

几种常用杀虫剂对辣椒蓟马的室内毒力以及田间防效评价

黄柯程^{1#}, 吴明月^{2*}, 黄圣琳^{3,4}, 甫秋梅², 韩小龙², 孔祥义², 谢文^{3,4*}

(1. 深圳诺普信作物科学股份有限公司, 广东 深圳 518102 中国; 2. 三亚市热带农业科学研究院, 海南 三亚 572000 中国; 3. 中国农业科学院 蔬菜花卉研究所/蔬菜生物育种全国重点实验室, 北京 10008 中国; 4. 三亚 中国农业科学院 国家南繁研究院, 海南 三亚 572024 中国)

摘要: 为筛选防控海南三亚辣椒上的瓜蓟马(*Thrips palmi*)和花蓟马(*Frankliniella intonsa*)的高效药剂, 本研究通过室内毒力测定和田间药效试验, 分别评估了几种常用杀虫剂对上述蓟马的室内毒力差异及田间应用潜力。室内毒力测定结果表明, 60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 对 2 种蓟马的毒力最高, 其 LC₅₀ 仅为 0.017 (瓜蓟马)和 3.391 mg·L⁻¹ (花蓟马), 显著优于其他药剂; 240 g·L⁻¹ 虫螨腈 SC 和 10% 多杀霉素 SC 对花蓟马也表现出较高毒力, 其 LC₅₀ 分别为 11.192 和 9.279 mg·L⁻¹; 而 5% 甲维盐 ME 和 10% 啉虫脒 EC 对 2 种蓟马的毒力较低, LC₅₀ 值均大于 50 mg·L⁻¹。田间药效结果显示, 苗期采用 25% 噻虫嗪 WG 3000 倍液灌根处理可持久抑制蓟马种群(持效期≥55 d), 而在辣椒盛花期叶面喷施 60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 1500 倍液, 其速效性和持效性一般(药后 1 d 防效 69.40%), 但与其与食诱剂复配药后 1 d 防效可提升至 97.15%。综上所述, 建议采用“苗期噻虫嗪灌根+盛花期乙基多杀菌素复配食诱剂”的协同防控策略防治辣椒蓟马, 兼顾速效性与持效性, 为辣椒蓟马绿色防控提供科学依据。

关键词: 辣椒蓟马; 乙基多杀菌素; 噻虫嗪; 毒力测定; 田间防效; 协同防控

中图分类号: S436.418.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7054(2026)04-0684-09

黄柯程, 吴明月, 黄圣琳, 等. 几种常用杀虫剂对辣椒蓟马的室内毒力以及田间防效评价[J]. 热带生物学报(中英文), 2026, 17(4): 684–692. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20250090 CSTR: 32425.14. j.cnki.rdswwb.20250090



辣椒(*Capsicum annuum*)属茄科辣椒属植物, 原产中南美洲, 维生素 C 含量高, 是重要的蔬菜和主要香料作物^[1–2]。中国是辣椒的主要生产国及消费国, 2023 年种植面积约为 213 万 hm², 年总产量约为 6 645 万 t, 分别占全世界的 55% 和 65%, 年产值超过 2 500 亿元, 位居中国蔬菜种植面积首位^[1–2]。海南作为中国重要的反季节蔬菜生产基地, 辣椒是当地冬季瓜菜的主栽品种之一, 2022 年种植面积达 3.2 万 hm²。海南高温高湿的气候条件促使蓟马(*Thrips*)、烟粉虱(*Silverleaf whitefly*)、蚜虫(*Aphids*)等害虫危害严重, 其中, 蓟马是海南

辣椒主产区的重要害虫, 其危害可发生在辣椒整个生育期^[5]。

蓟马体型小、繁殖力强、抗药性强, 是众多植物病毒病的传播媒介, 危害严重时可导致海南辣椒的产量损失达 30%~50%^[5–6]。海南三亚辣椒上的蓟马优势种是瓜蓟马(*Thrips palmi*)和花蓟马(*Frankliniella intonsa*)^[5], 为有效控制辣椒蓟马的危害, 化学防治一直是当地最主要的防治措施。随着杀虫剂长期被大量使用, 蓟马的抗药性增加、蓟马再猖獗等问题, 导致田间防治效果不佳, 增加了防治难度^[7–8]。此外, 杀虫剂的不合理使用易造

