

昆明地区西花蓟马田间种群抗药性 监测及药剂防治效果评价*

刘至幸^{1,2**} 李光平³ 王轶辉² 朱天宇² 黄俊²
李晓维² 吕要斌² 杨玉婷^{1***} 张治军^{2***}

(1. 长江大学农学院, 荆州 434032; 2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所,
农产品质量安全国家重点实验室, 杭州 310021; 3. 石林彝族自治县植保植检站, 昆明 652200)

摘要 【目的】本研究旨在评估昆明市石林地区西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 田间种群对 6 种药剂的敏感性, 并对供试农药的田间药效进行评价, 以筛选更高效防治药剂并建立西花蓟马防治策略。【方法】采用叶管药膜法测定田间种群与室内敏感种群西花蓟马的毒力差异, 结合双剂量田间药效试验(药剂推荐剂量及其 2 倍剂量)评价防效。【结果】毒力测定结果表明, 昆明市石林地区的西花蓟马对供试药剂仍处于敏感状态, 抗性倍数均低于 5 倍; 田间试验结果表明, 乙基多杀菌素和金龟子绿僵菌这 2 种药剂对西花蓟马的防效较高; 药后 3 d, 乙基多杀菌素对西花蓟马的防治效果高达 91.01%, 具有良好的速效性; 药后 7 d, 金龟子绿僵菌对西花蓟马的防治效果达到 74.92%, 持效性良好。【结论】综合室内毒力测定和田间药效试验结果, 推荐使用乙基多杀菌素为防治西花蓟马的首选药剂, 可与金龟子绿僵菌轮换使用, 以延缓抗药性发展。

关键词 西花蓟马; 辣椒; 抗药性监测; 田间防效

Monitoring insecticide resistance and evaluating the effectiveness of controlling *Frankliniella occidentalis* in the Kunming region

LIU Zhi-Xing^{1,2**} LI Guang-Ping³ WANG Yi-Hui² ZHU Tian-Yu² HUANG Jun²
LI Xiao-Wei² LÜ Yao-Bin² YANG Yu-Ting^{1***} ZHANG Zhi-Jun^{2***}

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434032, China; 2. State Key Laboratory for Quality and Safety of
Agro-Products, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;
3. Plant Protection and Plant Inspection Station of Shilin Yi Autonomous County, Kunming 652200, China)

Abstract [Aim] To evaluate the susceptibility of populations of *Frankliniella occidentalis* in the Shilin area of Kunming to 6 commonly used insecticides, assess the efficacy of these, and identify more effective control agents for controlling this pest. [Methods] The TIBS bioassay method was used to assess the toxicity of the 6 different insecticides to each population. A double-dose field efficacy test (using the recommended dose and twice the recommended dose of each pesticide) was conducted to determine the efficacy of each pesticide. [Results] All populations of *F. occidentalis* had ratios of resistance to the tested pesticides of < 5-fold and were therefore susceptible. Field trial results showed that 6% spinetoram suspension concentrate and 10 billion spores·g⁻¹ *Metarhizium anisopliae* suspension concentrate, were most effective against *F. occidentalis*. The control efficacy of 6% spinetoram suspension concentrate reached 91.01% just 3 d after application, which is excellent, rapid effectiveness. The control efficacy of 10 billion spores·g⁻¹ *M. anisopliae* suspension concentrate reached 74.92% 7 d after application, which is good sustained effectiveness. [Conclusion] Based on the results of toxicity tests and field efficacy trials, 6% spinetoram suspension concentrate was the best of six insecticides tested for controlling *F. occidentalis*.

*资助项目 Supported projects: 十四五国家重点研发项目 (2022YFC2601405-4; 2022YFD1401204)

**第一作者 First author, E-mail: 13271305165@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: yangyuting198@163.com; Zhangzj@zaas.ac.cn

收稿日期 Received: 2025-02-09; 接受日期 Accepted: 2025-04-02

To delay the development of pesticide resistance this should be used in rotation with 12% chlorfenapyr-lufenuron suspension concentrate and 10 billion spores·g⁻¹ *M. anisopliae* suspension concentrate.

Key words *Frankliniella occidentalis*; pepper; insecticide resistance monitoring; field efficacy

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 是一种全球性重要农业害虫, 属缨翅目 Thysanoptera 蓟马科 Thripidae。该物种源自于北美洲洛基山脉地区, 随着国际贸易的发展已传播至全球多个地区 (Krik and Terry, 2003)。2003 年, 我国在北京地区首次发现西花蓟马 (张友军等, 2003), 此后该虫在全国多个省份相继被发现。2005 年, 云南临沧市植保站在 13 个科 19 种花卉和蔬菜上检出西花蓟马 (徐家菊和韦丽莉, 2005), 该虫目前已成为云南地区蔬菜、烟草和果树等经济作物上的优势害虫。西花蓟马对寄主植物可造成直接和间接两种危害, 直接危害表现为以其锉吸式口器取食植物组织, 导致叶片、花器和果实损伤; 间接危害则主要通过传播植物病毒, 特别是番茄斑萎病毒 (Tomato spotted wilt virus, TSWV), 造成系统性病害 (王圣印等, 2011; 赵成银等, 2011)。作为西花蓟马寄主植物之一的辣椒, 属于我国主要蔬菜作物, 年种植面积约 213.33 万 hm² (乔立娟等, 2023)。云南是中国三大辣椒主产区之一, 其辣椒产业具有重要的经济地位 (任宏程等, 2022)。研究表明, 云南是西花蓟马在中国的主要适生区之一 (吕要斌等, 2011)。西花蓟马对辣椒的危害不仅导致其产量下降, 还会引发病害, 严重时甚至导致绝收。西花蓟马对辣椒造成的为害, 已成为制约云南辣椒产业发展的关键因素之一。

