



郭梦然, 黄玉翠, 冯雪莹, 高占林, 徐海云, 李耀发. 三种杀虫剂对烟粉虱优势寄生蜂海氏桨角蚜小蜂的安全性评价 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 745-751.

三种杀虫剂对烟粉虱优势寄生蜂海氏桨角蚜小蜂的安全性评价

郭梦然¹, 黄玉翠¹, 冯雪莹¹, 高占林², 徐海云^{1*}, 李耀发^{2*}

(1. 河北大学生命科学学院, 河北保定 071002; 2. 河北省农林科学院植物保护研究所/河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心/农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 河北保定 071000)

摘要: 为评价噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈对烟粉虱优势寄生蜂海氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* 的安全性, 采用琼脂保湿浸叶法分别测定了3种杀虫剂对烟粉虱成虫和海氏桨角蚜小蜂成蜂的室内毒力以及对海氏桨角蚜小蜂蛹羽化率的影响。结果表明, 噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈对烟粉虱的 LC_{50} 分别为 453.76 mg/L、2.00 mg/L 和 29.47 mg/L, 对海氏桨角蚜小蜂成蜂的 LC_{50} 分别为 0.23 mg/L、1.07 mg/L 和 0.64 mg/L。通过风险系数评估, 表明阿维菌素对海氏桨角蚜小蜂成蜂安全, 而噻虫嗪和氟啶虫胺腈对该蜂成蜂具有轻微到中度毒性。3种杀虫剂在烟粉虱和寄生蜂之间的选择性毒力指数表明噻虫嗪对海氏桨角蚜小蜂的负向选择性最强, 其次是氟啶虫胺腈, 阿维菌素最弱。3种杀虫剂均可显著降低海氏桨角蚜小蜂蛹的羽化率, 对蛹的毒性为轻微有害, 风险等级为2级。本研究结果将为烟粉虱综合治理中协调使用寄生蜂和化学药剂奠定理论基础。

关键词: 烟粉虱; 海氏桨角蚜小蜂; 杀虫剂; 安全性评价

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 03-0745-07

Safety evaluation of three insecticides on *Eretmocerus hayati*, a dominant parasitoid of *Bemisia tabaci*

GUO Meng-Ran¹, HUANG Yu-Cui¹, FENG Xue-Ying¹, GAO Zhan-Lin², XU Hai-Yun^{1*}, LI Yao-Fa^{2*}

(1. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, Hebei Province, China; 2. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/IPM Center of Hebei Province/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: To evaluate the safety of three insecticides (thiamethoxam, abamectin and sulfoxaflor) on *Eretmocerus hayati*, a dominant parasitoid of *Bemisia tabaci*, the toxicity of three insecticides against *B. tabaci* and *Er. hayati* were determined by leaf dipping method. The LC_{50} of thiamethoxam, abamectin, sulfoxaflor to *B. tabaci* were 453.76 mg/L, 2.00 mg/L and 29.47 mg/L, and to *Er. hayati* were 0.23 mg/L, 1.07 mg/L and 0.64 mg/L, respectively. According to the risk quotient analysis, abamectin was safe to the adults of *Er. hayati*, while thiamethoxam and sulfoxaflor were slightly to moderately toxic to the adults of *Er. hayati*. The selectivity toxicity ratio of the three insecticides between *B. tabaci* and *Er.*

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (31601694); 河北省农林科学院创新工程项目 (1-01-03); 河北大学研究生创新资助项目 (hbu2019ss025/hbu2020ss035)

作者简介: 郭梦然, 女, 硕士研究生, 研究方向为入侵昆虫的生物防治, E-mail: 1373544421@qq.com

* 共同通讯作者 Author for correspondence: 徐海云, 女, 博士, 副教授, 从事入侵生态学与生物防治研究, E-mail: xuhaiyun2013@126.com; 李耀发, 男, 博士, 副研究员, 从事昆虫毒理及害虫抗性治理研究, E-mail: liyaofa@126.com

收稿日期 Received: 2020-04-18; 接受日期 Accepted: 2020-05-18

hayati showed that the negative selectivity of thiamethoxam was the highest, followed by sulfoxaflor and abamectin. All three insecticides could significantly reduce the emergence rate of the pupae of *Er. hayati*, and they were slightly harmful (class 2) to the pupae of *Er. hayati*. Our results provide new insight in how to coordinate parasitoids and insecticides in IPM system of *B. tabaci*.