© CC BY 4.0 收稿日期: 2025-07-03

修回日期: 2025-09-21

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2024YFD1400100); 三亚崖州湾科技城专项(SCKJ-JYRC-2023-46); 海南省科技专项(ZDYF2024XDNY250)

*第一作者: 黄柯程(1982—), 男, 博士, 高级农艺师。研究方向: 农药产品开发及应用技术研究。E-mail: kechenghuang@163.com

*通信作者: 吴明月(1994—), 女, 硕士, 助理研究员。研究方向: 蔬菜害虫绿色防控。E-mail: wumingyuecaas2021@163.com

谢文(1983—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 蔬菜害虫综合治理。E-mail: xiewen@caas.cn

成环境污染,影响非靶标生物的生存和繁衍,破坏生态平衡,同时也可能导致农产品中的农药残留超标,从而威胁人类健康。因此,筛选高效、低毒且环境友好型的杀虫剂,评估其对辣椒蓟马的室内毒力和田间防治效果,对于指导辣椒蓟马的科学防治具有重要的现实意义。

近年来,针对辣椒害虫高效、低毒防治药剂的筛选研究已取得了一定进展,但其靶标主要为蚜虫、烟粉虱、西花蓟马等害虫,谢飞军等^[9]在筛选防治辣椒田烟粉虱的药剂中发现,双丙环虫酯和氟吡呋喃酮对其防治效果最佳。李秋荣等^[10]研究了 5 种杀虫剂对设施辣椒西花蓟马的毒力,发现除虫菊素、噻虫嗪和螺虫乙酯对西花蓟马成虫的毒效较低。吴莉莉等^[11]研究发现氯虫苯甲酰胺和四氯虫苯甲酰胺对辣椒田棉铃虫具有较好的速效性和持效性。关于杀虫剂对辣椒上瓜蓟马和花蓟马的具体毒力参数及田间防治效果尚缺乏系统评价。因此,本研究通过室内毒力测定和田间药效试验,系统评价了 5 种杀虫剂对辣椒瓜蓟马和花蓟马的毒力差异,并比较了苗期灌根与花期喷雾的防治效果,旨在为辣椒上的蓟马精准用药和科学防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫 室内生物测定的瓜蓟马和花蓟马于 2022 年 2 月捕自三亚市崖州区赤草村辣椒田(18.40° N, 109.16° E),经形态学鉴定及 COI 基因序列分析后确认种类。

1.1.2 供试药剂 试验选用药剂为目前生产上常用的不同类型的杀虫剂(表 1),田间药效试验中所施用的剂量参照中国农药信息网(<http://www.chinapesticide.org.cn/>)上的登记推荐用量。

1.2 试验条件 田间药效试验地点设在海南省三亚市崖州区崖城村三亚市热带农业科学研究院崖州基地(18.23° N, 109.10° E)。种植辣椒品种为湘辣 17 号(湖南湘研种业有限公司),试验地土壤类型为粘壤土,土壤 pH5.5~6.5,土壤肥力中等,辣椒按照常规种植密度种植,采用水肥一体化和常规农事管理,前茬作物为西瓜。

2022 年 12 月 23 日施药,正值辣椒盛花期。施药时天气多云,全天气温 18~25℃,相对湿度

表 1 供试药剂信息

Tab. 1 Information of tested insecticides

药剂名称 Insecticide	生产厂家 Manufacturer
10%啶虫脒 EC	山东中新科农生物科技有限公司
5%甲维盐 ME	惠州市银农科技股份有限公司
10%多杀霉素 SC	安徽华星化工有限公司
240 g·L ⁻¹ 虫螨腈 SC	巴斯夫植物保护(江苏)有限公司
60 g·L ⁻¹ 乙基多杀菌素 SC	美国陶氏益农公司
10%溴氰虫酰胺 OD	美国富美实公司
25%噻虫嗪 WG	瑞士先正达作物保护有限公司
20%呋虫胺 SG	日本三井化学植保株式会社
22.4%螺虫乙酯 SC	拜耳股份公司
10%吡虫啉 WP	江苏克胜集团股份有限公司
蓟马食诱剂	江苏丰裕生物科技有限公司

