

# 六种杀虫剂对棉铃虫的毒力效果比较\*

张丹丹\*\* 杨现明 陆宴辉 梁革梅\*\*\*

(植物病虫害生物学国家重点实验室, 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘 要** 【目的】比较新型杀虫剂对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 田间种群的毒力效果, 从中筛选出高效农药种类, 为当前棉铃虫防治中合理用药提供参考。【方法】在室内采用点滴法, 测定了甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)、氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、茚虫威、溴虫腈、甲维·茚虫威对 4 个地理种群棉铃虫 3 龄幼虫的毒力效果; 并比较了甲维盐、氯虫苯甲酰胺对 2-5 龄幼虫的毒力作用。【结果】6 种杀虫剂对 3 龄幼虫的毒力效果从高到低的顺序依次为: 氯虫苯甲酰胺>甲维盐>甲维·茚虫威>溴氰虫酰胺>茚虫威>溴虫腈; 不同地理种群对茚虫威的敏感性差异最大, 其次依次为甲维·茚虫威、氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、甲维盐和溴虫腈。甲维盐、氯虫苯甲酰胺对 2-4 龄幼虫均具有较好毒杀效果, 但氯虫苯甲酰胺对 5 龄幼虫的毒效明显优于甲维盐。【结论】氯虫苯甲酰胺和甲维盐是当前防治棉铃虫的首选农药, 且氯虫苯甲酰胺对高龄幼虫毒杀效果较好。

**关键词** 棉铃虫, 新型杀虫剂, 毒力效果, 化学防治

## Comparison of the toxicity of six insecticides against the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*

ZHANG Dan-Dan\*\* YANG Xian-Ming LU Yan-Hui LIANG Ge-Mei\*\*\*

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract** [Objectives] To determine the relative toxicity of six insecticides to the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* and provide a foundation and reference for the rational use of insecticides in the management of this pest. [Methods] Using the topical application method, the toxicities of six insecticides; emamectin benzoate, chlorantraniliprole, cyantraniliprole, indoxacarb, chlorfenapyr, and a mixture of emamectin benzoate and indoxacarb (M-EBI), were tested on 3rd instar *H. armigera* larvae which collected from four wild populations. The effectiveness of emamectin benzoate and chlorantraniliprole against 2nd-5th instar larvae were also compared. [Results] The relative toxicity of these six insecticides against *H. armigera* was: chlorantraniliprole > emamectin benzoate > M-EBI > cyantraniliprole > indoxacarb > chlorfenapyr. The sensitivity of *H. armigera* from the four different populations to same insecticide varied; sensitivity to indoxacarb varied the most, followed by sensitivity to M-EBI, chlorantraniliprole, cyantraniliprole, emamectin benzoate and chlorfenapyr. Emamectin benzoate and chlorantraniliprole were both highly toxic to 2-4 instar larvae but chlorantraniliprole was more toxic to 5th instar larvae than emamectin benzoate. [Conclusion] Emamectin benzoate and chlorantraniliprole are currently the best choices for controlling *H. armigera* and chlorantraniliprole is more effective on older larvae than emamectin benzoate.

**Key words** *Helicoverpa armigera*, new insecticides, toxicity, chemical control

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 隶属 蛾亚科 Heliothinae, 棉铃虫属 *Helicoverpa* Hardwick  
于鳞翅目 Lepidoptera, 夜蛾科 Noctuidae, 实夜 (1965)。它危害棉花、小麦、玉米、高粱、大

\*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2017YFD0201902)

\*\*第一作者 First author, E-mail: wua134152@163.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: gmliang@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2017-11-16, 接受日期 Accepted: 2017-12-29

