

# 辣椒碱与 3 种药剂对温室白粉虱的联合毒力

刘国强, 白冰, 毕于慧, 栾军波\*, 于志国\*

(沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866)

**摘要** 为了筛选出对温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 具有增效作用的农药复配组合, 室内采用玻璃管饲喂法测定了辣椒碱与吡虫啉、溴氰虫酰胺、苦参碱复配对温室白粉虱初羽化成虫的联合毒力, 并以共毒因子法与共毒系数法对各复配组合的联合毒力进行评价。试验结果表明, 共毒因子大于 20 的配比共 6 组, 进一步细化配比后筛选出共毒系数大于 120 的复配组合, 其中 14 组具有增效作用, 辣椒碱分别与吡虫啉、溴氰虫酰胺、苦参碱按 287:1、1 558:1、423:1 复配时增效作用最显著, 其共毒系数分别为 257.89、255.65、248.80,  $LC_{50}$  分别为 31.83、128.07、98.87 mg/L。辣椒碱与吡虫啉按 287:1 复配为最佳复配组合。

**关键词** 温室白粉虱; 联合毒力; 共毒因子; 共毒系数

中图分类号: S 481.9 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwbh.2020196

## Joint toxicity of capsaicin with three insecticides against whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)

LIU Guoqiang, BAI Bing, BI Yuhui, LUAN Junbo\*, YU Zhiguo\*

(College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract** In order to screen out the combinations of insecticide with synergism to whitefly *Trialeurodes vaporariorum*, joint toxicity of capsaicin compounded with imidacloprid, cyantraniliprole and matrine against adults of the whitefly *T. vaporariorum* were determined by feeding method with glass tube in laboratory, and the co-toxicity effects of each combinations were evaluated by the method of co-toxicity factor and co-toxicity coefficient. The results showed that six groups' co-toxicity factors were greater than 20, and 14 combinations with synergism and co-toxicity coefficient of more than 120 were selected out after refined proportion. When capsaicin compounded with imidacloprid, cyantraniliprole and matrine at the ratio of 287:1, 1 558:1 and 423:1, the synergistic effect was the most prominent, the co-toxicity coefficients were 257.89, 255.65, 248.80, and the  $LC_{50}$  values were 31.83, 128.07, 98.87 mg/L, respectively. The best combination was capsaicin and imidacloprid compounded at the ratio of 287:1.

**Key words** *Trialeurodes vaporariorum*; joint toxicity; co-toxicity factor; co-toxicity coefficient

温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) 属半翅目粉虱科, 寄主植物达 600 余种<sup>[1]</sup>, 在蔬菜设施栽培中发生严重<sup>[2]</sup>。其以刺吸植物汁液、分泌蜜露引起煤污病、传播植物病毒等方式为害<sup>[3]</sup>, 且以多种虫态同时为害<sup>[4]</sup>, 造成严重损失<sup>[5]</sup>。长期以来, 温室白粉虱的防治主要依靠施用化学农药, 导致抗药性问题突出, 防治效果降低<sup>[6-7]</sup>。例如青岛温室白粉虱种群对吡虫啉抗性倍数达 10 倍, 已接近中等抗性水平<sup>[8]</sup>, 山西多地温室白粉虱成虫对阿维菌

素、啮虫脒、吡虫啉抗性倍数高达 33.7、16.9、15.7, 均达到中抗水平<sup>[9]</sup>。

由于新型杀虫剂的研发周期较长、投入巨大, 因此, 将不同种类、不同作用机制的药剂进行科学复配已成为农业上防治白粉虱的新选择, 这样既能有效防治害虫, 又可延缓抗药性的产生, 并且能有效延长药剂使用寿命。目前已经筛选出了多种可有效防治害虫的复配剂。例如, 吡虫啉与氰戊菊酯按 2:3 复配时对桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 的增效作用显

收稿日期: 2020-04-14 修订日期: 2020-05-28

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2018YFD0800401)