目前, 对西花蓟马的主要防控措施包括物理防治和化学防治等 (褚祚晨和郇志博, 2022), 但化学防治因其高效性仍是当前最主要的防控手段。然而, 长期、单一使用化学农药导致害虫抗药性增强、农产品农药残留超标、生态环境污染和农田生态系统天敌种群减少。研究表明, 西花蓟马对杀虫剂的抗性较其他蓟马更强, 如不同蓟马物种对溴虫氟苯双酰胺 (Broflanilide) 的毒性反应存在显著差异, 西花蓟马的 LC₅₀ 值最高, 达到 269.06 mg·L⁻¹, 而美洲棘蓟马 *Echinothrips*

americanus 的 LC₅₀ 值最低, 仅为 0.51 mg·L⁻¹ (Chen *et al.*, 2022), 环境因素对西花蓟马的抗药性也存在影响, 在高浓度 CO₂ (800 μL·L⁻¹) 下, 西花蓟马对多杀菌素的 LC₅₀ 值为 0.08 mg·L⁻¹, 是环境 CO₂ 浓度 (400 μL·L⁻¹) 下 LC₅₀ 值的 0.62 倍 (Fan *et al.*, 2022)。国内外关于西花蓟马抗药性已有诸多报道, 1990 年欧洲丹麦种群、瑞士种群对有机磷类杀虫剂乙酰甲胺磷处于中等水平抗性 (Brødsgaard, 1994); 20 世纪 90 年代, 新西兰奥克兰种群对有机磷类杀虫剂产生中等水平抗性 (Martin *et al.*, 2005); 2008 年有研究从西班牙东南部阿尔梅里亚 (Almeria) 收集的西花蓟马种群中, 进行实验室选择建立对乙酰甲胺磷具有高抗性的品系 (ACR9), 通过测定半致死浓度 (LC₅₀) 表明, 抗性品系 (ACR9) 对乙酰甲胺磷的抗性倍数达到 43 倍, 显著高于实验室敏感品系 (Bielza *et al.*, 2008); 2020 年, 我国宁夏银川种群对溴氰虫酰胺产生了中等水平抗性 (李楠等, 2022); 2022 年, 北京种群对新烟碱类药剂已产生中等至高水平的抗性 (任宗杰等, 2023)。云南是我国西花蓟马及其传播病毒的重灾区, 针对该区域西花蓟马的用药防治与田间西花蓟马抗药性监测, 已引起我国各级农业生产管理部门和科研单位的高度重视。2011 年, 云南晋宁、呈贡种群对多杀菌素类杀虫剂产生了高水平抗性, 对阿维菌素类产生了中等水平抗性, 对拟除虫菊酯类仍处于敏感状态 (王圣印等, 2014); 2014 年云南玉溪种群对多杀菌素类杀虫剂产生了低水平抗性, 对新烟碱类杀虫剂仍处于敏感水平 (Wang *et al.*, 2016); 2016 年云南元谋、上蒜地区西花蓟马对多杀霉素类产生了高水平抗性 (苑广迪, 2017); 2022 年云南种群对多杀菌素、阿维菌素为中等水平抗性, 对乙基多杀菌素为高水平抗性 (任宗杰等, 2023); 2024 年云南昆明市嵩明县菊花上西花蓟马种群对啮虫脒和噻虫嗪处于中等抗性水平 (张裕棠等,

2024)。然而,针对云南昆明石林县辣椒种植区西花蓟马种群药剂敏感性现状缺乏系统研究。因此,筛选低毒、高效的西花蓟马防治药剂,并建立合理科学使用技术,对于云南昆明石林县辣椒种植区西花蓟马的有效防控具有重要现实意义。

本研究选取 6 种不同类型杀虫剂,结合室内毒力测定和田间药效试验,对云南省昆明市石林地区辣椒田西花蓟马进行抗药性监测和田间药效评价,明确该地区西花蓟马对常用农药的敏感性水平,筛选出防效好且安全的防治药剂,为该地区西花蓟马的科学防控提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫 西花蓟马敏感种群于浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所实验室饲养,18 年未接触过任何农药。室内毒力测定田间西花蓟马种群,采自云南省昆明市石林彝族自治县辣椒种植地(24°46'N, 103°17'E),选用西

花蓟马成虫进行毒力测定。田间药效试验在云南省昆明市石林彝族自治县辣椒种植地(24°46'N, 103°17'E)进行。

1.1.2 供试药剂 根据蔬菜蓟马类害虫综合防治技术规程(NY/T 3637-2020)及石林县当地农药使用情况,选取 6 种不同类型药剂进行室内毒力测定与田间药效试验,具体信息见表 1。

1.2 杀虫剂对西花蓟马的毒力测定

采用叶管药膜法(吴青君等,2013)进行室内毒力测定。首先将药剂配制为 3 个浓度,按 10 倍梯度进行预实验。根据预实验结果确定最高浓度,并将最高浓度对半稀释,设置 7-8 个正式试验浓度,以清水作为对照。随后将不同浓度的药液分别注入 2 mL 离心管中浸管,注入 4 管,每管为 1 个重复,浸管 12 h 后倒掉药液,将管于室温自然晾干。离心管晾干后,在底部扎直径 2-3 mm 小孔,放入 0.5 cm×1.5 cm 长方形滤纸条。同时将新鲜、未接触过农药的甘蓝叶裁成 0.5 cm×1.5 cm 小片,分别浸入不同药液中 30 s