豆、花生以及蔬菜、果树、花卉等多种(类)农作物(郭予元, 1998; Wu *et al.*, 2008)。

过去我国棉铃虫的防治一直以化学农药使用为主, 过度依赖化学农药造成自 20 世纪 80 年代末期起棉铃虫对有机磷类、拟除虫菊酯类等当家农药品种产生了高水平抗性, 导致生产实践中化学防治基本失效, 棉铃虫种群连年暴发成灾。尤其是 1992 年, 我国黄河流域、长江流域棉区空前大暴发, 造成 100 多亿元的直接经济损失(郭予元, 1998)。自 1997 年我国开始推广种植转 Bt 基因抗虫棉(简称“Bt 棉花”)后, 不仅有效地控制棉田棉铃虫的发生危害, 而且显著降低了同一种植区域内玉米、花生等其他作物上的棉铃虫种群数量, 从而各种寄主作物上用于棉铃虫防治的化学农药使用量大幅度减少(Wu *et al.*, 2008)。但是由于棉花生长中后期 Bt 棉花植株中杀虫蛋白表达量及其抗虫效果较前期有所降低(张永军等, 2001), 部分地区 Bt 棉田 3-4 代棉铃虫仍需使用农药进行防治。因此, 近年来棉铃虫的整体抗药性水平明显下降, 但是对拟除虫菊酯类杀虫剂等当家农药种类仍然具有较高水平的抗性(郭庆龙, 2007; 李亚鹏, 2012; 于婉婷等, 2014)。

2010 年以来, 随着全国种植业结构调整, 玉米、蔬菜等作物种植面积逐年增加而 Bt 棉花种植比率不断缩减, 导致棉铃虫种群发生基数逐步回升, 在 Bt 棉花以外的其他寄主作物上危害程度加重。2017 年, 受北方降水偏少、气温偏

高等因素影响, 华北以及宁夏、内蒙古等周边省份诱虫灯上棉铃虫成虫数量明显增加, 玉米、花生、油葵、高粱、粟等作物上棉铃虫发生危害十分严重(陆宴辉等, 2018)。急需筛选高效低毒化学农药, 为生产中棉铃虫防控提供应急技术。由于油葵、高粱、粟等小作物上棉铃虫种群疏于调查监测, 生产中一旦发现棉铃虫危害, 幼虫大多处于高龄阶段(陆宴辉等, 2018)。因此, 尚需筛选适用于棉铃虫高龄幼虫防治的化学农药。

本研究测定了甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、茚虫威、溴虫腈和甲维·茚虫威 6 种农药对田间棉铃虫种群的杀虫效果, 比较了不同地理种群棉铃虫对杀虫剂的敏感性差异, 并测定两种高效农药对不同龄期幼虫的毒杀效果, 旨在为科学使用化学农药防治棉铃虫提供参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

供试棉铃虫于 2017 年采自河北廊坊、河北保定、山东夏津、河南新乡(表 1)。将田间采集的幼虫(至少 100 头)先用人工饲料饲养至化蛹, 人工饲料配方参照梁革梅等(1999), 羽化后将成虫(或将田间诱集到的成虫)置于(50 cm × 25 cm × 25 cm)产卵笼里, 内置沾有 10%糖水的棉球为其提供营养, 顶端覆盖白色纱布供其产

表 1 棉铃虫供试种群采集信息

Table 1 Information of the tested field populations of *Helicoverpa armigera*

| 采集地点<br>Collection site  | 经纬度<br>Longitude and latitude | 采集时间<br>Collection date | 采集虫态<br>Collection stage | 采集方式<br>Collection method  | 采集点作物种类<br>Crop |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| 河北廊坊<br>Langfang, Hebei  | 39.0°N, 116.0°E               | 20170615                | 成虫 Adult                 | 灯光诱集<br>Light trap         | 小麦 Wheat        |
| 山东夏津<br>Xiajin, Shandong | 36.9°N, 116.0°E               | 20170615                | 成虫 Adult                 | 灯光诱集<br>Light trap         | 小麦 Wheat        |
| 河南新乡<br>Xinxiang, Henan  | 35.2°N, 113.8°E               | 20170628                | 成虫 Adult                 | 扫网捕捉<br>Sweep net          | 小麦 Wheat        |
| 河北保定<br>Baoding, Hebei   | 38.52°N, 115.27°E             | 20170908                | 幼虫 Larva                 | 人工捕捉<br>Artificial capture | 玉米 Maize        |