73%, 风力 3~4 级。试验期间最高气温 26℃,最低气温 17℃,平均气温 21.3℃,相对湿度为 72%~82%,试验期间未出现降雨。

1.3 试验方法

1.3.1 不同杀虫剂对辣椒蓟马的室内毒力测定 参照 NY/T 3 680—2020《西花蓟马抗药性监测技术规范 叶管药膜法》对试验方法略作改进,蓟马成虫毒力测定采用豆管药膜法,用体积分数 0.1%的曲拉通吐温 80(Tween-80)水溶液将供试药剂按照质量浓度配置成所需的最高质量浓度,再用 2 倍稀释法稀释成 5~6 个浓度梯度,每个质量浓度为 1 个处理,每个处理 5 个重复,以含 0.1%曲拉通吐温 80 水溶液为对照。将制作好的药管(用剪刀在 1.5 ml 离心管管底剪一个直径 3~5 mm 的斜孔为吸虫口,并在管盖处戳一个直径 5 mm 的小孔)按浓度分别浸泡于不同质量浓度梯度的药液中,浸泡 1 h 后取出置于通风橱中吹干或自然晾干待用。将鲜嫩芸豆豆段(长宽约 1.5 cm×0.8 cm)按每个质量浓度 5 个重复放进药液中浸泡 30 s(从低浓度向高浓度浸药)捞出晾干,用小镊子把晾干的豆段及与豆段同样大小的滤纸一同装入制作好的药膜管中,然后每管吸取 20~25 头试虫,用封口膜将底部切口封好,离心管管盖垫一层事先备好的防虫网片(230 目,孔径 0.0630 mm)扣紧密封,防止蓟马逃逸,置于温度为(26±1)℃,光照 16 h:8 h(L:D),湿度 70%±10%的培养箱中饲养和观察。48 h 后

检查试虫死亡数,以细毛笔轻触试虫完全不动为死亡标准。

1.3.2 不同杀虫剂苗期灌根对辣椒蓟马的预防试验 试验于 2022 年 11—12 月在海南省三亚市崖州区崖城村三亚市热带农业科学研究院崖州基地的辣椒田进行。在辣椒苗定植 3 d 后,使用 10% 吡虫啉 WP、20% 呋虫胺 SG、10% 溴氰虫酰胺 OD、22.4% 螺虫乙酯 SC、25% 噻虫嗪 WG 等内吸性较强的杀虫剂进行 3 000 倍稀释后灌根处理。试验采用随机区组设计,以清水为对照,每个药剂为 1 个处理,每个处理 4 个重复,每个重复为 1 个小区,每个小区面积为 20 m²,小区之间设置保护行,小区内每株灌根 50 mL 药液。12 月 24 日进行第 1 次药后数据调查,每个处理调查 40 株,之后每 7 d 调查一次,记录蓟马数量。

1.3.3 不同杀虫剂对辣椒蓟马的田间药效试验 不同杀虫剂对辣椒蓟马的田间药效试验于 2022 年 12 月 23 日在海南省三亚市崖州区崖城村三亚市热带农业科学研究院崖州基地的辣椒田进行。试验时辣椒处于盛花期,蓟马为中等发生程度。试验采用随机区组设计,每个小区面积为 20 m²,小区之间设置保护行,以清水为对照,每个药剂为 1 个处理,每个处理 4 个重复,施药时采用背负式手动喷雾器均匀喷洒全株,不同药剂处理全部现配现用,整个试验施药 1 次。

1.3.4 田间药效试验调查和计算方法 采用 5 点取样法,在每个重复选取 5 个调查点,每个调查点选择 2 株辣椒作为调查样株并进行挂牌标记定株调查,每株调查中、上部幼嫩组织和花朵。即每个重复共计调查 10 株辣椒,每个处理 4 个重复,共计调查 40 株辣椒。施药前调查各处理的药前活虫数,随后分别在施药后 1、3、7 d 调查各处理的活虫数,计算防治效果。虫口减退率和防效计算方法如下:

虫口减退率 (%) =

(药前活虫数 - 药后活虫数) / 药前活虫数 × 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) × 100。

1.4 数据处理 室内毒力测定结果采用 Poloplus 软件进行分析,将药剂浓度、死亡虫数和总虫数输

入软件,输出参数包括 LC₅₀ 值(致死中浓度)及其 95% 置信区间、卡方值和毒力回归直线的斜率。相对毒力指数 = 毒力最低药剂 LC₅₀ 值 / 各药剂 LC₅₀ 值。相对毒力指数越高,对应药剂的毒力越强。