表 1 供试药剂及剂型
Table 1 Test insecticide and dosage form

供试药剂 Insecticide	药剂浓度 Concentration	推荐剂量 (mL·hm ⁻²) Recommended dosage (mL·hm ⁻²)	有效成分 (mL·hm ⁻²) Active ingredients (mL·hm ⁻²)	生产厂家 Manufacturer
乙基多杀菌素悬浮剂 Spinetoram suspension concentrate	6%	225	13.50	美国陶氏益农公司 Dow Agrochemicals, America
虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 Chlorfenapyr-Lufenuron suspension concentrate	12%	600	72.00	山东省金农生物化工有限责 任公司 Shandong Jinnong Biochemical Co., Ltd.
高效氟氯氰菊酯水乳剂 Beta-cyfluthrin emulsion in water	5%	150	7.50	河北金德伦生化科技有限公 司 Hebei Jindelun Biochemical Technology Co., Ltd.
金龟子绿僵菌悬浮剂 Metarhizium anisopliae suspension concentrate	1×10 ¹⁰ CFU·mL ⁻¹	525	5.20×10 ¹² CFU	广西宾德利生物科技有限公 司 Guangxi Bindeli Biological Technology Co., Ltd.
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 悬浮剂 Emamectin benzoate suspension concentrate	5%	225	11.25	山东新势立生物科技有限公 司 Shandong Xinshili Biotechnology Co., Ltd.
啉虫酰胺悬浮剂 Tolfenpyradsuspens ion concentrate	10%	1 125	112.50	山东树林生物科技有限公司 Shandong Shulin Biological Technology Co., Ltd.

取出自然晾干,晾干后放入相应浓度药液浸过的离心管中。每管吸入西花蓟马成虫 10 头,置于温度 (27 ± 1) °C、相对湿度 $75\%\pm 5\%$ 、光周期 16 L : 8 D 的人工气候培养箱 (KBWF720, 德国宾得公司) 中, 48 h 后检查试虫存活情况, 以触碰试虫后不能爬过一个虫体长度为死亡标准, 以对照组死亡率 $\leq 10\%$ 为有效实验。

1.3 杀虫剂对西花蓟马的田间药效试验

田间药效试验于 2024 年 9 月进行, 试验地植株上的蓟马经分子鉴定为西花蓟马。根据室内毒力测定结果, 参照各药剂的田间推荐用量 (表 1), 设置原推荐剂量和 2 倍推荐剂量两种浓度进行试验。各药剂田间药效实验药剂有效成分用量: 乙基多杀菌素为 13.50 和 27.00 $\text{mL}\cdot\text{hm}^{-2}$, 虫螨腈·虱螨脲为 72.00 和 144.00 $\text{mL}\cdot\text{hm}^{-2}$, 金龟子绿僵菌为 5.20×10^4 和 1.04×10^5 亿孢子 $\cdot\text{hm}^{-2}$, 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (以下简称甲维盐) 为 11.25 和 22.50 $\text{mL}\cdot\text{hm}^{-2}$, 高效氟氯氰菊酯为 7.50 和 15.00 $\text{mL}\cdot\text{hm}^{-2}$, 啉虫酰胺为 112.50 和 225.00 $\text{mL}\cdot\text{hm}^{-2}$, 以清水为对照, 每个处理设置 3 个重复 (小区), 每小区面积 20 m^2 。使用背负式手动喷雾器 (3WBD-20 型) 均匀施药。施药时均匀喷洒至整株, 并且要注意将药剂喷洒至辣椒花内部, 以确保杀虫剂充分接触西花蓟马。分别于施药前调查虫口基数, 药后 1、3 和 7 d 调查辣椒花中活虫数, 每个小区采取 5 点取样法随机调查 10 朵花。

1.4 数据分析

实验数据采用 Excel 2021 进行初步整理, 使用 SPSS 19.5 软件进行统计分析。室内毒力测定采用 Probit 几率值分析法计算 LC_{50} 及其 95% 置信区间。田间药效试验结果采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析。

室内毒力测定计算田间种群抗性倍数时, 以敏感种群西花蓟马的 LC_{50} 为基准, 田间种群西花蓟马的 LC_{50} 与之相比较。抗性倍数=田间种群的 LC_{50} /室内敏感种群的 LC_{50} (王泽华等,

2011)。

虫口减退率= (药前虫口数 - 药后虫口数) / 药前虫口数 $\times 100\%$,

校正防效= (处理区虫口减退率 - 对照区虫口减退率) / (1 - 对照区虫口减退率) $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 6 种杀虫剂对西花蓟马的室内毒力测定

从表 2 的结果中可以看出, 昆明地区的西花蓟马对供试 6 种药剂仍处于敏感状态, 抗性倍数均低于 5 倍。其中, 以啉虫酰胺的抗性倍数最大, 为 3.20 倍; 其次为乙基多杀菌素, 为 2.73 倍; 然后是虫螨腈·虱螨脲的 2.68 倍和高效氟氯氰菊酯的 2.53 倍, 抗性倍数最小的是甲维盐, 为 1.15 倍。