卵, 该纱布每 24 h 换一次, 换下的卵布置于干净的玻璃罐或塑料罐 (250 mL) 内 (Wu *et al.*, 1997)。幼虫孵化后用毛笔挑丝接入装有人工饲料的 24 孔养虫板, 待幼虫长至一定龄期后进行测定。棉铃虫饲养条件为温度 ( $26 \pm 1$ ) °C、相对湿度  $60\% \pm 10\%$ 、光周期 14 L : 10 D。

## 1.2 供试农药

本研究所用的 72% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (甲维盐)、97% 氯虫苯甲酰胺 (康宽)、95% 溴氰虫酰胺 (倍内威、沃多农、维瑞玛)、70% 茚虫威 (安打)、 $\geq 98\%$  溴虫腈 (除尽、虫螨腈)、12% 甲维·茚虫威, 均由北京中保绿农高新科技有限公司提供。

## 1.3 测定方法

采用点滴法。所选农药用丙酮稀释成 5-7 个浓度梯度, 根据头壳大小和体长判断幼虫龄期, 选择有活力、生长发育一致的幼虫, 用微量点滴仪在虫体前胸背板处点 1  $\mu\text{L}$  供试农药, 然后放入盛有人工饲料的 24 孔养虫板内, 每个浓度处理 24 头试虫。处理后 72 h 查结果, 用毛笔轻触虫体, 试虫不能正常爬行则视为死亡。

## 1.4 数据分析

采用 POLO-PC 分析软件计算毒力回归曲线、致死中浓度  $\text{LC}_{50}$  及 95% 置信区间 (LeOra Software, Berkeley, CA)。

# 2 结果与分析

## 2.1 6 种杀虫剂对棉铃虫 3 龄幼虫的毒力

廊坊种群对甲维盐、氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、茚虫威、溴虫腈和甲维·茚虫威的  $\text{LC}_{50}$  分别为 2.337、0.665、8.154、41.404、182.198 和 6.400  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 毒杀效果依次为: 氯虫苯甲酰胺 > 甲维盐 > 甲维·茚虫威 > 溴氰虫酰胺 > 茚虫威 > 溴虫腈。保定种群的  $\text{LC}_{50}$  分别为 2.938、1.920、6.730、8.227、113.340 和 2.171  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 毒杀效果依次为: 氯虫苯甲酰胺 > 甲维·茚虫威 > 甲维盐 > 溴氰虫酰胺 > 茚虫威 > 溴虫腈。夏津种群的  $\text{LC}_{50}$  分别为

2.767、2.359、15.617、9.491、144.252 和 3.17  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 毒杀效果依次为: 氯虫苯甲酰胺 > 甲维盐 > 甲维·茚虫威 > 茚虫威 > 溴氰虫酰胺 > 溴虫腈。新乡种群的  $\text{LC}_{50}$  分别为 1.431、1.348、7.128、118.931 和 1.136  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 毒杀效果依次为: 甲维·茚虫威 > 氯虫苯甲酰胺 > 甲维盐 > 茚虫威 > 溴虫腈 (表 2)。总体来看, 氯虫苯甲酰胺对田间棉铃虫的毒杀效果最好, 其次依次为甲维盐、甲维·茚虫威、溴氰虫酰胺、茚虫威和溴虫腈。