\* 通信作者 E-mail: 栾军波 jbluan@hotmail.com; 于志国 yu\_zhiguo2012@163.com

著,共毒系数达 276.82<sup>[10]</sup>;吡虫啉与异丙威配比为 7:400 时对白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 防治效果突出,共毒系数达到 638.1<sup>[11]</sup>;阿维菌素与氟啶虫胺胍按 2:1 混配时对麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) 的联合毒力显著增强,其共毒系数为 241.3<sup>[12]</sup>。

辣椒碱是辣椒属植物产生的次级代谢产物,最早由 Thresh 在 1876 年从辣椒果实中分离得到<sup>[13]</sup>,是一种极度辛辣的香草酰胺类生物碱。研究表明,辣椒碱对小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus) 具有一定的触杀作用和胃毒作用,以及较强的产卵忌避活性和拒食活性,并且对其生长发育也有一定的影响<sup>[14]</sup>;辣椒碱对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 成虫、卵和若虫的 LC<sub>50</sub> 分别为 3 525.79、1 603.29 和 1 526.27 mg/L<sup>[15]</sup>;辣椒碱对棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 有较好的杀虫活性,处理 48 h 的 LC<sub>50</sub> 为 271.54 mg/L<sup>[16]</sup>。

为了筛选出对温室白粉虱具有较高毒力的增效组合,增强辣椒碱的杀虫毒力,同时延缓温室白粉虱的抗药性产生,本研究将辣椒碱与 3 种杀虫剂复配,在辣椒碱、吡虫啉、溴氰虫酰胺、苦参碱对温室白粉虱初羽化成虫杀虫活性测定的基础上,根据等效线法设置配比,以共毒因子法定性筛选与共毒系数法定量分析相结合确定具有增效活性的复配组合,明确其最佳配比及联合毒力效果,为温室白粉虱的化学防治提供了科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试虫源

温室白粉虱由沈阳农业大学栾军波教授实验室提供。饲养条件:温度 27℃±1℃,湿度 RH(60±5)%,光周期 L//D = 14 h//10 h。随机挑选初羽化的成虫供试。

#### 1.1.2 供试药剂

97.4%辣椒碱,沈阳农业大学植物保护学院微生物次生代谢产物研究室分离提纯;97%吡虫啉原药,海利尔药业集团股份有限公司;96%溴氰虫酰胺原药,上海杜邦农化有限公司;98%苦参碱原药,上海麦克林生化科技有限公司;丙酮分析纯、蔗糖分析纯、吐温-80 化学纯,均购自国药集团化学制剂有限公司。

### 1.1.3 仪器设备

体视显微镜 SMZ-140,北京荣兴光恒科技有限公司;实验室冷藏箱 HLR-310F,青岛海尔生物医疗股份有限公司;恒温恒湿光照培养箱 MLR-352H-PC,松下健康医疗器械株式会社。

## 1.2 方法

### 1.2.1 单剂毒力测定

辣椒碱用丙酮溶解配制成梯度浓度母液,取 10 μL 加入 30%蔗糖营养液配制成试验浓度,并加入微量吐温-80 充分溶解,对照组以 10 μL 丙酮代替辣椒碱;吡虫啉、溴氰虫酰胺、苦参碱用 30%蔗糖营养液溶解并等比稀释至试验浓度,以 30%蔗糖营养液为对照。

参考严光的方法<sup>[17]</sup>并加以改进。取玻璃双通管,一端用 Parafilm 封口膜封口,膜上滴加 180 μL 药液,再覆盖 3 层封口膜,取初羽化成虫 30 头转移到管中,管的另一端用纱网封口,并用锡箔纸包裹外壁。每处理 5 次重复。玻璃管添加药液的一端向上置于 27℃、RH 60%、光周期 L//D = 14 h//10 h 的恒温恒湿光照培养箱中,2 d 后换药,换药时重新封膜滴加药液。辣椒碱处理 4 d 后计数(辣椒碱单剂发挥药效较为缓慢),其他杀虫剂处理 2 d 后计数,解剖针轻触无反应的虫体视为死亡。

