



党志红, 高占林, 赵玉敬, 安静杰, 窦亚楠, 潘文亮, 华佳楠, 李耀发. 双酰胺类杀虫剂对棉铃虫和松毛虫赤眼蜂的选择毒力 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 233–238.

双酰胺类杀虫剂对棉铃虫和松毛虫赤眼蜂的选择毒力

党志红, 高占林, 赵玉敬, 安静杰, 窦亚楠, 潘文亮, 华佳楠, 李耀发*

(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: 为了指导棉铃虫防控中化学杀虫剂和天敌昆虫协调使用, 本文采用浸叶法和玻管药膜法测定了 4 种双酰胺类杀虫剂对棉铃虫 3 龄幼虫和松毛虫赤眼蜂成蜂的毒力。结果表明, 供试双酰胺类杀虫剂中氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺和氟氰虫酰胺对棉铃虫幼虫表现出了较高的毒力水平 (LC_{50} 分别为 0.2882、0.3894、0.8609 mg/L), 稍低于对照药剂甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (简称: 甲维盐) (LC_{50} 为 0.06493 mg/L); 而溴氰虫酰胺对棉铃虫的毒力 (LC_{50} 为 3.7638 mg/L) 明显低于甲维盐。从对天敌昆虫安全性来看, 氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺和氟氰虫酰胺对松毛虫赤眼蜂的毒性 (LC_{50} 分别为 1.0060、0.9933、1.1541 mg/L) 明显低于甲维盐 (其 LC_{50} 为 0.1646 mg/L), 表现出了较高的安全性; 但是, 溴氰虫酰胺对松毛虫赤眼蜂毒性较高 (LC_{50} 为 0.4952 mg/L), 安全性较差。本研究将为棉铃虫防控中药剂与天敌协调使用提供依据。

关键词: 棉铃虫; 松毛虫赤眼蜂; 双酰胺类杀虫剂; 毒力

中图分类号: Q965.9; S433; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 01-0233-06

Selective toxicity of diamide insecticides to *Helicoverpa armigera* and *Trichogramma dendrolimi*

DANG Zhi-Hong, GAO Zhan-Lin, ZHAO Yu-Jing, AN Jing-Jie, DOU Ya-Nan, PAN Wen-Liang, HUA Jia-Nan, LI Yao-Fa* (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, P. R. China, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: This paper aims to coordinate the use of chemical insecticides and natural enemy insects to guide the control of crops cotton bollworm. The toxicities of four diamide insecticides to 3rd instar larvae of cotton bollworm and the adults of *Trichogramma dendrolimi* were determined by using leaf-dip method and glass tube membrane method, respectively. The results showed that chlorantraniliprole (0.2882 mg/L, LC_{50} value which was the same as below), flubendiamide (0.3894 mg/L) and tetraniliprole (0.8609 mg/L) all showed high toxic level to cotton bollworm, although they were lower than the toxicity of emamectin benzoate (0.06493 mg/L). However, the toxicity of cyantraniliprole to cotton bollworm (3.7638 mg/L) was significantly lower than that of emamectin benzoate. The safety evaluation results showed that the toxicities of chlorantraniliprole, flubendiamide and tetraniliprole to *T. dendrolimi* were 1.0060 mg/L,

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201906); 河北省现代农业产业技术体系 (HBCT2018040204); 河北省农林科学院创新工程项目 (2019-1-1-3)

作者简介: 党志红, 女, 1965 年生, 研究员, 主要研究方向为农业害虫综合治理技术, E-mail: dangzhihong@sina.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 李耀发, 博士, 研究员, 主要研究方向为农业害虫综合治理技术, E-mail: liyaofa@126.com

收稿日期 Received: 2020-01-03; 接受日期 Accepted: 2020-05-18

0.9933 mg/L and 1.1541 mg/L, respectively. They were also significantly safer than emamectin benzoate (0.1646 mg/L) to *T. dendrolimi*. But cyantraniliprole showed higher toxicity (0.4952 mg/L) to the adults of *T. dendrolimi*. This study will lay a theoretical foundation for the coordination of effective insecticides and natural enemy for the control of cotton bollworm.