比较不同地理种群棉铃虫对同种农药的敏感性差异, 结果发现: 不同地区棉铃虫种群对茚虫威的敏感性差异最大, 廊坊种群、保定种群、夏津种群和新乡种群的  $\text{LC}_{50}$  分别为 41.404、8.227、9.491 和 7.128  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 相对倍数最大为 5.8 倍; 其次是甲维·茚虫威, 廊坊种群、保定种群、夏津种群和新乡种群的  $\text{LC}_{50}$  分别为 6.400、2.171、3.170 和 1.136  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 相对倍数最大为 5.6 倍; 廊坊种群、保定种群、夏津种群和新乡种群对氯虫苯甲酰胺的  $\text{LC}_{50}$  分别为 0.665、1.920、2.359 和 1.348  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 相对倍数最大为 3.5 倍; 廊坊种群、保定种群、夏津种群对溴氰虫酰胺的  $\text{LC}_{50}$  分别为 8.154、6.730 和 15.617  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 相对倍数最大为 2.3 倍; 廊坊种群、保定种群、夏津种群和新乡种群对甲维盐的  $\text{LC}_{50}$  分别为 2.337、2.938、2.767 和 1.431  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; 相对倍数最大为 2.0 倍。种群间差异最小的是溴虫腈, 廊坊种群、保定种群、夏津种群和新乡种群的  $\text{LC}_{50}$  分别为 182.198、113.340、144.252 和 118.931  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; 相对倍数最大为 1.6 倍 (表 2)。

## 2.2 甲维盐、氯虫苯甲酰胺对棉铃虫 2-5 龄幼虫的毒力

由于氯虫苯甲酰胺和甲维盐在测试的 6 种农药中对棉铃虫的毒杀效果最好, 所以选择这两种农药进一步测定了它们对夏津种群 2-5 龄幼虫的毒杀作用 (表 3)。从表 3 结果看出: 2-5 龄幼虫对甲维盐的  $\text{LC}_{50}$  分别为 0.396、2.767、10.797 和 1151.424  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 表明甲维盐对 2-4 龄幼虫的毒杀效果较好, 而对 5 龄明显较差, 其  $\text{LC}_{50}$  明显高于 2 龄, 相对倍数高达 2 907 倍。氯虫苯

表 2 6 种杀虫剂对棉铃虫田间种群 3 龄幼虫的毒力测定

Table 2 Toxicity of six insecticides on 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera* in different field populations

| 农药名称<br>Insecticide           | 地理种群<br>Population    | 斜率<br>Slope $\pm$ SE | LC <sub>50</sub> (95% FL)<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) | 相对倍数<br>Relative ratio |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 甲维盐<br>Emamectin benzoate     | 河北廊坊 Langfang, Hebei  | 1.474 $\pm$ 0.271    | 2.337 (1.263-3.637)                                               | 1.6                    |
|                               | 河北保定 Baoding, Hebei   | 1.414 $\pm$ 0.245    | 2.938 (1.628-4.592)                                               | 2.0                    |
|                               | 山东夏津 Xiajin, Shandong | 1.672 $\pm$ 0.271    | 2.767 (1.677-4.119)                                               | 1.9                    |
|                               | 河南新乡 Xinxiang, Henan  | 1.050 $\pm$ 0.224    | 1.431 (0.250-3.127)                                               | 1.0                    |
| 氯虫苯甲酰胺<br>Chlorantraniliprole | 河北廊坊 Langfang, Hebei  | 0.964 $\pm$ 0.212    | 0.665 (0.220-1.309)                                               | 1.0                    |
|                               | 河北保定 Baoding, Hebei   | 1.434 $\pm$ 0.230    | 1.920 (0.802-4.324)                                               | 2.9                    |
|                               | 山东夏津 Xiajin, Shandong | 1.511 $\pm$ 0.230    | 2.359 (0.905-5.740)                                               | 3.5                    |
|                               | 河南新乡 Xinxiang, Henan  | 3.886 $\pm$ 0.848    | 1.348 (1.007-1.745)                                               | 2.0                    |
| 溴氰虫酰胺<br>Cyantraniliprole     | 河北廊坊 Langfang, Hebei  | 0.563 $\pm$ 0.179    | 8.154 (3.144-76.351)                                              | 1.2                    |
|                               | 河北保定 Baoding, Hebei   | 1.268 $\pm$ 0.187    | 6.730 (1.983-17.145)                                              | 1.0                    |
|                               | 山东夏津 Xiajin, Shandong | 0.539 $\pm$ 0.182    | 15.617 (5.374-542.723)                                            | 2.3                    |
|                               | 河南新乡 Xinxiang, Henan  | 1.126 $\pm$ 0.336    | 7.128 (0.797-14.234)                                              | 1.0                    |
| 茚虫威<br>Indoxacarb             | 河北廊坊 Langfang, Hebei  | 2.217 $\pm$ 0.355    | 41.404 (31.188-55.096)                                            | 5.8                    |
|                               | 河北保定 Baoding, Hebei   | 1.627 $\pm$ 0.414    | 8.227 (2.437-13.569)                                              | 1.2                    |
|                               | 山东夏津 Xiajin, Shandong | 1.904 $\pm$ 0.447    | 9.491 (3.925-14.373)                                              | 1.3                    |
|                               | 河南新乡 Xinxiang, Henan  | 1.126 $\pm$ 0.336    | 7.128 (0.797-14.234)                                              | 1.0                    |
| 溴虫腈<br>Chlorfenapyr           | 河北廊坊 Langfang, Hebei  | 2.314 $\pm$ 0.367    | 182.198 (137.681-239.005)                                         | 1.6                    |
|                               | 河北保定 Baoding, Hebei   | 2.505 $\pm$ 0.406    | 113.340 (44.948-207.464)                                          | 1.0                    |
|                               | 山东夏津 Xiajin, Shandong | 1.740 $\pm$ 0.327    | 144.252 (97.240-201.071)                                          | 1.3                    |
|                               | 河南新乡 Xinxiang, Henan  | 2.906 $\pm$ 0.456    | 118.931 (57.261-209.616)                                          | 1.0                    |
| 甲维·茚虫威<br>M-EBI               | 河北廊坊 Langfang, Hebei  | 1.093 $\pm$ 0.206    | 6.400 (2.178-55.346)                                              | 5.6                    |
|                               | 河北保定 Baoding, Hebei   | 2.037 $\pm$ 0.294    | 2.171 (0.888-5.438)                                               | 1.9                    |
|                               | 山东夏津 Xiajin, Shandong | 1.126 $\pm$ 0.204    | 3.170 (1.870-5.548)                                               | 2.8                    |
|                               | 河南新乡 Xinxiang, Henan  | 0.725 $\pm$ 0.186    | 1.136 (0.303-2.667)                                               | 1.0                    |