### 1.2.2 共毒因子的测定

采用 Mansour 等<sup>[18]</sup>的共毒因子法定性筛选出共毒因子大于 20 的增效配比。假设药剂 A、B 的 LC<sub>50</sub> 为 a、b,选择具有增效作用的 5 个配比,即等效线法中相加作用线的六等分点,表示为 a/5b、a/2b、a/b、2a/b、5a/b,其浓度分别为 (a+5b)/6、(a+2b)/3、(a+b)/2、(2a+b)/3、(5a+b)/6。具体配制方法:将各单剂配成 LC<sub>50</sub> 药液,按体积比 1:5、1:2、1:1、2:1、5:1 混合,对照组加等量丙酮及吐温-80。生物测定方法及数据处理同 1.2.1,处理 2 d 后计数。共毒因子计算公式如下:

$$\text{共毒因子} = \frac{\text{实测死亡率} - \text{理论死亡率}}{\text{理论死亡率}} \times 100;$$

共毒因子 > 20 表示有增效作用; -20 ≤ 共毒因子 ≤ 20 表示有相加作用;共毒因子 < -20 表示拮抗作用。

### 1.2.3 共毒系数的测定

采用共毒系数法(co-toxicity coefficient, CTC)<sup>[19]</sup>确定最佳配比。在共毒因子 > 20 的比例范围内进

一步细化配比,根据死亡率设置 5~7 个浓度梯度测定联合毒力,求出  $LC_{50}$  及毒力回归方程,计算共毒系数,筛选出共毒系数 > 120 的最佳配比。生物测定方法同 1.2.1,处理 2 d 后计数。

$$\text{相对毒力指数(TI)} = \frac{\text{标准药剂 } LC_{50}}{\text{供试药剂 } LC_{50}} \times 100;$$

$$\text{混剂实际毒力指数(ATI)} = \frac{\text{标准药剂 } LC_{50}}{\text{混剂 } LC_{50}} \times 100;$$

混剂理论毒力指数(TTI) = TI(A) × 药剂 A 在混剂中百分含量 + TI(B) × 药剂 B 在混剂中的百分含量;

$$\text{共毒系数(CTC)} = \frac{\text{混剂实际毒力指数(ATI)}}{\text{混剂理论毒力指数(TTI)}} \times 100。$$

共毒系数 > 120 为增效作用;  $80 \leq$  共毒系数  $\leq$  120 为相加作用; 共毒系数 < 80 为拮抗作用。计算共毒系数时以复配组合中  $LC_{50}$  较大的单剂为标准杀虫剂。

### 1.3 数据分析

根据温室白粉虱的存活情况得出死亡率,并用 Abbott's 公式计算校正死亡率:

$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100\%。$$

采用 SPSS 20 软件<sup>[20-21]</sup> 和 Microsoft Excel 2016 软件对数据进行统计分析,得出毒力回归方程、相关系数、致死中浓度及其 95% 置信区间等相关参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 单剂毒力测定结果

4 种药剂对温室白粉虱成虫的毒力测定结果如表 1 所示,吡虫啉的毒力最高,  $LC_{50}$  为 0.34 mg/L,辣椒碱毒力最低,  $LC_{50}$  为 490.81 mg/L,毒力大小顺序为吡虫啉 > 溴氰虫酰胺 > 苦参碱 > 辣椒碱。

表 1 4 种供试药剂对温室白粉虱成虫的毒力<sup>1)</sup>

Table 1 Toxicities of four insecticides against adults of whitefly *Trialeurodes vaporariorum*

| 药剂<br>Insecticide     | 斜率 ± 标准误<br>b ± SE | 致死中浓度(95%置信限)/mg·L <sup>-1</sup><br>LC <sub>50</sub> (95% confidence interval) | 相关系数<br>Correlation coefficient | $\chi^2$ (df=3) |
|-----------------------|--------------------|--|---------------------------------|-----------------|
| 辣椒碱 capsaicin         | 1.609 ± 0.455      | 490.81(162.09~818.60)  | 0.965 1                         | 0.463           |
| 苦参碱 matrine           | 1.268 ± 0.388      | 1.16(0.557~2.205)  | 0.994 2                         | 0.241           |
| 溴氰虫酰胺 cyantranilprole | 2.191 ± 0.489      | 0.63(0.360~0.894)  | 0.988 0                         | 0.595           |
| 吡虫啉 imidacloprid      | 2.135 ± 0.411      | 0.34(0.220~0.459)  | 0.987 7                         | 0.617           |