供试药剂中, 虫螨腈·虱螨脲和乙基多杀菌素对昆明种群西花蓟马的毒力最高, 这两种杀虫剂的 LC_{50} 均小于 $1.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 甲维盐和啉虫酰胺的毒力次之, LC_{50} 值小于 $5.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 高效氟氯氰菊酯的毒力相对较低, LC_{50} 值为 $30.358 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.2 6 种杀虫剂对西花蓟马的田间药效

田间药效试验结果如表 3 所示。按推荐剂量施药时, 6 种杀虫剂施药后 1 d 对西花蓟马的防效为 41.67%-79.95%, 其中乙基多杀菌素的防效最高, 啉虫酰胺的防效最低。施药后 3 d 药剂的防效为 36.92%-81.81%, 其中乙基多杀菌素的防效最高, 啉虫酰胺的防效最低。药后 7 d 药剂的防效为 32.90%-74.92%, 其中金龟子绿僵菌的防效最高, 高效氟氯氰菊酯的防效最低。

当施药剂量增加至推荐剂量的 2 倍时, 6 种杀虫剂施药后 1 d 对西花蓟马的防效为 48.21%-78.72%, 其中乙基多杀菌素的防效最高, 啉虫酰胺的防效最低。施药后 3 d 药剂的防效为 46.58%-91.01%, 其中乙基多杀菌素的防效最高, 高效氟氯氰菊酯最低。药后 7 d 药剂的防效为 33.87%-77.09%, 其中乙基多杀菌素的防效最高, 高效氟氯氰菊酯的防效最低。

较推荐剂量的防效来看, 当施药剂量增加至

表 2 昆明地区西花蓟马田间种群对 6 种药剂的抗药性水平

Table 2 Resistance of the field population of *Frankliniella occidentalis* to 6 kinds of insecticides in Kunming area

供试药剂 Insecticide	种群 Population	试虫数 (头) Number of tested thrips (ind.)	致死中浓度 (95%置信区间) LC ₅₀ (95% Confidence interval)	斜率±标准误 Slope±SE	P	抗性倍数 Resistance ratio
高效氟氯氰菊酯 Beta-cyfluthrin	敏感 Susceptible	240	12.008 (7.482-16.132) (mg·L ⁻¹)	2.175±0.430	0.280	1.00
	昆明 Kunming	240	30.358 (21.085-47.748) (mg·L ⁻¹)	1.344±0.070	0.974	2.53
唑虫酰胺 Tolfenpyrad	敏感 Susceptible	270	1.425 (1.006-2.183) (mg·L ⁻¹)	1.104±0.089	0.896	1.00
	昆明 Kunming	240	4.561 (3.005-8.420) (mg·L ⁻¹)	1.217±0.158	0.541	3.20
甲维盐 Emamectin benzoate	敏感 Susceptible	270	1.019 (0.765-1.251) (mg·L ⁻¹)	2.615±0.458	0.388	1.00
	昆明 Kunming	270	1.170 (0.860-1.562) (mg·L ⁻¹)	1.610±0.074	0.939	1.15
乙基多杀菌素 Spinetoram	敏感 Susceptible	240	0.036 (0.016-0.064) (mg·L ⁻¹)	1.265±0.192	0.009	1.00
	昆明 Kunming	240	0.098 (0.072-0.128) (mg·L ⁻¹)	1.895±0.248	0.307	2.73
虫螨腈·虱螨脲 Chlorfenapyr- Lufenuron	敏感 Susceptible	270	0.022 (0.017-0.028) (mg·L ⁻¹)	1.706±0.124	0.737	1.00
	昆明 Kunming	270	0.059 (0.042-0.078) (mg·L ⁻¹)	1.741±0.062	0.987	2.68
金龟子绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	敏感 Susceptible	270	5.970 (4.130-10.370) × 10 ⁴ (CFU·L ⁻¹)	1.274±0.062	0.973	1.00
	昆明 Kunming	270	9.400 (5.400-13.900) × 10 ⁴ (CFU·L ⁻¹)	1.176±0.115	0.772	1.57

推荐剂量的 2 倍时,乙基多杀菌素在药后 3 d 防效进一步提升至 91.01%,但提升效果不显著($P=0.077$);高效氟氯氰菊酯的防效在药后 3 d 进一步提升至 59%,但提升效果同样不显著($P=0.080$);唑虫酰胺在药后 3 和 7 d 防效与推荐剂量施药的防治效果相比有显著($P=0.002$, $P=0.026$)提升,表明除唑虫酰胺外,增加剂量对各杀虫剂防治效果的改善有限。

3 结论与讨论

本研究通过室内毒力测定和田间药效试验,系统评估了昆明地区西花蓟马对 6 种药剂的敏感性及其防治效果。室内毒力测定结果表明,昆明地区的西花蓟马对供试 6 种杀虫剂的抗性倍数均低于 5,仍处于敏感状态。其中,乙基多杀菌素和虫螨腈·虱螨脲表现出较高的毒力。乙基多杀菌素是一种新型生物源杀虫剂,作用于昆虫的中枢神经系统,导致其过度兴奋并最终瘫痪死亡(张凯等, 2024)。樊宗芳等(2021)的研究结果表明,在 5 种杀虫剂(乙基多杀菌素、吡虫啉、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维菌素及噻虫