甲酰胺对 2-5 龄幼虫都有较好的毒杀效果, LC<sub>50</sub> 分别为 0.293、2.359、3.269 和 6.729  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。氯虫苯甲酰胺对 5 龄幼虫的毒杀效果明显优于甲维盐。

### 3 讨论

本研究结果显示甲维盐对棉铃虫的毒杀效果很好, 而且不同地区采集的棉铃虫对甲维盐敏感性差异不大。本研究还测定了甲维盐和茚虫威的复配剂-甲维·茚虫威对棉铃虫的毒杀效果, 发现该农药效果也很好, 仅次于甲维盐。甲维盐主要作用于谷氨酸盐门控氯离子通道 (Bloomquist,

2003; Wolstenholme, 2012), 而茚虫威作用于神经细胞钠离子通道 (杨丙连等, 2012), 两者属于不同类型的杀虫剂, 合理的轮用或混用, 不仅可以提高药效, 还可以延缓抗性的产生。

氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺都属于双酰胺类杀虫剂。本试验结果显示氯虫苯甲酰胺对棉铃虫具有非常好的杀虫效果, 优于溴氰虫酰胺。本研究是采用点滴法进行的室内生物测定, 而溴氰虫酰胺具有内吸性, 能够在植物木质部中传导 (Foster *et al.*, 2012), 田间应用时喷洒后的内吸传导作用可能会增加其毒杀效果。这两种农药都是作用于鱼尼丁受体 (Lahm *et al.*, 2007; 闫