Key words: *Helicoverpa armigera*; *Trichogramma dendrolimi*; diamide insecticides; toxicity

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 是世界性、多种农作物上的重要害虫，二十世纪九十年代曾对我国棉花等作物生产造成了重大经济损失。随着转基因抗虫棉的大面积推广应用，棉铃虫的危害得到了有效控制 (Wu *et al.*, 2008)，但是，近年来黄河流域棉花种植面积的逐年下降，转基因棉花作为“诱杀陷阱”的作用逐渐减弱，棉铃虫在我国北方棉田之外的作物上危害程度加重，如花生、玉米等 (陆宴辉等, 2018)。目前，多地棉铃虫种群对传统杀虫剂品种均已产生了中至高水平的抗性 (张纬庆, 2015; 胡红岩等, 2018)，使得生产上急需筛选出高效低毒的化学药剂品种。近年来，双酰胺类杀虫剂因其对鳞翅目害虫特效，对非靶标生物安全，并与传统杀虫剂无交互抗性而受到广泛青睐 (赵平等, 2015)。除第一代双酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺之外，随着溴氰虫酰胺、氟苯虫酰胺、氟氰虫酰胺等双酰胺类杀虫剂的相继商业化，在逐步丰富了该类杀虫剂品种的同时，也为鳞翅目害虫的防治提供了更多的药剂选择 (Chai *et al.*, 2007; Kambrekar *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018)。

由于棉铃虫易对化学杀虫剂产生抗药性 (张纬庆, 2015)，从而导致杀虫效果下降，以及中药材、蔬菜等作物上化学农药使用受到限制等原因，使得在筛选安全、高效化学杀虫剂的同时，也要考虑如何协调使用天敌等其他非化学防控措施。赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 属膜翅目，是世界范围内商业化最早、最成功的鳞翅目害虫天敌昆虫 (van Lenteren, 2012)，松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 是我国用于防治鳞翅目害虫的优势赤眼蜂之一 (马春森等, 2005)。利用天敌昆虫的自然控制能力，能够减少化学杀虫剂的使用和保护生态环境，但是天敌昆虫的使用存在一定的局限性，如赤眼蜂只能寄生棉铃虫卵，针对残存的棉铃虫幼虫仍可能需要使用化学杀虫剂。因此，如何协调化学杀虫剂与天敌昆虫的使用，寻找生物防治和化学防治之间的平衡点，成为棉铃虫防治中的重要问题。

第一代双酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺对棉铃虫的高毒力已被证明 (张丹丹等, 2018)，对松毛虫赤眼蜂安全性也有报道 (张俊杰等, 2014)。但是尚未见到其他双酰胺类杀虫剂品种对棉铃虫和松毛虫赤眼蜂毒力的系统报道。基于此，本文测定了4种双酰胺类杀虫剂对棉铃虫幼虫和松毛虫赤眼蜂成虫毒力，并分析比较了该类药剂对松毛虫赤眼蜂的安全性。本研究将为防治棉铃虫高效杀虫剂的选择与使用，及其与松毛虫赤眼蜂释放的协调应用提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试昆虫

松毛虫赤眼蜂，北京市密云区植保植检站提供，将柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂卵于室内恒温培养箱内 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 条件下培养，取新羽化的松毛虫赤眼蜂成蜂，测定供试药剂对其的毒性程度。

棉铃虫，采用河北省农林科学院植物保护研究所养虫室长期人工饲料培养种群，于室内 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $70\% \pm 10\%$ ，自然光照条件下进行室内饲养。挑选生理状态一致的棉铃虫3龄初期幼虫，测定供试药剂对棉铃虫的室内毒力。

1.2 供试药剂

96.0% 氯虫苯甲酰胺原药，河北博佳农业有限公司；95.0% 溴氰虫酰胺原药，河北威远生物化工有限公司；97.3% 氟苯虫酰胺原药，拜耳作物科学 (中国) 有限公司；89.6% 氟氰虫酰胺原药，拜耳作物科学 (中国) 有限公司；92.0% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (以下简称甲维盐) 原药，河北威远生物化工股份有限公司。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)。