田间药效试验数据采用 SPSS v20 统计软件处理,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)以及 Duncan's 新复极差法进行差异性显著分析。所有统计图表均使用 Origin 2024 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同杀虫剂对辣椒蓟马的室内毒力

2.1.1 不同杀虫剂对辣椒上瓜蓟马的室内毒力测定

不同杀虫剂对辣椒上瓜蓟马的室内毒力测定结果显示(表 2),不同杀虫剂对辣椒瓜蓟马的毒力存在差异。5 种杀虫剂中以 10% 啶虫脒 EC 对瓜蓟马的毒力最低,致死中浓度 LC₅₀ 为 162.197 mg·L⁻¹,以其 LC₅₀ 为参照基准,其毒力指数定为 1,计算其他药剂的相对毒力指数,60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 毒力指数最高,相对毒力指数为 9 541.000,说明其对辣椒上瓜蓟马的毒力最大,其致死中浓度 LC₅₀ 为 0.017 mg·L⁻¹。10% 多杀霉素 SC、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 ME(以下简称甲维盐 ME)、240 g·L⁻¹ 虫螨腈 SC 对辣椒上瓜蓟马的毒力水平差异不大,相对毒力指数均在 5 以下,分别为 1.307、2.128 和 4.156。5 种杀虫剂对辣椒上瓜蓟马的毒力按照从大到小顺序依次为 60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC > 240 g·L⁻¹ 虫螨腈 SC > 10% 多杀霉素 SC > 5% 甲维盐 ME > 10% 啶虫脒 EC。

2.1.2 不同杀虫剂对辣椒上花蓟马的室内毒力测定

室内毒力测定结果表明(表 3),供试的 5 种杀虫剂对辣椒上花蓟马的毒力存在差异,5% 甲维盐 ME 对花蓟马的毒力最低,LC₅₀ 为 551.269 mg·L⁻¹,以其 LC₅₀ 为参照基准计算其他药剂的相对毒力指数,其他药剂的相对毒力指数范围为 1.247 ~ 162.568,其中 60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 对辣椒花蓟马的毒力最高,其 LC₅₀ 为 3.391 mg·L⁻¹,相对毒力指数为 162.568;其次是 10% 多杀霉素 SC 和 240 g·L⁻¹ 虫螨腈 SC 对辣椒花蓟马的毒力较高,其 LC₅₀ 分别为 9.279 和 11.192 mg·L⁻¹,相对毒力指数分别为 59.410 和 49.256。5 种杀虫剂对辣椒上花蓟马的毒力按照从大到小顺序依次为 60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC > 10% 多杀霉素 SC > 240 g·L⁻¹ 虫螨腈

表 2 5 种杀虫剂对辣椒上瓜蓟马的毒力

Tab. 2 Toxicity of five insecticides against *Thrips palmi* on chili peppers

药剂 Insecticide	试虫数/头 No. tested	致死中浓度(95%置信区间)/ (mg·L ⁻¹) LC ₅₀ (95% CI)	斜率±标准误 Slope±SE	自由度 df	卡方 χ ²	相对毒力指数 RTI
10%啉虫脒 EC	565	162.197(135.705 ~ 193.353)	1.701±0.150	4	3.189	1.000
Acetamiprid 10% EC						
10%多杀霉素 SC						
Spinosad 10% SC	402	124.087(48.353 ~ 237.298)	1.454±0.161	4	13.849	1.307
5%甲维盐 ME	587	76.234(23.647 ~ 194.928)	1.062±0.097	3	8.656	2.128
Emamectin benzoate 5% ME						
240 g·L ⁻¹ 虫螨腈 SC						
Chlorfenapyr 240 g·L ⁻¹ SC	477	39.023(20.621 ~ 57.787)	2.245±0.243	4	7.284	4.156
60 g·L ⁻¹ 乙基多杀菌素 SC	755	0.017(0.001 ~ 0.060)	1.503±0.356	3	0.562	9 541.000
Spinetoram 60 g·L ⁻¹ SC						

表 3 5 种杀虫剂对辣椒上花蓟马的毒力

Tab. 3 Toxicity of five insecticides against *Frankliniella intonsa* on chili peppers