表 3 甲维盐和氯虫苯甲酰胺对 2-5 龄棉铃虫幼虫的毒力

Table 3 Toxicity of emamectin benzoate and chlorantraniliprole on the 2nd- 5th instar larvae of *Helicoverpa armigera*

| 农药名称 Insecticide              | 龄期 Instar        | 斜率 Slope ± SE | LC <sub>50</sub> (95% FL) (μg·mL <sup>-1</sup> ) | 相对倍数<br>Relative ratio |
|-------------------------------|------------------|---------------|--------------------------------------------------|------------------------|
| 甲维盐<br>Emamectin benzoate     | 2 龄幼虫 2nd instar | 1.744 ± 0.179 | 0.396 (0.249-0.596)                              | 1                      |
|                               | 3 龄幼虫 3rd instar | 1.672 ± 0.271 | 2.767 (1.677-4.119)                              | 7                      |
|                               | 4 龄幼虫 4th instar | 1.641 ± 0.246 | 10.779 (3.065-37.603)                            | 27                     |
|                               | 5 龄幼虫 5th instar | 1.510 ± 0.340 | 1 151.424 (756.038-2 531.644)                    | 2 907                  |
| 氯虫苯甲酰胺<br>Chlorantraniliprole | 2 龄幼虫 2nd instar | 1.663 ± 0.184 | 0.293 (0.190-0.435)                              | 1                      |
|                               | 3 龄幼虫 3rd instar | 1.511 ± 0.230 | 2.359 (0.905-5.740)                              | 8                      |
|                               | 4 龄幼虫 4th instar | 2.789 ± 0.406 | 3.269 (2.290-4.970)                              | 11                     |
|                               | 5 龄幼虫 5th instar | 1.284 ± 0.368 | 6.729 (0.892-13.634)                             | 23                     |

潇敏等, 2009; 郑雪松等, 2012)。因此防治棉铃虫时, 尽可能不进行混用或同一年轮用。因其作用方式独特, 与传统农药没有交互抗性(周蕴赟, 2014), 因此可与其他种类农药混用或轮用。

棉铃虫高龄幼虫喜欢钻蛀危害, 此时用药防治较困难, 效果会受到一定影响。所以, 田间防控棉铃虫的最佳时机是卵期或低龄幼虫期(张文吉等, 1994)。针对当前生产中棉铃虫高龄幼虫危害严重问题, 本研究分析比较了氯虫苯甲酰胺和甲维盐对棉铃虫 2-5 龄幼虫的毒杀效果, 结果表明这两种农药对 2-4 龄幼虫毒杀效果较好, 氯虫苯甲酰胺对 5 龄幼虫的毒效高于甲维盐。因此, 在棉铃虫高龄幼虫防治中, 可选用氯虫苯甲酰胺。

在向日葵(食葵和油葵)等作物的种植管理过程中, 蜜蜂等传粉昆虫发挥着至关重要的作用。宁夏、内蒙古、新疆、山西等地方, 生产上通过引进和释放蜜蜂, 促进向日葵的授粉与增产(褚忠桥等, 2014; 刘晨光等, 2016; 逯彦果, 2016; 揭浩亮等, 2017)。因此, 在放蜂区进行棉铃虫的应急化学防治时, 应选择对蜜蜂、天敌比较安全的氯虫苯甲酰胺(刘芳等, 2009; 张怀江等, 2011)。特殊情况下, 如需使用甲维盐, 要避开蜜源植物开花授粉期(裴晖等, 2013; 何杏等, 2015; AbduAllah and Pittendrigh, 2017)。

## 参考文献 (References)

Abduallah GAM, Pittendrigh BR, 2017. Lethal and sub-lethal effects

of select macrocyclic lactones insecticides on forager worker honey bees under laboratory experimental conditions. *Ecotoxicology*, 27(1): 81–88.

Bloomquist JR, 2003. Chloride channels as tools for developing selective insecticides. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 54(4): 145–156.

Chu ZQ, Wang B, Luo YG, 2014. Yield-increasing effect of bee pollination on sunflowers in Ningxia province. *Apiculture of China*, 65(1): 29–31. [褚忠桥, 王彪, 罗应国, 2014. 宁夏向日葵蜜蜂授粉增产试验研究. *中国蜂业*, 65(1): 29–31.]