1.3 毒力 (毒性) 测定方法

1.3.1 供试药剂对棉铃虫室内毒力测定方法

采用浸叶法测定供试药剂对棉铃虫的室内毒力。按预试验结果，用0.1%吐温-80水溶液将各母液稀释并配制成5~7个浓度梯度的药液备用。

将新鲜的甘蓝叶片用打孔器打成直径 1 cm 的叶片, 将叶片在药液中浸渍 30 s 后, 置于吸水纸上自然晾干后, 放入养虫管 (直径 0.8 cm, 长 1.8 cm) 中, 每管 3 片, 管内接入健康活泼的棉铃虫 3 龄幼虫 1 头。每个处理重复 4 次, 每次重复 15 头幼虫。将处理后的试虫置于养虫室内 (室内 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 10\%$, 自然光照条件下), 进行室内饲养观察。于处理后 72 h 检查试虫存活情况。用镊子轻触虫体, 以虫体无反应为死亡鉴定标准。

1.3.2 供试药剂对松毛虫赤眼蜂毒性测定方法

采用玻管药膜法测定供试药剂对松毛虫赤眼蜂成蜂的毒性。按预试验结果, 采用丙酮将各母液稀释并配制成 5~7 个浓度梯度的药液备用。用移液枪吸取供试药液 200 μL 放入干净的指形管 (1.6 cm \times 8 cm) 内, 将指形管置于滚动机上快速滚动。待指形管内的丙酮完全挥发后, 指形管内壁形成一层均匀药膜, 用细毛笔向每个指形管接入 20 头赤眼蜂, 用双层细纱布封口。每个处理重复 4 次, 以丙酮处理做对照。将处理后的赤眼蜂置于恒温培养箱内 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 条件下培养。待松毛虫赤眼蜂与管壁药膜接触 1 h 后, 检查其存活情况。用细毛笔轻触虫体, 虫体无反应为死亡鉴定标准。

1.4 数据分析方法

运用 DPS v6.55 软件分析数据, 根据死亡率机率值和浓度对数值求出毒力回归方程式 ($Y = A + BX$) 和致死中浓度 LC_{50} 值。

2 结果与分析

2.1 双酰胺类杀虫剂对棉铃虫的室内毒力

供试药剂对棉铃虫的毒力测定结果见表 1。双酰胺类杀虫剂中氯虫苯甲酰胺对棉铃虫 3 龄幼虫的毒力最高, 其 LC_{50} 值为 0.2882 mg/L; 氟苯虫酰胺的毒力与氯虫苯甲酰胺相近, 其 LC_{50} 值为 0.3894 mg/L; 接下来是氟氰虫酰胺, 其 LC_{50} 值为 0.8609 mg/L; 溴氰虫酰胺对棉铃虫的毒力 (LC_{50} 值为 3.7638 mg/L) 远低于其他 3 种双酰胺杀虫剂。

综合来看, 4 种双酰胺类杀虫剂对棉铃虫的毒力均低于甲维盐 (LC_{50} 为 0.06493 mg/L), 与供试药剂中毒力最低的溴氰虫酰胺相比, 甲维盐的毒力指数达到了 57.97 倍, 而其他 3 种双酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺和氟氰虫酰胺的毒力指数为 4.37~13.06 倍。

表 1 双酰胺类杀虫剂对棉铃虫的室内毒力 (72 h)

Table 1 Laboratory toxicity of diamide insecticides to *Helicoverpa armigera*

药剂 Insecticides	截距 Intercept	斜率 \pm 标准误 Slope \pm SE	LC_{50} (mg/L)	95% 置信限 95% CL	相关系数 R	毒力指数 Toxicity index
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	5.6892	1.2757 \pm 0.2689	0.2882	0.1479 ~ 0.4478	0.9230	13.06
氟苯虫酰胺 Flubendiamide	5.9624	2.3499 \pm 0.3522	0.3894	0.2910 ~ 0.4971	0.9012	9.67
氟氰虫酰胺 Tetraniliprole	5.1035	1.5918 \pm 0.3150	0.8609	0.6452 ~ 1.2317	0.9016	4.37
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	4.3701	1.0942 \pm 0.3553	3.7638	1.5255 ~ 144.9315	0.9548	1.00
甲维盐 Emamectin Benzoate	7.9680	2.4993 \pm 0.7298	0.06493	0.004071 ~ 0.1417	0.9535	57.97