1) 辣椒碱处理 96 h 后计数,其他 3 种药剂处理 48 h 后计数。

Data were collected 96 hours after capsaicin treatment and 48 hours for the other three insecticides.

### 2.2 共毒因子法定性筛选结果

辣椒碱与 3 种药剂各对比对温室白粉虱的共毒因子测定结果如表 2 所示,试验的 3 个复配组合中,共毒因子 > 20 的共有 6 组,其中辣椒碱与吡虫啉

287:1、1 435:1、2 870:1 复配时,共毒因子分别为 33.81、35.87、37.11;与溴氰虫酰胺 1 558:1、3 895:1 复配时,共毒因子分别为 28.71、22.49;与苦参碱 423:1 复配时,共毒因子为 22.34。

表 2 各复配组合对温室白粉虱成虫的共毒因子<sup>1)</sup>

Table 2 Co-toxicity factors of the combinations on adults of whitefly *Trialeurodes vaporariorum*

| 复配组合<br>Composite formulation              | 质量比<br>Ratio | 查自 LC-P 线死亡率/%<br>Mortality derived from LC-P line |       | 预期死亡率/%<br>Theoretical mortality | 实际死亡率/%<br>Actual mortality | 共毒因子<br>Co-toxicity factor |
|--|--------------|--|-------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|  |              | A  | B     |                                  |                             |                            |
| 辣椒碱 + 吡虫啉<br>capsaicin + imidacloprid      | 287:1        | 10.69  | 42.88 | 53.57                            | 71.68                       | 33.81                      |
|  | 717:1        | 22.55  | 34.87 | 57.42                            | 49.07                       | -14.53                     |
|  | 1 435:1      | 31.61  | 25.43 | 57.04                            | 77.50                       | 35.87                      |
|  | 2 870:1      | 38.98  | 14.96 | 53.94                            | 73.96                       | 37.11                      |
|  | 7 175:1      | 44.95  | 4.52  | 49.47                            | 46.52                       | -5.96                      |
| 辣椒碱 + 溴氰虫酰胺<br>capsaicin + cyantranilprole | 156:1        | 10.69  | 43.18 | 53.87                            | 33.33                       | -38.12                     |
|  | 390:1        | 22.55  | 35.06 | 57.61                            | 68.18                       | 18.35                      |
|  | 779:1        | 31.61  | 25.75 | 57.36                            | 63.64                       | 10.94                      |
|  | 1 558:1      | 38.98  | 15.17 | 54.15                            | 69.70                       | 28.71                      |
|  | 3 895:1      | 44.95  | 4.53  | 49.48                            | 60.61                       | 22.49                      |

续表 2 Table 2(Continued)

| 复配组合<br>Composite formulation | 质量比<br>Ratio | 查自 LC-P 线死亡率/%<br>Mortality derived from LC-P line |       | 预期死亡率/%<br>Theoretical mortality | 实际死亡率/%<br>Actual mortality | 共毒因子<br>Co-toxicity factor |
|-------------------------------|--------------|--|-------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                               |              | A  | B     |                                  |                             |                            |
| 辣椒碱+苦参碱<br>capsaicin+matrine  | 85:1         | 10.69  | 46.05 | 56.74                            | 58.53                       | 3.16                       |
|                               | 212:1        | 22.55  | 41.22 | 63.77                            | 72.97                       | 14.43                      |
|                               | 423:1        | 31.61  | 35.23 | 66.84                            | 81.77                       | 22.34                      |
|                               | 846:1        | 38.98  | 27.39 | 66.37                            | 79.27                       | 19.43                      |
|                               | 2 115:1      | 44.95  | 16.48 | 61.43                            | 37.80                       | -38.46                     |