嗪)中乙基多杀菌素对西花蓟马的毒力最高,李秋荣等(2019)研究结果表明,乙基多杀菌素在供试的 5 种药剂(乙基多杀菌素、螺虫乙酯、除虫菊素、烯啶虫胺及噻虫嗪)中,对设施辣椒西花蓟马的毒力最高。本研究结果与上述结果一致,乙基多杀菌素对供试西花蓟马种群毒力最高。虫螨腈是一种吡咯类杀虫剂,是一种线粒体解偶联剂,通过干扰昆虫细胞内的能量代谢过程发挥作用(Ren *et al.*, 2022)。研究表明虫螨腈对棕榈蓟马 *Thrips palmi* 有较好的防治效果(Misra and Sahu, 2018)。虱螨脲是一种昆虫生长调节剂,主要通过抑制昆虫几丁质的合成来发挥作用(王增霞, 2023),对幼虫和卵的效果尤为显著,但对成虫的直接杀灭作用较弱。虫螨腈和虱螨脲两者复配使用,可以扩大杀虫谱,提高对昆虫的毒力。

本研究田间防治效果试验表明,乙基多杀菌素在田间表现出良好的防效,药后 3 d 的防效高达 91.01%,具有良好的速效性,这与王彭等(2017)的研究结果一致。乙基多杀菌素不仅对西花蓟马具有高效防治作用,还对其他蓟马类害虫(如花蓟马 *Frankliniella intonsa* 和豆大蓟马

表 3 6 种药剂对昆明地区田间西花蓟马药效试验
Table 3 Field efficacy to *Frankliniella occidentalis* of 6 kinds of insecticides in Kunming area

供试药剂 Insecticide	有效成分用量 Dosage	药后 1 d 1 d after application				药后 3 d 3 d after application				药后 7 d 7 d after application			
		虫口基数 (头/10 朵花) Initial number of thrips (ind./ 10 flower)	虫口数 (头/10 朵花) Number of living thrips (ind./10 flower)	虫口减退率 (%) Reduction rate (%)	校正防效 (%) Corrected control efficacy (%)	虫口数 (头/10 朵花) Number of living thrips (ind./10 flower)	虫口减退率 (%) Reduction rate (%)	校正防效 (%) Corrected control efficacy (%)	虫口数 (头/10 朵花) Number of living thrips (ind./10 flower)	虫口减退率 (%) Reduction rate (%)	校正防效 (%) Corrected control efficacy (%)		
乙基多杀菌素 Spinetoram	13.50 mL·hm ⁻²	34.33±2.30	10.33±0.88	69.24±4.67	79.95±3.04 a	10.67±0.88	68.16±4.67	81.81±2.67 ab	23.33±1.33	30.56±9.27	68.85±4.15 ab		
	27.00 mL·hm ⁻²	40.67±4.26	13.33±1.86	67.36±59.40	78.72±1.20 a	6.33±3.33	82.26±0.82	91.01±0.47 a	20.33±0.33	48.90±5.16	77.09±2.31 a		
虫螨腈·虱螨脲 Chlorfenapyr· Lufenuron	72.00 mL·hm ⁻²	29.33±2.73	14.00±1.53	52.37±1.99	68.95±1.30 abc	14.67±1.67	49.46±5.69	71.13±3.25 bc	28.33±1.33	4.74±8.67	57.28±3.89 ab		
	144.00 mL·hm ⁻²	43.00±7.64	19.67±3.28	52.77±6.64	69.21±4.33 abc	14.67±1.76	64.41±4.84	79.67±2.76 b	30.67±4.18	24.98±12.50	66.36±5.60 a		
金龟子绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	5.2 × 10 ¹² CFU·hm ⁻²	33.67±2.33	20.00±2.08	40.83±3.05	61.43±1.99 c	13.33±1.20	59.94±5.07	77.12±2.90 b	18.67±1.33	44.07±5.50	74.92±2.47 a		
	1.04 × 10 ¹³ CFU·hm ⁻²	39.67±2.33	16.33±0.88	58.44±3.77	72.91±2.46 ab	14.00±1.53	64.42±4.74	79.68±2.71 b	29.67±3.71	24.78±10.09	66.26±4.53 ab		
甲维盐 Emamectin benzoate	11.25 mL·hm ⁻²	31.00±1.00	16.00±1.00	48.18±4.30	66.22±2.80 bc	12.67±2.60	59.49±7.31	76.86±4.18 b	25.33±3.18	17.47±12.51	62.99±5.61 ab		
	22.50 mL·hm ⁻²	34.33±1.20	13.33±1.86	61.24±4.92	74.73±3.20 ab	12.33±2.19	69.63±7.34	79.23±4.20 b	28.33±0.88	17.43±1.32	62.97±0.59 ab		
高效氟氯氰菊酯 Beta-cyfluthrin	7.50 mL·hm ⁻²	23.67±0.88	20.00±1.73	15.42±6.88	44.86±4.48 d	18.33±1.76	22.38±7.59	55.66±4.34 de	35.67±7.22	- 49.62±26.11	32.90±11.71 c		
	15.00 mL·hm ⁻²	20.33±0.88	12.67±0.89	37.11±6.92	59.00±4.51 c	19.00±1.76	6.48±8.26	46.58±4.71 ef	30.00±1.52	- 47.46±1.44	33.87±0.65 c		
啉虫酞胺 Tolfenpyrad	112.50 mL·hm ⁻²	19.33±0.33	17.33±1.33	10.53±5.26	41.67±3.43 d	21.33±0.88	- 10.44±5.31	36.92±3.03 f	27.33±2.67	- 41.23±12.92	36.66±5.79 c		
	225.00 mL·hm ⁻²	19.67±0.67	15.67±7.68	20.55±8.22	48.21±5.36 d	12.33±1.45	37.09±8.13	64.07±4.64 cd	20.33±1.20	- 3.51±6.32	53.58±2.84 b		
清水对照 Water control	—	20.00±3.51	28.30±15.59	- 53.40±35.79	—	33.33±2.19	- 75.07±27.62	—	42.67±2.40	- 122.97±30.21	—		

表中数值为平均值±标准误, 同列不同小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$, 单因素方差分析)。
Data in the table are presented as mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$, One-way ANOVA).