Key words: *Bemisia tabaci*; *Eretmocerus hayati*; insecticide; safety evaluation

烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 是一种世界性农业害虫 (万方浩等, 2005), 目前分布于除南极洲以外的 100 多个国家和地区 (De Barro *et al.*, 2011), 严重危害棉花、烟草、番茄等农作物的安全生产 (刘银泉和刘树生, 2012)。烟粉虱不仅可以直接刺吸植株汁液, 还可分泌蜜露诱发植物煤污病, 影响植物光合作用, 降低植物产品品质。除此之外, 烟粉虱还被认为是植物病毒的“超级载体” (Gilbertson *et al.*, 2011), 可以在不同植物间传播 300 多种植物病毒 (Jones, 2003; Navas-Castillo *et al.*, 2011; Lu *et al.*, 2019), 对农业生产造成巨大的经济损失 (Hussain *et al.*, 2019; 高敏丽和张华, 2019)。

目前, 农业生产中对烟粉虱的防治还主要依赖于化学药剂。其中, 噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈是比较典型且应用较广的 3 种药剂, 它们在烟粉虱的防治中均发挥着非常重要的作用。然而, 不可避免地, 这些化学药剂的使用不仅使烟粉虱产生了严重的抗药性, 也带来了不容忽视的生态和环境安全问题, 其中之一就是对非靶标生物产生毒性 (Berny, 2007), 特别是对一些天敌昆虫的安全产生了威胁。这样不仅降低了农业生态系统中生物的多样性, 还使天敌昆虫对害虫种群的控制失去作用 (Geiger *et al.*, 2010)。因此, 评价杀虫剂对天敌昆虫的安全性对于害虫的综合治理有着重要的现实意义。

海氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* Zolnerowich and Rose 是烟粉虱的优势寄生蜂, 起源于巴基斯坦。美国和澳大利亚相继引进该蜂进行烟粉虱的生物防治, 均取得了很好的效果 (Goolsby *et al.*, 2005; De Barro *et al.*, 2009)。我国于 2008 年从美国引进该蜂, 研究发现海氏桨角蚜小蜂可以取食和寄生 4 龄末期以外的所有龄期的烟粉虱若虫 (Yang & Wan, 2011), 能够显著降低烟粉虱种群数量, 在我国具有非常广阔的应用前景 (Xu *et al.*, 2015, 2018)。然而, 目前有关杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂的安全性的研究较少, 如何将该蜂高效地应用于烟粉虱的综合治理之中, 尚缺乏有

效依据。

基于上述背景, 本研究评价了噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈 3 种常用烟粉虱杀虫剂对烟粉虱优势寄生蜂海氏桨角蚜小蜂的安全性, 以期对烟粉虱综合治理中如何协调使用寄生蜂和化学药剂提供理论基础。

1 材料方法

1.1 试虫

烟粉虱于 2015 年 8 月采自温室内番茄上, 经线粒体 DNA 细胞色素氧化酶 I 基因 (mtCO I) 测序鉴定为 Q 型烟粉虱, 在不接触任何药剂的情况下, 以棉花 (鲁研棉 20) 为寄主植物长期饲养于河北大学养虫室内。

海氏桨角蚜小蜂由中国农业科学院提供, 以棉花植株定殖的 Q 型烟粉虱作为寄主在恒温养虫室内进行饲养。恒温养虫室中培养条件为: 温度 $26 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 60% ~ 70%、光周期 14 L: 10 D。