1) 辣椒碱、吡虫啉、溴氰虫酰胺、苦参碱的配制浓度分别为 490.81、0.34、0.63、1.16 mg/L。下同。

Concentrations of capsaicin, imidacloprid, cyantraniliprole and matrine were 490.81, 0.34, 0.63 mg/L and 1.16 mg/L, respectively. The same below.

### 2.3 共毒系数法定量筛选结果

在共毒因子法定性筛选的基础上,进一步通过共毒系数法测定不同配比组合的增效作用。结果(表 3)表明,辣椒碱与吡虫啉各试验配比均具有增效作用,其中配比为 287:1 时共毒系数为 257.89,增效作用最为显著,配比为 3 587:1 时,共毒系数为

180.93,增效作用最弱;辣椒碱与溴氰虫酰胺各试验配比均具有增效作用,配比为 1 558:1 时,共毒系数为 255.65,增效作用最显著,配比为 3 895:1 时,共毒系数为 180.19,增效作用最弱;辣椒碱与苦参碱配比为 423:1 时,共毒系数为 248.80,增效作用最显著,配比为 846:1 时,共毒系数为 113.48,表现为相加作用。

表 3 各复配组合对温室白粉虱成虫的共毒系数

Table 3 Co-toxicity coefficients of the combinations on adults of whitefly *Trialeurodes vaporariorum*

| 复配组合<br>Composite formulation           | 质量比<br>Ratio | 斜率±标准误<br>b±SE | 致死中浓度(95%置信限)/mg·L <sup>-1</sup><br>LC <sub>50</sub> (95% confidence interval) | χ <sup>2</sup><br>(df=3) | 共毒系数(CTC)<br>Co-toxicity coefficient |
|---|--------------|----------------|--|--------------------------|--------------------------------------|
| 辣椒碱+吡虫啉<br>capsaicin+imidacloprid       | 215:1        | 1.199±0.446    | 29.78(7.27~64.50)  | 0.410                    | 215.96                               |
|   | 287:1        | 1.343±0.454    | 31.83(8.82~59.54)  | 0.238                    | 257.89                               |
|   | 359:1        | 1.303±0.451    | 42.77(12.31~83.81)   | 0.439                    | 230.15                               |
|   | 2 870:1      | 1.652±0.356    | 132.79(79.67~194.95)   | 0.639                    | 246.49                               |
|   | 3 587:1      | 1.410±0.327    | 193.82(119.42~305.47)  | 0.662                    | 180.93                               |
| 辣椒碱+溴氰虫酰胺<br>capsaicin+cyantraniliprole | 1 169:1      | 1.388±0.335    | 125.30(68.90~196.51)   | 0.923                    | 235.23                               |
|   | 1 558:1      | 1.400±0.355    | 128.07(65.05~202.02)   | 0.034                    | 255.65                               |
|   | 2 337:1      | 1.278±0.326    | 169.35(90.91~277.85)   | 1.421                    | 217.46                               |
|   | 3 895:1      | 1.373±0.367    | 227.05(124.39~383.78)  | 0.255                    | 180.19                               |
|   | 4 674:1      | 1.675±0.376    | 200.41(121.56~297.88)  | 0.452                    | 209.96                               |
| 辣椒碱+苦参碱<br>capsaicin+matrine            | 381:1        | 1.392±0.370    | 125.42(69.05~206.88)   | 0.446                    | 185.86                               |
|   | 423:1        | 1.014±0.308    | 98.87(40.19~179.03)  | 0.064                    | 248.80                               |
|   | 529:1        | 1.683±0.371    | 119.74(72.66~175.49)   | 0.488                    | 228.15                               |
|   | 677:1        | 1.109±0.319    | 128.96(59.28~224.07)   | 0.399                    | 234.56                               |
|   | 846:1        | 1.048±0.350    | 288.67(153.26~887.89)  | 0.694                    | 113.48                               |

