliprole on the detoxification enzymes activities and the growth and reproduction of *Spodoptera exigua* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (8): 1440-1451. [陈羿渠, 向兴, 贡贵委, 等. 氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对甜菜夜蛾主要解毒酶活性与生长繁殖的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (8): 1440-1451]
- He S. The Risk Assessment of Neonicotinoids to Natural Enemy *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [D]. Shihezi: Shihezi University, 2017. [贺双. 新烟碱类杀虫剂对玉米螟赤眼蜂的安全性评价 [D]. 石河子: 石河子大学, 2017]
- Li R, Li N, Liu J, *et al.* The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (10): 2629-2637. [李锐, 李娜, 刘佳, 等. 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 [J]. 生态学报, 2014, 34 (10): 2629-2637]
- Liu F, Xi BG, Bao SW, *et al.* Control effectiveness of chlorantraniliprole on *Cnaphalocrocis medinalis* and evaluation of its safety to beneficial arthropods in the rice fields [J]. *Plant Protection*, 2009, 35 (5): 139-144. [刘芳, 奚本贵, 包善微, 等. 氯虫苯甲酰胺对稻纵卷叶螟的防效及对稻田有益节肢动物的安全性评价 [J]. 植物保护, 2009, 35 (5): 139-144]
- Liu ZC, Liu JF, Zhang F, *et al.* Technology of *Trichogramma* Reproduction and Field Application [M]. Beijing: Jindun Publishing House, 2000: 61-64. [刘志诚, 刘建峰, 张帆, 等. 赤眼蜂繁殖及田间应用技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2000: 61-64]
- Mao TT, Li FC, Fang YL, *et al.* Effects of chlorantraniliprole exposure on detoxification enzyme activities and detoxification-related gene expression in the fat body of the silkworm, *Bombyx mori* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 176: 58-63.
- Ou SS, Liang P, Song DL, *et al.* Effects of sublethal dosage of chlorantraniliprole on development and detoxifying enzymes activity of *Helicoverpa armigera* [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (4): 1-8. [欧善生,

- 梁沛, 宋敦伦, 等. 氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对棉铃虫生长发育和解毒酶活性的影响 [J]. 植物保护, 2012, 38 (4): 1-8]
- Qiu XH. Molecular mechanisms of insecticide resistance mediated by cytochrome P450s in insects [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (4): 477-482. [邱星辉. 细胞色素P450介导的昆虫抗药性的分子机制 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (4): 477-482]
- Rahmani S, Bandani AR. Sublethal concentrations of thiamethoxam adversely affect life table parameters of the aphid predator, *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera:Coccinellidae) [J]. *Crop Protection*, 2013, 54 (12): 168-175.
- Suh CP, Orr DB, van Duyn JW. Effects of insecticides on *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) preimaginal development and adult survival [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2000, 93 (3): 577-583.
- Wang K, Wang S, Song LF, et al. Sublethal effects of acetamiprid and beta-cypermethrin on reproduction of *Trichogramma chilonis* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (6): 933-938. [王坤, 王甦, 宋丽芳, 等. 高效氯氟菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 933-938]
- Wang Y, Dai XY, Wang RJ, et al. Effects of residues of pesticides commonly used in corn fields on *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) at different time after application [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 65 (7): 852-865. [王瑜, 代晓彦, 王瑞娟, 等. 施药后不同时间玉米田中常用农药残留对玉米螟赤眼蜂的影响 [J]. 昆虫学报, 2022, 65 (7): 852-865]
- Wang YH, Yu RX, Zhao XP, et al. Acute toxicity and safety evaluation of neonicotinoid and macrolides lactions to adult wasps of four *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (1): 36-45. [王彦化, 俞瑞鲜, 赵学平, 等. 新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对四种赤眼蜂成蜂急性毒性和安全性评价 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (1): 36-45]
- Wu YJ. Advances in insecticide toxicology in Chinain the last two decades (I): Insecticide toxicity and environmental safety [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (4): 767-780. [伍一军. 近二十年我国杀虫剂毒理学研究进展(I)—杀虫剂的毒性与环境安全性研究 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (4): 767-780]
- Xie LC, Tian JC, Lu YH, et al. Effects of sublethal doses of rice planthoppers-target insecticides on two *Trichogramma* wasps [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (5): 920-926. [谢连城, 田俊策, 鲁艳辉, 等. 稻飞虱靶标杀虫剂亚致死剂量多代处理对两种赤眼蜂的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (5): 920-926]
- Xu ZY, Liu F, Song Y, et al. Effects of buprofezin and imidacloprid on parasitism of *Anagrus nilaparvatae* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43 (6): 789-793. [徐志英, 刘芳, 宋英, 等. 扑虱灵和吡虫啉对稻虱缨小蜂寄生率的影响 [J]. 昆虫知识, 2006, 43 (6): 789-793]
- Yang XQ, Zhang YL. Investigation of insecticide-resistance status of *Cydia pomonella* in Chinese populations [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2015, 105 (3): 316-325.
- Yin K, Ma EB, Xue CR, et al. Insecticidal activities of 5-aminolevulinic acid on *Oxya chinensis* and effect on three kinds of enzymes [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (7): 2003-2007. [阴琨, 马恩波, 薛春荣, 等. 5-氨基乙酰丙酸对中华稻蝗 (*Oxya chinensis*) 的杀虫活性及对3种酶活性的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41 (7): 2003-2007]
- Yuan X, Wang ZY, Feng XX, et al. Evaluation on the effect of low temperature refrigeration of *Corcyra cephalonica* eggs on *Trichogramma* fecundity and parasite efficiency of *Ostrinia furnacalis* life table [J]. *Journal of Environment Entomology*, 2013, 35 (6): 792-798. [袁曦, 王振营, 冯新霞, 等. 利用生命表评价低温冷藏米蛾卵对繁育螟黄赤眼蜂及寄生亚洲玉米螟效果的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (6): 792-798]
- Zhang JJ, Ruan CC, Zang LS, et al. Technological improvements for mass production of *Trichogramma* and current status of their applications for biological control on agricultural pests in China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (5): 638-646. [张俊杰, 阮长春, 臧连生, 等. 我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (5): 638-646]
- Zhang SZ, Zhang XL, Shen J, et al. Cross-resistance and biochemical mechanisms of resistance to indoxacarb in the diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2017, 140: 85-89.
- Zhang Y, Lian ML, Li T, et al. Effect of host density on parasitism and reproduction in *Trichogramma ostrinae* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43 (15): 124-126. [张烨, 连梅力, 李唐, 等. 寄主密度对玉米螟赤眼蜂寄生及繁衍能力的影响 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (15): 124-126]
- Zhu WY, Wang J, Zhang Y. The mechanism of chlorantraniliprole resistance and detoxification in *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. *Journal of Insect Science*, 2022, 22 (4): 7.
- Zhu WY, Zhang Y, Li T. Safety of five insecticides to different developmental stages of *Trichogramma chilonis* Ishii [J]. *Agrochemicals*, 2021, 60 (4): 272-276. [朱文雅, 张烨, 李唐. 5种杀虫剂对不同发育阶段螟黄赤眼蜂的安全性评价 [J]. 农药, 2021, 60 (4): 272-276]