2.2 双酰胺类杀虫剂对松毛虫赤眼蜂成蜂的毒性

从多种药剂对松毛虫赤眼蜂的毒性测定结果来看, 松毛虫赤眼蜂对双酰胺类杀虫剂中溴氰虫酰胺最敏感, 其 LC_{50} 值仅为 0.4952 mg/L; 对氟苯虫酰胺和氯虫苯甲酰胺的敏感性相近, 其 LC_{50} 值分别为 0.9933 mg/L 和 1.0060 mg/L (表 2)。4 种双酰胺杀虫剂中, 氟氰虫酰胺对松毛虫赤眼蜂毒

性最低, 其 LC_{50} 值为 1.1541 mg/L。

综合来看, 4 种双酰胺类杀虫剂对松毛虫赤眼蜂的安全性均高于甲维盐 (LC_{50} 为 0.1646 mg/L), 与供试双酰胺类杀虫剂中安全性最高的氟氰虫酰胺相比, 甲维盐的毒性指数达到了 7.01 倍, 而其他 3 种双酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺和溴氰虫酰胺的毒性指数为 1.15~2.33 倍。

表 2 双酰胺类杀虫剂对松毛虫赤眼蜂的毒性 (1 h)

Table 2 Laboratory toxicity of diamide insecticides to *Trichogramma dendrolimi*

药剂 Insecticides	截距 Intercept	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L)	95% 置信限 95% CL	相关系数 R	毒性指数 Toxicity index
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	5.3935	1.2896 ± 0.2387	0.4952	0.3504 ~ 0.8613	0.9904	2.33
氟苯虫酰胺 Flubendiamide	5.0024	0.8118 ± 0.1562	0.9933	0.6176 ~ 2.2503	0.9888	1.16
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	4.9948	2.0203 ± 0.3309	1.0060	0.7233 ~ 1.7789	0.9931	1.15
氟氰虫酰胺 Tetraniliprole	4.9306	1.1145 ± 0.2174	1.1541	0.7193 ~ 2.7760	0.9812	1.00
甲维盐 Emamectin benzoate	6.2839	1.6388 ± 0.3083	0.1646	0.1208 ~ 0.2624	0.9651	7.01

2.3 双酰胺类杀虫剂对棉铃虫和松毛虫赤眼蜂的选择毒力

综合双酰胺类杀虫剂对棉铃虫的室内毒力和对松毛虫赤眼蜂的安全性评价结果 (图 1) 来看, 与甲维盐相比, 氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺和氟氰虫酰胺对棉铃虫的毒力稍低, 但是 3 种药剂对赤眼蜂安全性要高于甲维盐。而溴氰虫酰胺对棉铃虫的毒力远低于甲维盐, 而其对松毛虫赤眼蜂的安全性却与甲维盐相近。

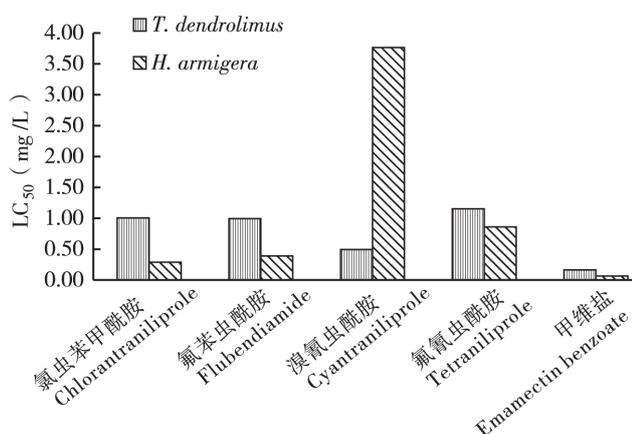


图 1 双酰胺类杀虫剂对棉铃虫及松毛虫赤眼蜂的选择毒力
Fig. 1 Selective toxicity of diamide insecticides to *Helicoverpa armigera* and *Trichogramma dendrolimi*