### 3 讨论

辣椒碱作为一种植物源杀虫剂,其持效长、可降解、安全性高,对昆虫具有胃毒、触杀、驱避等多种作用方式。有研究表明,辣椒碱对烟粉虱体内的羧酸酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶、乙酰胆碱酯酶活性均有明显影响,且存在剂量或时间效应<sup>[22]</sup>。但是辣椒碱也存在生物源农药固有的不足,如起效慢、毒力较低等。本文采用辣椒碱与其他农药进行复配,既可减少用药量,提高对温室白粉虱的防治效果,又能发挥农药复配的优势,延缓抗药性的产生,为温室白粉虱

的田间防治提供科学理论依据。

据报道,辣椒碱与烟碱复配的微乳剂中各配比均有一定的增效作用,其中以烟碱与辣椒碱 12:1 复配增效作用最为明显,对菜青虫 *Pieris rapae* 的共毒系数达到 205,增效 1.10 倍<sup>[23]</sup>。厦门南草坪生物工程公司登记了 9% 辣椒碱·烟碱微乳剂和 1.2% 阿维菌素·辣椒碱微乳剂,主要用于防治蚜虫及菜青虫<sup>[24]</sup>。田间试验结果表明<sup>[25]</sup>,9% 辣椒碱·烟碱微乳剂对菜青虫和菜蚜 *Lipaphis erysimi* 均有良好的防治效果,害虫发生时以 60~100 g/hm<sup>2</sup> 喷雾,防效可达 90% 以上,对菜青虫的持效期为 7 d 以上,菜

蚜 14 d 以上,是防治两种害虫的理想药剂。这表明辣椒碱具有作为增效剂的实际应用价值,也为本试验的研究提供了理论支持。

本文的共毒系数法筛选结果显示,辣椒碱与吡虫啉、溴氰虫酰胺、苦参碱按 287:1、1 558:1、423:1 复配时增效作用显著,其共毒系数分别为 257.89、255.65、248.80,LC<sub>50</sub>分别为 31.83、128.07、98.87 mg/L。当然,在评价复配剂效果时,共毒系数的大小仅为标准之一,当增效作用相差不明显时,还应结合复配剂的 LC<sub>50</sub>对增效效果进行评价。本文筛选出的 3 个复配组合共毒系数大小相近,但致死中浓度却相差悬殊,因此,初步认为辣椒碱与吡虫啉按 287:1 复配为最佳复配组合,该配比复配剂产生相同毒力效果时,吡虫啉施用量减少约 32%,后续还需通过田间药效试验确定各配比对温室白粉虱的防治效果。

另外,本试验中各单剂及各复配组合的试验浓度和计数周期均是基于预试验筛选结果而确定的,辣椒碱与 3 种杀虫剂复配对温室白粉虱成虫 2 d 即可产生较强毒力效果,这可能是由于复配组合中其他 3 种杀虫剂起到了速效性,导致复配药剂比辣椒碱单剂药效发挥更快。

本试验首次研究了辣椒碱与 3 种杀虫剂复配对温室白粉虱的联合毒力,这将为防治温室白粉虱药剂配方的筛选与田间应用提供理论依据和技术支持。但这几种复配组合对温室白粉虱的作用机理以及在田间实际生产中的防治效果仍需进一步验证,还需通过剂型研究增加辣椒碱的溶解度,以减小药剂含量,并缩小两种原药的比例差距,进一步增强杀虫效果。同时,还应结合其他方法对温室白粉虱进行综合防治,比如农作物的轮作,多种杀虫剂及复配剂轮流使用,以及采用施药与挂黄板、释放丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 等天敌相结合的方式都是防治温室白粉虱的有效措施。