Megalurothrips usitatus) 表现出良好的防效(李二虎等, 2024; 啜泽润等, 2025)。因此, 结合室内毒力测定结果, 推荐乙基多杀菌素作为防治西花蓟马的首选药。金龟子绿僵菌是一种昆虫病原真菌, 具有广谱性和环境友好性, 近年来在生物防治领域受到广泛关注(刘蓉等, 2024)。金龟子绿僵菌在药后 7 d 的防效达到 74.92%, 具有良好的持效性, 与钱康华等(2023)、刘墨涛等(2024)的研究结果一致。金龟子绿僵菌在昆明地区防治西花蓟马具有良好的应用前景, 未来研究中, 可进一步探索金龟子绿僵菌与其他生物防治剂(如捕食性天敌)的协同作用, 以提高其防治效果。

西花蓟马的防治不能仅依赖化学防治, 而应采取综合防治策略。化学防治虽然见效快, 但长期使用易导致抗药性上升。研究表明, 经 30 代抗性选育后, 西花蓟马对烯啶虫胺、噻虫胺和噻虫嗪的抗性倍数分别达 44.7、45.5 和 32.7 倍(颜改兰和王圣印, 2020)。有研究表明通过长期连续选择, 从敏感品系西花蓟马中选育对吡啶酰胺具有高抗性的品系的种群并进行抗性汰选, 最终抗性倍数可达到 75.8 倍(Wang *et al.*, 2020)。合理用药和轮换用药对于延缓害虫抗药性发展至关重要(龚佑辉等, 2010)。根据本研究室内和田间药效试验的综合效果, 推荐使用乙基多杀菌素为防治西花蓟马的首选药剂, 可与虫螨腈·虱螨脲及金龟子绿僵菌轮换使用, 以延缓其抗药性发展。此外, 通过优化栽培管理措施(如清除田间杂草、合理轮作等), 可减少西花蓟马的栖息环境和食物来源, 从而降低其种群密度(吕要斌等, 2011), 对西花蓟马进行绿色防治。

参考文献 (References)

- Bielza P, Quinto V, Fernández E, Grávalos C, Abellán J, Cifuentes D, 2008. Inheritance of resistance to acrinathrin in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Pest Management Science*, 64(5): 584–588.
- Brødsgaard HF, 1994. Insecticide resistance in European and African strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) tested in a new residue-on-glass test. *Journal of Economic Entomology*, 87(5): 1141–1146.
- Chen JC, Cao LJ, Sun LN, Gao YF, Cao HQ, Ma ZZ, Ma LJ, Shen XJ, Wang JX, Gong YJ, Hoffmann AA, Wei SJ, 2022. Variation in the toxicity of a novel meta-diamide insecticide, broflanilide, among thrips pest species and developmental stages. *Pest Management Science*, 78(12): 5090–5096.
- Chu ZC, Huan ZB, 2022. Research progress on the control of *Frankliniella occidentalis*. *Modernizing Agriculture*, 2022(4): 7–9. [褚祚晨, 郇志博, 2022. 西花蓟马防治研究进展. 现代化农业, 2022(4): 7–9.]
- Chuai ZR, Chen XL, Qu H, Zhang WB, Zhang J, Zhao J, Su YJ, Zhang Y, Li HP, 2025. Evaluation of insecticide virulence and efficacy against *Frankliniella intonsa* in sunflower. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 46(1): 12–16, 33. [啜泽润, 陈学亮, 渠汇, 张文兵, 张键, 赵君, 苏雅杰, 张圆, 李海平, 2025. 杀虫剂对向日葵田花蓟马的毒力及防效评价. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 46(1): 12–16, 33.]
- Fan ZF, Song JL, Gui FR, He SQ, 2021. Effect of five insecticides on toxicity and physiological enzyme activities of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa*. *Journal of Biosafety*, 30(3): 206–212. [樊宗芳, 宋洁蕾, 桂富荣, 和淑琪, 2021. 5 种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力及其生理酶活性的影响. 生物安全学报, 30(3): 206–212.]
- Fan ZF, Qian L, Chen YP, Fan R, He SQ, Gao YL, Gui FR, 2022. Effects of elevated CO₂ on activities of protective and detoxifying enzymes in *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa* under spinetoram stress. *Pest Management Science*, 78(1): 274–286.
- Gong YH, Wu QJ, Zhang YJ, Xu BY, 2010. Insecticide resistance of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* and its management strategies. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1072–1080. [龚佑辉, 吴青君, 张友军, 徐宝云, 2010. 西花蓟马的抗药性及其治理策略. 昆虫知识, 47(6): 1072–1080.]
- Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural & Forest Entomology*, 5(4): 301–310.
- Li EH, Li CQ, Zhang W, Li LB, 2024. Evaluation of field efficacy of five insecticides against cowpea thrips in Tianjin. *Pesticide Science and Administration*, 45(9): 42–45. [李二虎, 李春青, 张武, 李立斌, 2024. 5 种杀虫剂对天津地区豇豆蓟马的田间药效评价. 农药科学与管理, 45(9): 42–45.]
- Li N, Ma W, Hong B, Wang XP, 2022. Insecticide resistance monitoring of the field populations of thrips on alfalfa in Yinchuan area. *Agrochemicals*, 61(9): 687–692. [李楠, 马雯, 洪波, 王新谱, 2022. 银川地区 4 种苜蓿蓟马田间种群对 10 种杀虫剂的抗药性测定. 农药, 61(9): 687–692.]
- Li QR, Chen XH, Li ZC, Ma YQ, 2019. Evaluation of indoor