Foster SP, Denholm I, Rison JL, Portillo HE, Margaritopoulos J, Slater R, 2012. Susceptibility of standard clones and European field populations of the green peach aphid, *Myzus persicae*, and the cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), to the novel anthranilic diamide insecticide cyantraniliprole. *Pest Management Science*, 68(4): 629–633.

Guo QL, 2007. Resistance of *Helicoverpa armigera* (Hübner) to four insecticides and effect of transgenic Bt cotton to the resistance. Master thesis. Taian: Shandong Agricultural University. [郭庆龙, 2007. 棉铃虫对 4 种杀虫剂的抗性现状及 Bt 棉对棉铃虫抗药性的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]

Guo YY, 1998. Research on Cotton Bollworm. Beijing: China Agriculture Press. 1–291. [郭予元, 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社. 1–291.]

He X, Wang YJ, Liu JF, Gao JL, Zhao DX, 2015. Acute toxicity and risk assessment of four insecticides on *Apis cerana hainana*. *Agrochemicals*, 54(12): 911–914, 917. [何杏, 王玉洁, 刘俊峰, 高景林, 赵冬香, 2015. 4 种农药对海南中蜂的急性毒性及风险评估. *农药*, 54(12): 911–914, 917.]

Jie HL, Teng YZ, Zheng YH, Guo CJ, Wu Z, Huo YG, Li Y, Liang LY, 2017. Effect of bee pollination on sunflower yields in north part of Shanxi Province. *Journa of Bee*, 37(11): 1–2. [揭浩亮,