1.2 供试药剂

99.1% 噻虫嗪原药 (先正达南通作物保护有限公司); 96.6% 阿维菌素原药 (河北威远生物化工股份有限公司); 90.0% 氟啶虫胺腈原药 (河北威远生物化工股份有限公司)。根据 3 种药剂常用剂型和田间常用用水量计算出 3 种药剂的田间最大推荐使用浓度分别为: 噻虫嗪 56.25 g/ha、阿维菌素 10.8 g/ha 和氟啶虫胺腈 97.5 g/ha。将各供试原药用丙酮溶解后, 配制成一定浓度的母液 (2 d 内使用, 储存于 4°C 下)。试验过程中所用对照试剂为 0.1% 吐温 80 水溶液。

1.3 三种杀虫剂对烟粉虱成虫的室内毒力测定方法

采用琼脂保湿浸叶法 (张秀霞等, 2019) 测定 3 种杀虫剂对烟粉虱成虫的毒力。在预试验的基础上, 用 0.1% 吐温 80 水溶液将各药剂母液按等比稀释成 5 ~ 7 个浓度梯度溶液备用, 以 0.1% 吐温 80 水溶液为空白对照。将棉花叶片剪成直径约 5 cm 的圆形叶片, 每片叶片浸在待测药液中

20 s 后取出, 室温下自然晾干后, 将叶片背面朝上平铺于含有 1% 水琼脂培养基的培养皿 ($d = 5 \text{ cm}$) 中, 保证棉花叶片与琼脂及培养皿壁紧密贴合。每只培养皿中接入 20 头烟粉虱 (雌雄混合), 用双层保鲜膜密封, 并用昆虫针在保鲜膜上均匀打孔以保证培养皿内外空气的流通。每个处理重复 5 次。24 h 后记录死亡和存活烟粉虱数量。轻轻弹动培养皿壁, 烟粉虱成虫不动者即视为死亡。

1.4 三种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂成蜂的毒力测定方法

参照 1.3 方法, 制作培养皿叶碟和浸药剂处理。每个培养皿叶碟内接入 20 头海氏桨角蚜小蜂 (10 头雌蜂和 10 头雄蜂), 用双层保鲜膜密封, 并用昆虫针在保鲜膜上均匀打孔以保证培养皿内外空气的流通。每个处理重复 5 次。24 h 后记录死亡和存活的海氏桨角蚜小蜂的数量。

1.5 三种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂蛹的毒力测定方法

采用琼脂保湿浸叶法测定 3 种杀虫剂田间最大推荐浓度对海氏桨角蚜小蜂蛹羽化率的影响。将带有海氏桨角蚜小蜂蛹 (产卵后 13 d) 的棉花叶片摘下, 浸在各待测药液中 20 s 后取出, 室温下自然晾干, 随后背面朝上平铺于含有 1% 水琼脂培养基的培养皿 ($d = 5 \text{ cm}$) 中, 保证棉花叶片与琼脂及培养皿壁紧密贴合。每片叶片只保留 30 头蛹, 多余蛹用昆虫针轻轻挑除, 养虫室内继续培养 10 d (自然状态下, 海氏桨角蚜小蜂的蛹期为 7~10 d)。每日观察海氏桨角蚜小蜂蛹的羽化情况, 记录最终羽化数, 10 d 后未羽化的蛹即视为死亡。每个处理重复 5 次。

1.6 数据统计与分析方法

空白对照试虫死亡率 < 10%, 数据视为有效。采用 DPSv 6.55 软件, 计算杀虫剂对烟粉虱成虫及海氏桨角蚜小蜂成蜂的 24 h 毒力回归方程、致死中浓度 LC_{50} 及 95% 置信区间。对海氏桨角蚜小蜂蛹羽化率进行单因素方差分析, 采用 Turkey 法进行多重比较, 显著水平为 $P < 0.05$ 。

1.6.1 评价指标

根据所得数据, 计算下列指标:

①选择性毒力指数 (Selectivity Toxicity Ratio, STR)

$$\text{选择性毒力指数 (STR)} = \frac{\text{天敌 } LC_{50}}{\text{害虫 } LC_{50}}$$

当选择性毒力指数 $STR < 1$ 时, 表明该药剂在寄生蜂和烟粉虱之间具有负向选择性; 当 $STR = 1$ 时, 表明该药剂在寄生蜂和烟粉虱之间没有明显的选择性; 当 $1 < STR \leq 10$ 时, 表明该药剂在寄生蜂和烟粉虱之间有正向选择性; 当 $10 < STR \leq 100$ 时, 表明该药剂在寄生蜂和烟粉虱之间有中度正向选择性; 当 $100 < STR \leq 1000$ 时, 表明该药剂在寄生蜂和烟粉虱之间具有高度正向选择性; 当 $STR > 1000$ 时, 表明该药剂在寄生蜂和烟粉虱之间具有强烈正向选择性 (李一玉等, 2014)。

②风险系数 (Risk Quotient, RQ)

$$\text{风险系数 (RQ)} = \frac{\text{田间推荐剂量 (g a. i. /ha)}}{\text{寄生蜂 } LC_{50} \text{ (mg a. i. /L)}}$$

当 $RQ < 50$ 时, 说明化学药剂对天敌安全; $50 \leq RQ \leq 2500$, 说明化学药剂对天敌具有轻微到中度毒性; $RQ > 2500$, 说明化学药剂对天敌具有高毒性 (Hassan *et al.*, 1998)。

③寄生蜂蛹羽化率减少率 (Percent Reduction in Emergence, PE)

$$\text{羽化率减少率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{处理组羽化率}}{\text{对照组羽化率}}\right) \times 100$$

根据国际生物防治组织 (IOBC) 标准, 将杀虫剂对寄生蜂的影响划分为 4 个等级: $PE < 30\%$ 为等级 1, 无害; $30\% \leq PE < 80\%$ 为等级 2, 轻微有害; $80\% \leq PE \leq 99\%$ 为等级 3, 中度有害; $PE > 99\%$ 为等级 4, 极度有害 (Hassan *et al.*, 1992)。

2 结果与分析

2.1 三种杀虫剂对烟粉虱成虫的毒力

噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺胍对烟粉虱成虫的 24 h 毒力结果见表 1。阿维菌素对烟粉虱成虫的毒力最高, 其 LC_{50} 仅为 2.00 mg/L; 其次是氟啶虫胺胍, 其 LC_{50} 仅为 29.47 mg/L; 3 种杀虫剂中, 噻虫嗪对烟粉虱成虫的毒力最低, 其 LC_{50} 为 453.76 mg/L。

2.2 三种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂成蜂的毒力

从 3 种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂成蜂的 24 h 毒力 (表 2) 测定结果来看, 与对烟粉虱成虫的毒力 (表 1) 相比, 3 种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂的毒力更强。其中, 噻虫嗪对海氏桨角蚜小蜂成蜂的毒力最大, 其 LC_{50} 仅为 0.23 mg/L; 其次是氟啶虫胺胍, 其 LC_{50} 为 0.64 mg/L; 阿维菌素对海氏桨角蚜小蜂成蜂的毒力最小, 其 LC_{50} 仅为 1.07 mg/L。

表 1 三种杀虫剂对烟粉虱成虫的毒力测定

Table 1 Laboratory toxicity of three insecticides to the adults of *Bemisia tabaci*

药剂名称 Insecticide	回归方程 Regression equation	相关系数 R^2 Coefficient	致死中浓度 (mg/L) LC ₅₀	95% 置信区间 95% Confidence interval
噻虫嗪 Thiamethoxam	$y = 1.957 + 1.146x$	0.990	453.76	378.95 ~ 557.82
阿维菌素 Abamectin	$y = 4.467 + 1.767x$	0.996	2.00	1.73 ~ 2.35
氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y = 4.129 + 0.593x$	0.998	29.47	14.64 ~ 46.28