3 结论与讨论

二十世纪九十年代, 棉铃虫在我国多种作物上暴发成灾, 造成巨大危害的主要原因之一就是棉铃虫对多种杀虫剂产生了极高的抗药性, 间接导致棉田化学农药用药量的成倍增加, 大量杀伤了天敌昆虫, 进而造成了棉铃虫种群的再猖獗 (戴小枫等, 1993; 慕立义, 1994; 毕章宝等,

1997)。近年来, 以氯虫苯甲酰胺为首的双酰胺类杀虫剂的开发和应用, 为棉铃虫的化学防治提供了新的高效杀虫剂品种。该类杀虫剂作用靶标为昆虫鱼尼丁受体, 其靶标新颖, 使得该类药剂与其他传统杀虫剂没有交互抗性 (周蕴赟, 2014), 但是已有研究发现, 棉铃虫对氯虫苯甲酰胺敏感性水平下降的现象 (张少华等, 2013), 小菜蛾 *Plutella xylostella*、二化螟 *Chilo suppressalis* 等也已出现了对该类药剂的高抗种群 (尹飞等, 2015; 赵丹丹等, 2017)。多种害虫对双酰胺类杀虫剂的抗药性风险及交互抗性研究时发现, 双酰胺类杀虫剂具有短时间内产生高水平抗性的风险, 并且不同品种间存在着明显的交互抗药性问题 (赵丹丹等, 2017)。因此, 棉铃虫田间防治中, 不仅需要进行氟苯虫酰胺、氟氰虫酰胺与氯虫苯甲酰胺的轮换使用, 而且也应该进行甲维盐等高效杀虫剂轮换使用, 以降低单一杀虫剂对棉铃虫的选择压力, 延长双酰胺类杀虫剂的使用寿命。

已有研究表明甲维盐对棉铃虫、甜菜夜蛾 *Asparagus caterpillar*、小菜蛾和草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 等多种鳞翅目害虫具有较高毒力和优秀的田间防治效果 (张丹丹等, 2018; 袁伟宁等, 2019; 赵胜园等, 2019), 但对松毛虫赤眼蜂同样高毒, 风险性极高 (袁伟宁等, 2019), 而对螟黄赤眼蜂、玉米螟赤眼蜂和短管赤眼蜂 *T. pretiosum* 等毒性风险相对较低 (Giraddi *et al.*, 2006)。以甲维盐作为对照药剂, 本文研究发现, 双酰胺类杀虫剂中氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺和氟氰虫酰胺对棉铃虫幼虫的毒力虽低于甲维盐, 但仍对该虫表现出了较高的毒力水平, 而这 3 种杀虫剂对松毛虫赤眼蜂的毒性明显低于甲维盐, 表现出了较高的安全性。张俊杰等 (2014) 曾评估了氯虫苯甲酰胺对螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂

的安全性, 分析了药剂处理后两种赤眼蜂的羽化率、死亡率和寄生米蛾卵量等指标, 发现与高效氯氰菊酯和阿维菌素相比, 氯虫苯甲酰胺对2种赤眼蜂也表现出了较高的安全性。化学药剂对赤眼蜂安全性研究中还发现, 不同发育阶段赤眼蜂对化学药剂的敏感性存在明显差异。以甲维盐为例, 与成虫期赤眼蜂相比, 该药剂对蛹期赤眼蜂发育和寄生行为影响较小 (潘悦等, 2013; Karthik *et al.*, 2015)。这也说明化学药剂与赤眼蜂协调使用防治害虫过程中, 选择适宜的施药时期能够有效的降低对天敌昆虫的杀伤作用。