- toxicity and control effect in controlled environmental of five pesticides against *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Journal of Qinghai University*, 37(5): 9–14, 81. [李秋荣, 陈小华, 李志成, 马永强, 2019. 5 种杀虫剂对设施辣椒西花蓟马的毒力及防效评价. 青海大学学报, 37(5): 9–14, 81.]
- Liu MT, Chen Q, Xiao ZK, Wu MY, Wang X, Kong XY, Xie W, Huang GH, 2024. Population dynamics monitoring and field biological control of *Megalurothrips usitatus* during flowering stage of cowpea. *China Vegetables*, 2024(9): 84–91. [刘墨涛, 陈琪, 肖正坤, 吴明月, 王星, 孔祥义, 谢文, 黄国华, 2024. 豇豆花期豆大蓟马种群动态监测及生物药剂田间防效评价. 中国蔬菜, 2024(9): 84–91.]
- Liu R, Cai N, Nong XQ, Wang GJ, Tu XB, Feng SQ, Zhang ZH, 2024. Effects of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* on alfalfa growth promotion and anti-aphid induction. *Journal of Plant Protection*, 51(2): 442–449. [刘蓉, 蔡霓, 农向群, 王广君, 涂雄兵, 冯士骞, 张泽华, 2024. 金龟子绿僵菌对苜蓿生长的影响及对苜蓿抗蚜性的诱导作用. 植物保护学报, 51(2): 442–449.]
- Lü YB, Zhang ZJ, Wu QJ, Du YZ, Zhang HR, Yu Y, Wang ED, Wang MH, Wang MQ, Tong XL, Lv LH, Tan XQ, Fu WD, 2011. Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of invasive alien pest *Frankliniella occidentalis* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 488–496. [吕要斌, 张治军, 吴青君, 杜予州, 张宏瑞, 于毅, 王恩东, 王鸣华, 王满困, 童晓立, 吕利华, 谭新球, 付卫东, 2011. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范. 应用昆虫学报, 48(3): 488–496.]
- Martin NA, Workman PJ, Butler RC, 2005. Insecticide bioassays for western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) (Thysanoptera: Thripidae) and greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) (Hemiptera: Aleyrodidae). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(2): 177–184.
- Misra HP, Sahu GS, 2018. Field efficacy of tolfenpyrad 15 EC against thrips, *Thrips palmi* Karny on cucumber. *Annals of Plant Protection Sciences*, 26(1): 21–24.
- Qian KH, Yuan JJ, Wang J, Zheng XB, Liu H, Wu QJ, 2023. Toxicity of 10 insecticides to four thrips species and field efficacy to *Frankliniella occidentalis*. *Plant Protection*, 49(6): 343–349. [钱康华, 袁江江, 王京, 郑晓斌, 刘航, 吴青君, 2023. 10 种杀虫剂对 4 种蓟马的毒力及对西花蓟马的田间药效评价. 植物保护, 49(6): 343–349.]
- Qiao LJ, Zhao BH, Zong YX, Kou CY, Dong YH, 2023. Development current situation, tendency, and countermeasure for China's pepper industry. *China Vegetables*, 2023(11): 9–15. [乔立娟, 赵帮宏, 宗义湘, 寇春雨, 董雨涵, 2023. 我国辣椒产业发展现状、趋势及对策. 中国蔬菜, 2023(11): 9–15.]
- Ren HC, Li XL, Gui M, Li WF, Liu FW, 2022. Development status and countermeasures of Yunnan pepper industry. *Chinese Vegetables*, 2022(8): 7–12. [任宏程, 李学林, 桂敏, 李卫芬, 刘发万, 2022. 云南特色辣椒产业发展现状及对策建议. 中国蔬菜, 2022(8): 7–12.]
- Ren YH, He X, Yan XY, Yang YT, Li Q, Yao T, Lu LD, Peng LX, Zou L, 2022. Unravelling the polytoxicology of chlorfenapyr on non-target HepG2 cells: The involvement of mitochondria-mediated programmed cell death and DNA damage. *Molecules*, 27(17): 5722.
- Ren ZJ, Guo YW, Qin M, Wang YP, Li YP, Yuan HZ, Zhang S, 2023. Monitoring, evaluation and control countermeasures of agricultural pest resistance in China in 2022. *China Plant Protection*, 43(3): 62–71. [任宗杰, 郭永旺, 秦萌, 王云鹏, 李永平, 袁会珠, 张帅, 2023. 2022 年全国农业有害生物抗性监测评估与治理对策. 中国植保导刊, 43(3): 62–71.]
- Wang P, Lin GH, Huang DY, Li H, Liu XG, Huang ZY, 2017. Field efficacy of spinetoram against thrips pests on multiple different crops. *Agrochemicals*, 56(10): 771–774. [王彭, 林冠华, 黄大益, 李慧, 刘叙杆, 黄正谊, 2017. 乙基多杀菌素防治不同作物蓟马田间药效试验. 农药, 56(10): 771–774.]
- Wu QJ, Xu BY, Xie W, Wang SL, Zhang YJ, 2013. Methods for monitoring the resistance of whiteflies and thrips to insecticides. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 553–555. [吴青君, 徐宝云, 谢文, 王少丽, 张友军, 2013. 粉虱和蓟马类害虫的抗性监测方法. 应用昆虫学报, 50(2): 553–555.]
- Wang R, Wang ZY, Luo C, Yang GF, 2020. Characterization of pyridalyl resistance in a laboratory-selected strain of *Frankliniella occidentalis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 166: 104564.
- Wang SY, Liu YJ, Zhou XH, Zhang AS, Li LL, Men XY, Zhang SC, Yu Y, 2011. Mechanisms of imidacloprid resistance in *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 559–565. [王圣印, 刘永杰, 周仙红, 张安盛, 李丽莉, 门兴元, 张思聪, 于毅, 2011. 西花蓟马对吡虫啉抗性机制的研究. 应用昆虫学报, 48(3): 559–565.]
- Wang SY, Zhang AS, Li LL, Men XY, Zhou XH, Zhai YF, Liu YJ, Wei SJ, Yu Y, 2014. Insecticide resistance status of field populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in China and its control strategies. *Acta Entomologica Sinica*, 57(5): 621–630. [王圣印, 张安盛, 李丽莉, 门兴元, 周仙红, 翟一凡, 刘永杰, 魏书军, 于毅, 2014. 西花蓟马田间种群对常用杀虫剂的抗性现状及防治对策. 昆虫学报, 57(5): 621–630.]
- Wang ZH, Hou WJ, Hao CY, Wu QJ, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Monitoring the insecticide resistance of the field populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in Beijing area. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 542–547. [王泽