药剂 Insecticide	试虫数/头 No. tested	致死中浓度(95%置信区间)/ (mg·L ⁻¹) LC ₅₀ (95% CI)	斜率±标准误 Slope±SE	自由度 df	卡方 χ ²	相对毒力指数 RTI
5% 甲维盐 ME	707	551.269(315.062 ~ 1 176.132)	0.963±0.123	4	1.239	1.000
Emamectin benzoate 5% ME						
10%啉虫脒 EC						
Acetamiprid 10% EC	431	441.901(163.775 ~ 650.742)	1.873±0.203	3	6.207	1.247
240 g·L ⁻¹ 虫螨腈 SC	1 031	11.192(7.010 ~ 18.099)	2.243±0.193	3	7.217	49.256
Chlorfenapyr 240 g·L ⁻¹ SC						
10% 多杀霉素 SC						
Spinosad 10% SC	969	9.279(0.886 ~ 21.944)	1.027±0.117	3	7.217	59.410
60 g·L ⁻¹ 乙基多杀菌素 SC	741	3.391(2.443 ~ 4.491)	1.285±0.139	3	2.271	162.568
Spinetoram 60 g·L ⁻¹ SC						

SC>10% 啉虫脒 EC>5% 甲维盐 ME。

2.2 不同杀虫剂苗期灌根对辣椒蓟马的预防防效

田间调查结果(图 1)显示,辣椒苗期采用 10% 吡虫啉 WP、20% 呋虫胺 SG、10% 溴氰虫酰胺 OD、22.4% 螺虫乙酯 SC 及 25% 噻虫嗪 WG 等内吸性杀虫剂 3 000 倍液灌根处理后,各处理区蓟马种群动态总体呈先上升后下降的趋势,与空白对照区一致,但种群数量均显著低于对照区。其中,20% 呋虫胺 SG 处理区的变化趋势与对照组完全相同,种群数量随辣椒生育期推进而增加,种群数量于药后 48 d 达到峰值,55 d 出现下降。10% 吡虫啉 WP、22.4% 螺虫乙酯 SC 和 10% 溴氰虫酰胺 OD 处理区的种群动态均呈现“增-减-增-减”波动,峰值亦出现于药后 48 d,并于 55 d 下降,其中吡虫啉和螺虫乙酯处理在 34 d 亦出现下降,溴氰虫酰胺处理后 41 d 出现下降。25% 噻虫嗪 WG 处理区种群动态呈“增-减-增”趋势,蓟马数量始终维持在较低水平,药后 41 d 内均低于 5 头·株⁻¹。总体表明,苗期内吸性药剂灌根处理对

辣椒蓟马具有一定防治效果,药后 55 d 内各处理区种群数量均低于空白对照,其中噻虫嗪处理虫量始终低于 10 头·株⁻¹,防治效果最优。

2.3 不同杀虫剂对辣椒蓟马的田间防效

辣椒盛花期开展 5 种常用药剂及组合药剂对辣椒蓟马的田间药效试验,结果表明(表 4),60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 1 500 倍液和蓟马食诱剂 1 500 倍液联合使用对辣椒蓟马田间防治效果最突出,药后第 1 d 防效高达 97.15%,远高于 60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 1000 倍液单独使用防效(69.40%)。10% 吡虫啉 WP、20% 呋虫胺 SG、22.4% 螺虫乙酯 SC 等在辣椒盛花期单独喷施,药后 1 d 对辣椒蓟马表现出一定的速效性,但防治效果不佳,防治率均在 50% 以下。10% 溴氰虫酰胺 OD 处理虫口数不降反增,防效为负值(-2.41%),与清水对照无显著差异,表明其在施药初期对蓟马种群控制作用较弱。药后 3 d,所有处理组的虫口数均出现回升,其中对照区的虫口数量出现了异常显著的增殖,其增长率远高于其他处理组,虫口减退率为负值,