本文仅研究了双酰胺类杀虫剂对棉铃虫和松毛虫赤眼蜂室内选择毒力, 未涉及该类药剂对不同发育阶段赤眼蜂影响的研究。从赤眼蜂的发育阶段来看, 其生长发育共分为卵、幼虫、蛹和成虫期4个阶段, 而其前3个阶段均生活在寄主卵内, 因而对药剂的敏感性以成虫期最敏感 (向玉勇等, 2012)。因而, 应进一步研究化学防治与不同发育阶段赤眼蜂的关系, 选择最佳的用药时期和方式, 以尽可能保护和利用天敌昆虫赤眼蜂, 充分发挥其在棉铃虫防治中的作用, 以达到棉铃虫的有效治理。

参考文献 (References)

Bi ZB, Wang JF, Zhang LX, *et al.* Outbreak of the fifth generation of cotton bollworm in the southern cotton area of Hebei Province and its reason analysis [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 1997, 20 (1): 56–59. [毕章宝, 王金锋, 张林祥, 等. 冀南棉区五代棉铃虫大发生及原因分析 [J]. 河北农业大学学报, 1997, 20 (1): 56–59]

Chai BS, Yang JC, Liu CL. Review of new insecticidal phthalicdiamides [J]. *Fine Chemical Intermediates*, 2007, 37 (1): 1–8. [柴宝山, 杨吉春, 刘长令. 新型邻苯二甲酰胺类杀虫剂的研究进展 [J]. 精细化工中间体, 2007, 37 (1): 1–8]

Dai XF, Guo YY. A preliminary analysis on the causes of the outbreaks of cotton bollworm [J]. *Chinese Plant Protection*, 1993, 19 (4): 35–37. [戴小枫, 郭予元. 棉铃虫大暴发的成因初析 [J]. 植物保护, 1993, 19 (4): 35–37]

Giraddi RS, Gundannavar KP. Safety of emamectin benzoate, an avermectin derivative to the egg parasitoids, *Trichogramma* spp. [J]. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 2006, 19 (2): 417–418.

Hu HY, Ren XL, Ma XY, *et al.* Monitoring on resistance of *Helicoverpa armigera* (Hübner) to three insecticides in main cotton-growing areas of yellow river region [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2018, 37 (4): 65–69. [胡红岩, 任相亮, 马小艳, 等. 黄河流域棉区棉铃虫对3种杀虫剂的抗性监测 [J]. 华中农业大学学报, 2018, 37 (4): 65–69]

Kambrekar DN, Jahagirdar S, Aruna J. Tetraniliprole-new diamide insecticide molecule featuring novel mode of action against soybean insect pests [J]. *Biochemical and Cellular Archives*, 2017, 17 (2): 801–804.

Karthik P, Kuttalam S, Gunasekaran K, *et al.* In vitro safety of emamectin benzoate 5 SG to *Trichogramma chihni* (Ishii) [J]. *Pestology*, 2015, 39 (7): 52–56.

Lu YH, Jiang YY, Liu J, *et al.* Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (1): 19–24. [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 等. 种植业结构调整增加棉铃虫的灾变风险 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (1): 19–24]

Ma CS, Chen YW. Effects of alternating temperature and time on diapauses of *Trichogramma dendrolimi* [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2005, 32 (2): 174–178. [马春森, 陈玉文. 二步中低变温对松毛虫赤眼蜂滞育的诱导作用 [J]. 植物保护学报, 2005, 32 (2): 174–178]

Mu LY. Causes of outbreaks of cotton bollworm and its control measures [J]. *Agrochemicals*, 1994, 33 (2): 3–7. [慕立义. 棉铃虫大暴发原因及其防治对策 [J]. 农药, 1994, 33 (2): 3–7]

Pan Y, Zeng FH, Zhang XL, *et al.* Toxicity determination of five chemical pesticides on *Trichogramma dendrolimi* Matsumura [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013, 23: 81–83. [潘悦, 曾凡海, 张晓龙, 等. 5种化学农药对松毛虫赤眼蜂的毒力测定 [J]. 湖南农业科学, 2013, 23: 81–83]

Van Lenteren, JC. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake [J]. *Biocontrol*, 2012, 57, 1–20.