表 2 三种杀虫剂对海氏浆角蚜小蜂成蜂的毒力测定

Table 2 Laboratory toxicity of three insecticides to the adults of *Eretmocerus hayati*

药剂名称 Insecticide	回归方程 Regression equation	相关系数 R^2 Coefficient	致死中浓度 (mg/L) LC ₅₀	95% 置信区间 95% Confidence interval
噻虫嗪 Thiamethoxam	$y = 6.152 + 1.805x$	0.989	0.23	0.20 ~ 0.27
阿维菌素 Abamectin	$y = 4.952 + 1.565x$	0.999	1.07	0.87 ~ 1.31
氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y = 5.370 + 0.193x$	0.996	0.64	0.53 ~ 0.77

2.3 三种杀虫剂对海氏浆角蚜小蜂成蜂的安全性评价

从测定结果 (表 3) 来看, 噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈 3 种杀虫剂对海氏浆角蚜小蜂成蜂的选择性毒力指数分别为 0.0005、0.54 和 0.02, 均具有负向选择性, 说明这 3 种杀虫剂对海氏浆角蚜小蜂成蜂的毒性大于对烟粉虱成虫的毒力。噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈对海氏浆角蚜小蜂成蜂的风险系数分别为 244.57、10.07 和 153.54。根据风险指标进行评估显示噻虫嗪和氟啶虫胺腈对海氏浆角蚜小蜂成蜂均具有轻微到中度毒性, 阿维菌素对海氏浆角蚜小蜂成蜂安全。通过选择性毒力指数与风险系数双重评价可以发

现, 尽管阿维菌素对海氏浆角蚜小蜂成蜂安全, 但是该药剂对海氏浆角蚜小蜂成蜂的影响仍大于对烟粉虱成虫的影响。

2.4 三种杀虫剂对海氏浆角蚜小蜂蛹的安全性评价

噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈 3 种杀虫剂均显著降低海氏浆角蚜小蜂蛹的羽化率 (表 4), 羽化率减少率分别为 59.94%、61.64% 和 63.20%, 但是 3 种杀虫剂之间对海氏浆角蚜小蜂蛹羽化率的影响差异不显著。根据 IOBC 评价标准, 3 种杀虫剂对寄生蜂蛹的风险等级均为 2 级, 轻微有害。

表 3 三种杀虫剂对海氏浆角蚜小蜂成蜂安全性评价

Table 3 Safety evaluation of three insecticides on the adults of *Eretmocerus hayati*

药剂名称 Insecticide	风险系数 Risk quotient	风险指标 Risk index	选择性毒力指数 Selectivity toxicity ratio	风险指标 Risk index
噻虫嗪 Thiamethoxam	244.57	轻微到中度毒性 Slightly to moderately toxic	0.0005	负向选择性 Negative selectivity
阿维菌素 Abamectin	10.07	安全 Safe	0.54	负向选择性 Negative selectivity
氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	153.54	轻微到中度毒性 Slightly to moderately toxic	0.02	负向选择性 Negative selectivity

表 4 三种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂蛹安全性评价

Table 4 Safety evaluation of three insecticides on the pupae of *Eretmocerus hayati*

药剂名称 Insecticide	田间最大推荐浓度 (mg/L) Max field-recommended concentration	羽化率 (%) Emergence rate	羽化率减少率 (PE) (%) Percent reduction in emergence	风险性等级 Risk index
对照 Control	-	90.85 ± 1.67 a	-	-
噻虫嗪 Thiamethoxam	83.33	36.39 ± 2.69 b	59.94	2
阿维菌素 Abamectin	16.00	34.85 ± 4.36 b	61.64	2
氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	140.00	33.43 ± 1.95 b	63.20	2

注: 同列不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。Note: The different letters within a column indicated significant difference between different treatments.