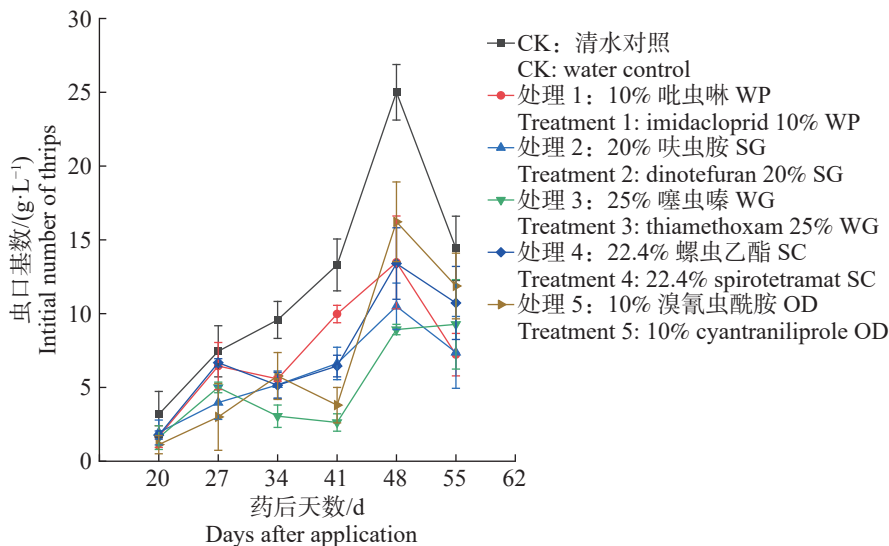


图1 辣椒苗期灌根后田间蓟马种群动态

Fig. 1 Population dynamics of thrips in the field after root irrigation at the seedling stage of chili peppers

校正防效普遍下降。此现象可能与药剂持效期或田间蓟马的持续迁入有关。尽管如此, $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC 及其与蓟马食诱剂的混用处理防效相对稳定, 校正防效分别为 1.56% 和 22.41%, 虽防效不高, 但优于 10% 吡虫啉 WP、20% 呋虫胺 SG、10% 溴氰虫酰胺 OD 等药剂处理(校正防效均为负值), 而 22.4% 螺虫乙酯 SC 和 10% 溴氰虫酰胺 OD 药后 3 d 防治效果提升至 21.85%, 相比药后 1 d (16.08%) 防效提升了约 5%。药后 7 d, 各药剂的持效性差异表现更为明显。其中, “10% 溴氰虫酰胺 OD” 和 “ $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC+蓟马食诱剂” 处理表现出较好的后期控制效果, 校正防效分别为 30.92% 和 44.31%, 显著高于其他处理。与之相反, “10% 吡虫啉 WP” 和 “20% 呋虫胺 SG” 处理的校正防效分别为 -67.04% 和 -57.40%, 虫口数显著高于初始基数和清水对照, 表明其对蓟马种群已无控制作用, 甚至可能刺激其繁殖。

3 讨论

本研究通过室内毒力测定、苗期灌根处理及田间药效试验, 综合评价了多种杀虫剂对辣椒蓟马的防治效果, 明确了不同蓟马种类及种群对药剂的敏感性存在显著差异, 揭示了不同杀虫剂对辣椒蓟马的差异化防控效果, 尤其在速效性、持效性和施药方式方面表现不一, 为精准施药提供了科学依据。

室内毒力测定结果表明, $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌

素 SC 对辣椒上瓜蓟马和花蓟马均表现出极高的毒力, LC_{50} 值显著低于其他药剂 (瓜蓟马: $0.017 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 花蓟马: $3.391 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 其相对毒力指数为 9 541.000, 显著高于其他药剂, 这与近年多项研究结果一致。例如, 胡守印等^[12] 研究表明 $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC 对瓜蓟马的室内毒力较高, 在 6 种药剂中仅次于 10% 溴虫氟苯双酰胺 SC, 位居第二, 与本研究结论基本一致。钱康华等^[13] 测试了 10 种常用药剂对 4 种蓟马的室内毒力, 发现 $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC 和 10% 虫螨腈 SC 对 4 种蓟马的毒力相对较高, 其中 $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC 对瓜蓟马和花蓟马的毒力最高, 王泽华等^[14] 通过测定 5 种药剂对蔬菜上棕榈蓟马的室内毒力和田间防效, 明确了乙基多杀菌素对棕榈蓟马杀虫活性最高。尽管具体 LC_{50} 值因试验条件、虫源及方法差异而难以直接比较, 但三者均肯定了乙基多杀菌素对瓜蓟马的高毒力特性, 与本研究结果高度吻合。此外, 本研究发现瓜蓟马和花蓟马对药剂的敏感性存在种间差异, 室内毒力测定结果显示, 10% 啉虫脒 EC 对瓜蓟马的毒力最低, LC_{50} 值为 $162.197 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 5% 甲维盐 ME 对花蓟马的毒力最低, LC_{50} 值为 $551.269 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