- 滕跃中, 郑永惠, 郭成俊, 吴政, 霍永刚, 李烨, 梁丽英, 2017. 晋北向日葵蜜蜂授粉增产效果研究. 蜜蜂杂志, 37(11): 1–2.]
- Lahm GP, Stevenson TM, Selby TP, Freudenberger JH, Cordova D, Flexner L, Bellin CA, Dubas CM, Smith BK, Hughes KA, Hollingshaus JG, Clark CE, Benner EA, 2007. Rynaxypyr TM: a new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective ryanodine receptor activator. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letter*, 17(22): 6274–6279.
- Li YP, 2012. Resistance monitoring to three insecticides and resistance mechanism to fenvalerate in *Helicoverpa armigera*. Master thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [李亚鹏, 2012. 棉铃虫田间种群对三种杀虫剂的抗性检测及对氰戊菊酯抗性机理的研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Liang GM, Tan WJ, Guo YY, 1999. An improvement in the technique of artificial rearing cotton bollworm. *Plant Protection*, 25(2): 15–17. [梁革梅, 谭维嘉, 郭予元, 1999. 棉铃虫人工饲料技术的改进. 植物保护, 25(2): 15–17.]
- Liu CG, Liu BY, Yang LG, Zhao ZH, Liu JX, Chai YX, Wang YJ, 2016. The application of yield-increasing pattern of bee pollination on sunflowers and environmental-friendly pest management in Bayannaoer. *China Plant Protection*, 36(5): 29–31. [刘晨光, 刘宝玉, 杨立国, 赵中华, 刘家骥, 柴玉鑫, 王玉杰, 2016. 巴彦淖尔市向日葵蜜蜂授粉与绿色防控增产技术模式及应用. 中国植保导刊, 36(5): 29–31.]
- Liu F, Xi BG, Bao SW, Zhang Q, Qin JX, Shi XM, Jiang T, Zhao JL, 2009. Control effectiveness of chlorantraniliprole on *Cnaphalocrocis medinalis* and evaluation of its safety to beneficial arthropods in the rice fields. *Plant Protection*, 35(5): 139–143. [刘芳, 奚本贵, 包善微, 张桥, 秦吉祥, 石细敏, 江涛, 赵俊玲, 2009. 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. 植物保护, 35(5): 139–143.]
- Lu YG, 2016. Research progress on bee pollination on sunflowers in China. *Apiculture of China*, 67(11): 35–36. [遯彦果, 2016. 国内向日葵蜜蜂授粉研究进展综述. 中国蜂业, 67(11): 35–36.]
- Lu YH, Jiang YY, Liu J, Zeng J, Yang XM, Wu KM, 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 19–24. [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨现明, 吴孔明, 2018. 种植业结构调整增加棉铃虫灾变风险. 应用昆虫学报, 55(1): 19–24.]
- Pei H, Ou XM, Yu WL, Yi ZH, Bai JJ, Gao DL, 2013. The acute toxicity of four insecticides to honeybee *Apis mellifera*. *World Insecticides*, 35(4): 50–51, 54. [裴晖, 欧晓明, 于伟丽, 易正华, 白建军, 高德良, 2013. 4 种杀虫剂对意大利蜜蜂的急性毒性评价. 世界农药, 35(4): 50–51, 54.]
- Wolstenholme AJ, 2012. Glutamate-gated Chloride channels. *Journal of Biological Chemistry*, 287(48): 40232–40238.
- Wu KM, Liang GM, Guo YY, 1997. Phoxim resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 90(4): 868–872.
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ, 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321(5896): 1676–1678.
- Yan XM, Ning BK, Wang LP, Zhang YY, Zhu LM, 2009. The development and application of chlorantraniliprole. *World Insecticides*, 31(6): 20–23. [闫潇敏, 宁斌科, 王列平, 张媛媛, 朱利民, 2009. 新型邻酰胺基苯甲酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺的合成与应用. 世界农药, 31(6): 20–23.]
- Yang BL, Sun K, Zhang MH, 2012. A review of synthetic methods of indoxacarb. *Agrochemicals*, 51(10): 774–776, 779. [杨丙连, 孙克, 张敏恒, 2012. 茚虫威合成方法述评. 农药, 51(10): 774–776, 779.]
- Yu WT, 2014. Mechanism of field-evolved resistance to fenvalerate and resistance risk assessment of new insecticides in *Helicoverpa armigera*. Master thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [于婉婷, 2014. 棉铃虫田间种群氯戊菊酯抗性的机理及新药剂抗性风险评估. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Zhang HJ, Qiu GS, Yan WT, Chen HJ, Zhang P, Zheng YC, Liu CL, 2011. Effectiveness of rynaxypyr on controlling main pests and its impact on the predatory insects in apple orchard. *Journal of Environmental Entomology*, 33(4): 493–501. [张怀江, 仇贵生, 闫文涛, 陈汉杰, 张平, 郑运城, 刘池林, 2011. 氯虫苯甲酰胺对苹果树主要害虫的控制作用及天敌的影响. 环境昆虫学报, 33(4): 493–501.]
- Zhang WJ, Wang CJ, Zhang YJ, Li YH, 1994. The comparison of insecticide resistance of different ages cotton bollworm larvae. *Plant Protection*, 20(4): 29–30. [张文吉, 王成菊, 张友军, 李玉华, 1994. 棉铃虫幼虫不同龄期的抗药性比较. 植物保护, 20(4): 29–30.]
- Zhang YJ, Wu KM, Guo YY, 2001. On the spatio-temporal expression of the contents of Bt insecticidal protein and the resistance of Bt transgenic cotton to cotton bollworm. *Acta Phytophylacica Sinica*, 28(1): 1–6. [张永军, 吴孔明, 郭予元, 2001. 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及对棉铃虫的毒杀效果. 植物保护学报, 28(1): 1–6.]
- Zheng XS, Lai TC, Shi LB, Lu WP, 2012. Current situation on application of novel diamide insecticides. *Agrochemicals*, 51(8): 554–557, 580. [郑雪松, 赖添财, 时立波, 卢伟平, 2012. 双酰胺类杀虫剂应用现状. 农药, 51(8): 554–557, 580.]
- Zhou YY, 2014. Design, synthesis and bioactivities of novel ryanodine receptor insecticides. Ph.D. dissertation. Tianjin: Nankai University. [周蕴贇, 2014. 鱼尼丁受体类杀虫剂的设计合成和生物活性研究. 博士学位论文. 天津: 南开大学.]