3 结论与讨论

风险系数考虑到了田间推荐浓度, 因此被认为是评价化学药剂对有益天敌影响的重要指标 (Preetha *et al.*, 2009)。本文通过风险系数分析发现噻虫嗪和氟啶虫胺胍对海氏桨角蚜小蜂为轻微到中度毒性, 阿维菌素则安全。然而, 通过比较 3 种杀虫剂对烟粉虱与海氏桨角蚜小蜂之间的选择性毒力指数发现, 3 种杀虫剂的选择性均为负向选择性, 说明海氏桨角蚜小蜂对这 3 种药剂的敏感性大于烟粉虱。洪珊珊等 (2015) 发现毒死蜱和高效氯氟菊酯对半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* 具有负向选择性。田间使用的化学药剂会同时作用于害虫和天敌, 但是化学药剂对二者的选择性不同, 所以, 在使用化学药剂防治害虫的同时也应警惕化学药剂对天敌产生的危害。

此外, 本研究发现噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺胍 3 种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂生活史的不同阶段的安全程度也不同。与蛹期相比, 海氏桨角蚜小蜂成蜂对 3 种杀虫剂更为敏感。在预试验阶段, 发现当使用 3 种杀虫剂的田间最大推荐浓度处理海氏桨角蚜小蜂成蜂后, 其存活时间均未超过 30 min, 说明田间最大推荐浓度对该蜂成蜂具有较强的杀伤力, 这与研究中 3 种杀虫剂对蛹轻微有害形成鲜明对比。类似的报道很多, 如 Sugiyama 等 (2011) 在研究 24 种杀虫剂对烟粉虱 3 种寄生蜂蒙氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus mundus*, 漠桨角蚜小蜂 *Eretmocerus eremicus* 和丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 的影响时也发现寄生蜂的不同发育阶段对药剂的敏感程度不同, 蛹期的死亡率低

于成蜂期的死亡率, 这可能是由于寄生蜂在蛹期受到蛹壳的保护从而减少了对药剂的接触 (车少臣等, 2008)。

随着化学防治带来的烟粉虱抗性问题和生物、环境安全问题日益严重, 人们越来越迫切地希望建立一套烟粉虱综合防治体系来达到对烟粉虱的高效、持久的控制。化学防治和生物防治作为害虫防治的重要手段经常被联合应用于烟粉虱的综合治理过程中 (Naranjo & Ellsworth, 2009)。本研究通过评价噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺胍 3 种烟粉虱化学防治中常用的杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂的安全性, 推荐在烟粉虱的综合治理过程中, 应合理选择药剂并适时进行药剂防治和生物防治。在烟粉虱发生初期, 可进行释放寄生蜂的生物防治措施; 当烟粉虱严重发生时可辅助应用化学防治方法, 考虑到对天敌的保护, 我们推荐使用阿维菌素在已释放寄生蜂的温室或田间集中在寄生蜂蛹期喷施杀虫剂, 从而最大限度地减少对寄生蜂的危害。

本研究评估了噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺胍 3 种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂的致死作用, 但是单纯的致死效应并不能完全说明杀虫剂对寄生蜂的影响, 因为杀虫剂还可以通过亚致死效应影响寄生蜂的行为、生理和生物学等方面的特性进而影响其生防控效 (Sohrabi *et al.*, 2012; Teder *et al.*, 2019)。杀虫剂对寄生蜂的影响可能会因试验环境的不同而不同, 本研究是在实验室条件下进行的, 与田间实际情况可能存在偏差。因此, 要全面评价杀虫剂对寄生蜂的影响, 有关药剂对寄生蜂的亚致死效应及环境因子的作用等相关研究还有待开展。

参考文献 (References)