Wang R, Wang JD, Che WN, *et al.* First report of field resistance to cyantraniliprole, a new anthranilicdiamide insecticide, on *Bemisia tabaci* MED in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17 (1): 158–163.

Wu KM, Lu YH, Feng HQ, *et al.* Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton [J]. *Science*, 2008, 321: 1676–1678.

Xiang YY, Zhang F. Review of application research on *Trichogramma westwoodi* in biological control in China [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40 (12): 20–24. [向玉勇, 张帆. 赤眼蜂在我国生物防治中的应用研究进展 [J]. 河南农业科学, 2011, 40 (12): 20–24]

Yin F, Feng X, Li ZY, *et al.* Resistance of diamondback moth to chlorantraniliprole in different areas [J]. *Chinese Plant Protection*, 2015, 41 (5): 160–163. [尹飞, 冯夏, 李振宇. 不同地区小菜蛾对氯虫苯甲酰胺的抗性差异 [J]. 植物保护, 2015, 41 (5): 160–163]

Yuan WN, Wei YM, Niu LM. Toxicity of emamectin benzoate to 3 kinds of pests (Lepidoptera) and *Trichogramma dendrolimi* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (26): 148–152. [袁伟宁, 魏玉红, 牛丽敏. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对3种鳞翅目害虫与赤眼蜂的毒力 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (26): 148–152]

Zhang DD, Yang XM, Lu YH, *et al.* Comparison of the toxicity of six

- insecticides against the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (1): 61–66. [张丹丹, 杨现明, 陆宴辉, 等. 六种杀虫剂对棉铃虫的毒力效果比较 [J]. *应用昆虫学报*, 2018, 55 (1): 61–66]
- Zhang JJ, Du WM, Jin XF, et al. Susceptibility of the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to three kinds of insecticides commonly used in fields [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2014, 41 (5): 555–561. [张俊杰, 杜文梅, 金雪菲, 等. 松毛虫赤眼蜂对三种农田常用杀虫剂的敏感性 [J]. *植物保护学报*, 2014, 41 (5): 555–561]
- Zhang WQ. Field Resistance Monitoring of Cotton Bollworm Populations and Risk Assessment of Resistance to Emamectin Benzoate [D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2015. [张纬庆. 棉铃虫田间种群的抗药性监测及对甲维盐的抗性风险评估 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015]
- Zhang SH, Li Z, Ma Z, et al. Characteristics of resistance to insecticides and change of activities of the related enzymes in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from transgenic Bt cotton fields in Hebei Province [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (6): 638–643. [张少华, 李哲, 马卓, 等. 河北转 Bt 基因棉田棉铃虫对杀虫剂的抗性及相关酶活性的变化 [J]. *昆虫学报*, 2013, 56 (6): 638–643]
- Zhao P, Yan QX, Li X. Status and perspective of diamide insecticides [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2015, 36 (11): 41–45. [赵平, 严秋旭, 李新, 等. 双酰胺类杀虫剂的现状与展望 [J]. *农药科学与管理*, 2015, 36 (11): 41–45]
- Zhao SY, Yang XM, Yang XL, et al. Field efficacy of eight insecticides on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Plant Protection*, 2019, 45 (4): 74–78. [赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8 种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果 [J]. *植物保护*, 2019, 45 (4): 74–78]
- Zhao DD, Zhou LQ, Zhang S, et al. Resistance monitoring and cross-resistance to the diamides in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2017, 31 (3): 307–314. [赵丹丹, 周丽琪, 张帅, 等. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗药性监测和交互抗性研究 [J]. *中国水稻科学*, 2017, 31 (3): 307–314]
- Zhou YY. Design, Synthesis and Bioactivities of Novel Ryanodine Receptor Insecticides [D]. Tianjin: Nankai University, 2014. [周蕴贇. 鱼尼丁受体类杀虫剂的设计合成和生物活性研究 [D]. 天津: 南开大学, 2014]