## 参考文献

- [1] 李彦蓉,任璐,韩巨才. 温室白粉虱对常用杀虫剂的敏感性测定[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(2):134-136.
- [2] 姜灵,洪波,王新谱,等. 常用杀虫剂与球孢白僵菌的相容性及对温室白粉虱的协同增效[J]. 植物保护,2018,44(1):199-204.
- [3] JIANG Y X, WALKER G P. Identification of phloem sieve elements as the site of resistance to silverleaf whitefly in resistant alfalfa genotypes [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2007, 125: 307-320.
- [4] 张文娟. 重庆地区烟田温室白粉虱实验种群生物学研究[D]. 重庆:西南大学,2016.
- [5] 赵悦,戴鹏,臧连生,等. 温室白粉虱在雪莲果和烟草上的生物学特性比较[J]. 环境昆虫学报,2018,40(6):1299-1305.
- [6] 刘世建,任丽,宁党锋,等. 化学药剂和黄板对温室白粉虱的防治效果[J]. 陕西农业科学,2014,60(6):6-9.
- [7] 卫秋阳. 球孢白僵菌与印楝素对温室白粉虱实验种群影响研究[D]. 重庆:西南大学,2017.
- [8] 王俊平,张爱霞,郑长英,等. 常用杀虫剂对烟粉虱和温室白粉虱的毒力测定[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2012,29(3):186-189.
- [9] 李彦蓉,任璐,韩巨才. 温室白粉虱对常用杀虫剂的抗药性监测[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(3):217-220.
- [10] 常静,张薇,李海平,等. 吡虫啉与三种拟除虫菊酯杀虫剂对马铃薯蚜的联合毒力[J]. 植物保护,2016,42(6):225-228.
- [11] 金剑雪,金道超,李文红,等. 防治白背飞虱的农药复配增效配方筛选[J]. 植物保护,2017,43(1):199-204.
- [12] 董文阳,王超杰,桑梦科,等. 阿维菌素与 3 种化学杀虫剂复配对麦二叉蚜的联合毒力[J]. 植物保护,2019,45(2):218-223.
- [13] THRESH I C. Capsaicin [J]. Analyst, 1876(1):149-151.
- [14] 刘少武. 辣椒碱提取与剂型加工及对小菜蛾作用机制研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2008.
- [15] 赵建伟,郑宇,何玉仙,等. 辣椒碱对烟粉虱的生物活性及生长发育和生殖力的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(2):531-535.
- [16] 李慕春,张静,古丽克孜·阿日甫,等. 辣椒碱与茶皂素对棉蚜的毒力测定及田间药效试验[J]. 新疆农业科学,2010,47(6):1132-1136.
- [17] 严光. 白屈菜生物碱提取与应用的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2017.
- [18] MANSOUR N A, ELDEFRAWI M E, TOPPOZADA A, et al. Toxicological studies on the Egyptian cotton leaf worm, *Prodenia litura*. VI. Potentiation and antagonism of organophosphorus and carbamate insecticides [J]. Journal of Economic Entomology, 1966, 59(2):307-311.
- [19] SUN Y P, JOHNSON E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53(5):887-892.
- [20] 武怀恒,万鹏,黄民松. 毒力回归计算方法及相应软件使用介绍[J]. 安徽农业科学,2014,42(27):9335-9338.
- [21] 贾春生. 利用 SPSS 软件计算杀虫剂的 LC<sub>50</sub>[J]. 昆虫知识,2006(3):414-417.
- [22] 吴咚咚,赵建伟,陈颖,等. 辣椒碱对烟粉虱体内羧酸酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响[J]. 生物安全学报,2012,21(2):109-113.
- [23] 张景滨. 一种含辣椒碱的复配型农药杀虫剂:CN 1515158A [P]. 2004-07-28.
- [24] 孔学,王加宁,陈贵虹,等. 辣椒碱在农药领域的应用研究进展[J]. 农药,2011,50(4):244-248.
- [25] 邹华娇. 9%辣椒碱·烟碱微乳剂防治菜青虫和菜蚜效果试验[J]. 植物保护,2002,28(1):45-47.