- Babcock JM, Gerwick CB, Huang JX, et al. Biological characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide [J]. *Pest Management Science*, 2011, 67 (3): 328–334.
- Bass C, Denholm I, Williamson MS, et al. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2015, 121: 78–87.
- Berny P. Pesticides and the intoxication of wild animals [J]. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 2007, 30: 93–100.
- Che SC, Qiu LF, Wang JH. Advance in the study on effects of insecticides on parasitoids [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2008, 12: 95–97. [车少臣, 仇兰芬, 王建红. 杀虫剂对寄生性天敌昆虫的影响研究概述 [J]. 广东农业科学, 2008, 12: 95–97]
- Chu D, Zhang YJ. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (5): 51–55. [褚栋, 张友军. 近10年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展 [J]. 植物保护, 2018, 44 (5): 51–55]
- Cutler P, Slater R, Edmunds AJ, et al. Investigating the mode of action of sulfoxaflor: A fourth-generation neonicotinoid [J]. *Pest Management Science*, 2013, 69 (5): 607–619.
- De Barro PJ, Coombs MT. Post-release evaluation of *Eretmocerus hayati* Zolnerowich and Rose in Australia [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2009, 99 (2): 193–206.
- De Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, et al. *Bemisia tabaci*: A statement of species status [J]. *Annual Review of Entomology*, 2011, 56 (1): 1–19.
- Gao ML, Zhang H. Research progress of tomato yellow leaf curl virus disease [J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2019, 43 (3): 73–74, 93. [高敏丽, 张华. 番茄黄化曲叶病毒病的研究进展分析 [J]. 粮食科技与经济, 2019, 43 (3): 73–74, 93]
- Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, et al. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2010, 11 (2): 97–105.
- Gilbertson RL, Batuman O, Webster CG. Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses [J]. *Annual Review of Virology*, 2015, 2 (1): 67–93.
- Goolsby JA, De Barro PJ, Kirk AA, et al. Post-release evaluation of biological control of *Bemisia tabaci* biotype-B in the USA and the development of predictive tools to guide introductions for other countries [J]. *Biological Control*, 2005, 32 (1): 70–77.
- Hassan SA. Guideline for the evaluation of side-effects of plant protection product on *Trichogramma cacoeciae*. Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: Description of test methods [J]. *IOBC/WPRS Bull*, 1992, 15: 18–39.
- Hassan SA, Haves BO, Degrande PE, et al. The side-effects of pesticides on the egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae), acute dose-response and persistence tests [J]. *Journal of Applied Entomology*, 1998, 122: 569–573.
- Hong SS, Jia BT, Zhang YC, et al. Selective toxicities of 12 insecticides to *Plutella xylostella* and *Diadegma semiclausum* [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Nature Science Edition)*, 2015, 35 (5): 490–494. [洪珊珊, 贾变桃, 张雨超, 等. 12种杀虫剂对小菜蛾及半闭弯尾姬蜂的选择毒力 [J]. 山西农业大学学报 (自然科学版), 2015, 35 (5): 490–494]
- Hussain S, Farooq M, Malik HJ, et al. Whole genome sequencing of Asia II 1 species of whitefly reveals that genes involved in virus transmission and insecticide resistance have genetic variances between Asia III and MEAM1 species [J]. *BMC Genomics*, 2019, 20: 507.
- Jones DR. Plant viruses transmitted by whiteflies [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2003, 109 (3): 195–219.
- Li YY, Liu Z, Liu H. Evaluation of the selective toxicity of six acaricides to *Tetranychus cinnabarinus* and *Neoseiulus cucumeris* [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (3): 209–212. [李一玉, 刘召, 刘怀. 6种杀螨剂对黄瓜新小绥螨和朱砂叶螨的选择毒力评价 [J]. 植物保护, 2014, 40 (3): 209–212]
- Liu QY, Liu SS. Taxonomic status and distribution of *Bemisia tabaci* in China [J]. *Journal of Biosafety*, 2012, 21 (4): 247–255. [刘银泉, 刘树生. 烟粉虱的分类地位及在中国的分布 [J]. 生物安全学报, 2012, 21 (4): 247–255]
- Lu SH, Chen MS, Li JJ, et al. Changes in *Bemisia tabaci* feeding behaviors caused directly and indirectly by cucurbit chlorotic yellows virus [J]. *Virology Journal*, 2019, 16: 106.
- Naranjo SE, Ellsworth PC. The contribution of conservation biological control to integrated control of *Bemisia tabaci* in cotton [J]. *Biological Control*, 2009, 51 (3): 458–470.
- Navas-Castillo J, Fiallo-Olive E, Sanchez-Campos S. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2011, 49: 219–248.
- Preetha G, Stanley J, Suresh S, et al. Toxicity of selected insecticides to *Trichogramma chilonis*: Assessing their safety in the rice ecosystem [J]. *Phytoparasitica*, 2009, 37: 209–215.
- Sohrabi F, Shishehbor P, Saber M, et al. Lethal and sublethal effects of buprofezin and imidacloprid on the whitefly parasitoid *Encarsia inaron* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Crop Protection*, 2012, 32: 83–89.
- Sugiyama K, Katayama H, Saito T. Effect of insecticides on the mortalities of three whitefly parasitoid species, *Eretmocerus mundus*, *Eretmocerus eremicus* and *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2011, 46: 311–317.
- Teder T, Knapp M. Sublethal effects enhance detrimental impact of insecticides on non-target organisms: A quantitative synthesis in parasitoids [J]. *Chemosphere*, 2019, 214: 371–378.
- Wan FH, Zheng XB, Guo JY. Biology and Management of Invasive Alien Species in Agriculture and Forestry [M]. Beijing: Science Press, 2005: 44–55. [万方浩, 郑小波, 郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2005:

- 44 - 55]
- Wang R , Che WN , Wang JD , *et al.* Monitoring insecticide resistance and diagnostics of resistance mechanisms in *Bemisia tabaci* Mediterranean (Q biotype) in China [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology* , 2020 , 163: 117 - 122.
- Wang ZY , Yan HF , Yang YH , *et al.* Biotype and insecticide resistance status of the whitefly *Bemisia tabaci* from China [J]. *Pest Management Science* , 2010 , 66: 1360 - 1366.
- Wu Q , Huangfu WG , Gao MQ , *et al.* Newly recorded species of *Eretmocerus* parasitizing the whitefly *Bemisia tabaci* in China [J]. *Entomotaxonomia* , 2009 , 31 (4): 310 - 314. [吴琼,皇甫伟国,高明清,等. 寄生烟粉虱的桨角蚜小蜂新记录种 [J]. 昆虫分类学报, 2009, 31 (4): 310 - 314]
- Xu HY , Yang NW , Chi H , *et al.* Comparison of demographic fitness and biocontrol effectiveness of two parasitoids , *Encarsia sophia* and *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae) , against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Pest Management Science* , 2018 , 74: 2116 - 2124.
- Xu HY , Yang NW , Wan FH. Field cage evaluation of interspecific interaction of two aphelinid parasitoids and biocontrol effect on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Middle East-Asia Minor 1 [J]. *Entomological Science* , 2015 , 18: 237 - 244.
- Yang NW , Wan FH. Host suitability of different instars of *Bemisia tabaci* biotype B for the parasitoid *Eretmocerus hayati* [J]. *Biological Control* , 2011 , 59: 313 - 317.
- Zhang XX , Mao XH , Gao Q , *et al.* Toxicity test and field efficacy of 3 biological insecticides to *Bemisia tabaci* on tobacco [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* , 2019 , 35 (20): 99 - 103. [张秀霞,毛晓红,高强,等. 3 种生物杀虫剂防治烟草烟粉虱的室内毒力及田间药效试验 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (20): 99 - 103]
- Zhang X , Yang M , Zhang X , *et al.* Population dynamics and spatial distribution of a parasitoid *Eretmocerus hayati* in the turpan cotton fields in Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University* , 2016 , 39 (2): 122 - 126. [张祥,杨媚,张鑫,等. 新疆吐鲁番棉田海氏桨角蚜小蜂消长动态及空间分布型 [J]. 新疆农业大学学报, 2016, 39 (2): 122 - 126]
- Zheng HX , Xie W , Wang SL , *et al.* Dynamic monitoring (B versus Q) and further resistance status of Q-type *Bemisia tabaci* in China [J]. *Crop Protection* , 2017 , 94: 115 - 122.