瓜蓟马对 10% 啉虫脒 EC 和 5% 甲维盐 ME 的敏感性明显高于花蓟马, 对 $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC 的敏感性同样高于花蓟马, 与钱康华等^[13] 研究存在一定差异, 这很可能与蓟马种群已对同类药剂产生抗性有关。例如, Shen 等^[15] 测定了两种

表 4 5 种杀虫剂对辣椒蓟马的田间防效

供试药剂 Insecticide	药剂稀释倍数 Dilution multiple of the pesticide	虫口基数/ (头·株 ⁻¹) Initial number of thrips	药后1 d One day after application			药后3 d Three days after application			药后7 d Seven days after application		
			虫口数/ (头·株 ⁻¹) Number of living thrips	虫口减退率/% Reduction rate	校正防效/% Corrected control efficacy	虫口数/ (头·株 ⁻¹) Number of living thrips	虫口减退率/% Reduction rate	校正防效/% Corrected control efficacy	虫口数/ (头·株 ⁻¹) Number of living thrips	虫口减退率/% Reduction rate	校正防效/% Corrected control efficacy
CK (清水对照)	—	14.43	19.10	-36.55 ^c	—	22.50	-54.95 ^a	—	24.85	-78.60 ^{ab}	—
10%吡虫啉 WP Imidacloprid 10% WP	1 500	7.23	6.13	16.01 ^{abc}	34.82 ^{ab}	13.60	-91.28 ^a	-35.97 ^a	21.48	-202.06 ^c	-67.04 ^c
20%呋虫胺 SG Dinotefuran 20% SG	1 500	7.38	6.43	7.95 ^{bc}	24.72 ^{ab}	14.28	-104.14 ^a	-53.23 ^a	16.55	-144.96 ^{bc}	-57.40 ^{bc}
60g·L ⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 60 g·L ⁻¹ spinetoram SC	1 000	9.28	3.53	60.23 ^{ab}	69.40 ^a	9.98	-28.29 ^a	1.56 ^a	12.95	-54.93 ^{ab}	13.28 ^{abc}
22.4%螺虫乙酯 SC Spirotetramat 22.4% SC	1 500	10.73	8.75	16.08 ^{abc}	30.03 ^{ab}	11.35	-7.17 ^a	21.85 ^a	16.43	-60.99 ^{ab}	-1.81 ^{abc}
10%溴氰虫酰胺 OD Cyantraniliprole 10% OD	1 500	11.88	11.50	-14.90 ^c	-2.41 ^b	17.13	-70.41 ^a	-6.55 ^a	12.23	-14.46 ^a	30.92 ^a
60g·L ⁻¹ 乙基多杀菌素 SC +引诱剂	1 500+1 500	12.48	2.95	72.64 ^a	79.15 ^a	12.50	-2.80 ^a	22.41 ^a	10.45	9.10 ^a	44.31 ^a

蓟马不同地理种群对目前生产上普遍使用的 9 种药剂的敏感性。结果发现,两种蓟马的部分种群对常用杀虫剂都相继演化出了不同水平的抗性,种内和种群间对 9 种常用杀虫剂的敏感性均存在显著差异,其中两种蓟马不同种群间对乙基多杀菌素敏感性差异最大,西花蓟马最耐药和最敏感种群之间的 LC_{50} 差异为 73.92 倍,瓜蓟马为 257.19 倍。因此,在田间应用中应结合监测目标区域的抗性水平,需谨慎使用。