- 华, 侯文杰, 郝晨彦, 吴青君, 徐宝云, 张友军, 2011. 北京地区西花蓟马田间种群的抗药性监测. 应用昆虫学报, 48(3): 542–547.]
- Wang ZH, Gong YJ, Jin GH, Li BY, Chen JC, Kang ZJ, Zhu L, Gao YL, Reitz S, Wei SJ, 2016. Field-evolved resistance to insecticides in the invasive western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China. *Pest Manage Science*, 72(7): 1440–1444.
- Wang ZX, Zhou W, He C, Huang BH, Hu F, 2023. Toxicity of lufenuron and its effects on the chitin content and chitinase activity of *Spodoptera frugiperda* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(4): 1271–1279. [王增霞, 周婉, 何灿, 黄保宏, 胡飞, 2023. 虱螨脲对草地贪夜蛾幼虫的毒力及对其几丁质含量和几丁质酶活性的影响. 应用昆虫学报, 60(4): 1271–1279.]
- Xu JJ, Wei LL, 2005. Newly discovered invasive pest in Lincang City: Western flower thrips. *Plant Quarantine*, 19(5): 294–295. [徐家菊, 韦丽莉, 2005. 临沧市新发现外来有害生物——西花蓟马. 植物检疫, 19(5): 294–295.]
- Yuan GD, 2017. Establishment of a spinosad resistant near-isogenic line and resistance mechanism in *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [苑广迪, 2017. 西花蓟马对多杀霉素抗性近等基因系的建立及抗性机制研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Yan GL, Wang SY, 2020. Resistance risk and resistance stability of *Frankliniella occidentalis* to nitenpyram, clothianidin and thiamethoxam. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31(10): 3289–3295. [颜改兰, 王圣印, 2020. 西花蓟马对烯啶虫胺、噻虫胺和噻虫嗪的抗性风险和抗性稳定性. 应用生态学报, 31(10): 3289–3295.]
- Zhao CY, He YR, Lü LH, Zhong F, Gao Y, Qi GJ, Shao XY, 2011. Host' damage character and control measure of *Frankliniella occidentalis* Pergande. *Guangdong Agricultural Sciences*, 38(5): 95–98. [赵成银, 何余容, 吕利华, 钟锋, 高燕, 齐国君, 邵晓迎, 2011. 西花蓟马的寄主、危害及防治措施. 广东农业科学, 38(5): 95–98.]
- Zhang K, Xu YY, Gao S, Li JR, 2024. Research progress of biological pesticide spinetoram. *Modern Agrochemicals*, 23(2): 39–44. [张凯, 徐元媛, 高尚, 李加荣, 2024. 生物农药乙基多杀菌素的研究进展. 现代农药, 23(2): 39–44.]
- Zhang YJ, Wu QJ, Xu BY, Zhu GR, 2003. A dangerous alien invasive organism, *Frankliniella occidentalis*, is harmful in Beijing. *Plant Protection*, 29(4): 58–59. [张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 29(4): 58–59.]
- Zhang YT, Liu LL, Wang BQ, Cheng LH, Fang Y, Yu L, Yang SW, Qi Y, Liu JN, 2024. Determination of drug resistance of *Frankliniella occidentalis* of *Chrysanthemum* pest to common insecticides in Kunming area. *Journal of Kunming University*, 46(6): 101–106. [张裕棠, 刘玲玲, 王柄权, 程凌寒, 方宇, 余磊, 羊绍武, 齐颖, 刘佳妮, 2024. 昆明地区菊花害虫西花蓟马对常用杀虫剂的抗药性测定. 昆明学院学报, 46(6): 101–106.]