乙基多杀菌素作为一种新型多杀菌素类杀虫剂,其作用机制是通过激活烟碱型乙酰胆碱受体和 GABA 门控氯离子通道,导致昆虫神经系统过度兴奋而死亡,因其对非靶标生物的低毒性及环境可降解性被列为可持续农业害虫管理的优选药剂,符合当前农药减量增效的政策导向。然而,田间应用试验结果显示,60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 对辣椒蓟马速效性一般(药后 1 d 防效 69.40%),但持效性较差(药后 3 d 防效<50%),这可能与易光降解和生物降解特性,蓟马繁殖快和隐蔽危害习性(如躲藏在花器内)有关^[12]。60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 减量使用并与蓟马食诱剂复配后,药后防效提升至 97.15%,防效 10% 的提升表明行为调控与化学防治的结合可显著提高防控效率,类似增效方法在缨翅目害虫防治中也有报道^[16]。值得注意的是,60 g·L⁻¹ 乙基多杀菌素 SC 减量使用并与蓟马食诱剂复配后使用,还延长了其有效防治时间,这种持效期的延长可能是“化学杀虫”与“行为调控”协同作用的结果。其主要原因由于乙基多杀菌素通过胃毒和触杀作用防治蓟马,但其持效受限于害虫接触药剂的程度。加入食诱剂后,持续诱导蓟马成虫接触含药剂残留部位,形成“诱集-击杀”循环,显著提高药剂利用效率,从而延长有效防效期,有效抑制田间虫口增长。尽管需进一步验证,但通过具有独特作用机理的乙基多杀菌素(作用于烟碱乙酰胆碱受体)与行为靶向的食诱剂协同应用,可集中诱杀害虫,确保包括潜在抗性个体在内的绝大多数接触足量药剂,从而减少抗性基因的存活与繁衍,有助于延缓抗药性发展并维持长期防效。总之,乙基多杀菌素与食诱剂组合应用防治效果的提高和持效期的延长,并非单一因素作用,而是一个行为学、生态学与毒理学共同作用的综合结果。食诱剂通过持续的行为

调控,提高了靶标害虫与药剂残留的接触效率,实现了对害虫种群的持续压制,从而克服了单剂防效不佳、持效期短的缺点。这为开发基于行为调控的绿色、精准防控技术提供了重要的理论依据和实践参考。

苗期灌根试验表明,10% 吡虫啉 WP、20% 呋虫胺 SG、10% 溴氰虫酰胺 OD、22.4% 螺虫乙酯 SC、25% 噻虫嗪 WG 等内吸性药剂通过灌根处理均可较长时间抑制辣椒蓟马种群(药效持续 55 d 以上),其中 25% 噻虫嗪 WG 表现出优异的抑制性和持效性(55 d 内虫口<10 头·株⁻¹)。这与李飞等^[17]的研究结果一致^[17],进一步证实了噻虫嗪作为一种具有强内吸性和长效性的新烟碱类杀虫剂,在作物苗期通过灌根方式施用,可充分发挥其在维管束系统中的传导特性,实现对蓟马的预防性控制。噻虫嗪是一种高效低毒的新烟碱类杀虫剂,具有较强的内吸传导性和长效作用机制,常被推荐在苗期灌根或喷淋施用进行害虫预防性控制^[13,17-18]。

相比之下,叶面喷雾的速效性和持效期普遍较差。本研究田间防效试验结果表明,10% 吡虫啉 WP、20% 呋虫胺 SG、10% 溴氰虫酰胺 OD、22.4% 螺虫乙酯 SC 等药剂在盛花期喷施药后的防效均低于 50%,防治效果不理想,显著低于对照药剂乙基多杀菌素防治效果。且随着时间的推移,药剂防治效果降低,药后 3 d 除 22.4% 螺虫乙酯 SC 外,其他药剂防治效果均降为负值,其中 10% 溴氰虫酰胺 OD 处理防效最低,药后 1 d 和 3 d 防治效果均为负值(-2.41%),与清水对照无显著差异。这一现象可能主要由两方面原因造成:其一,蓟马在花期常隐匿于花器内部,常规喷雾难以使药液有效覆盖靶标部位,导致实际接触药剂的虫量有限;其二,近年来蓟马对吡虫啉、呋虫胺等部分新烟碱类药剂已产生一定抗药性,进一步降低了药剂的实际防效。值得注意的是,乙基多杀菌素作为对照药剂在喷雾条件下,药后 1 d 表现出相对较好的防效,但药后 3 d 防效急剧下降,但其与蓟马食诱剂联合使用可以延长防效,增加药剂持效性。

综上所述,蓟马防治需根据作物生育期调整施药方式,苗期以内吸性药剂(如噻虫嗪)灌根或喷淋为主,盛花期则需结合速效触杀型药剂(如乙基多杀菌素)或复配技术进行防控。因此,本研究推

荐采用“苗期内吸性药剂灌根预防+花期中高效触杀剂与诱剂联用应急”的协同防控策略,以兼顾速效性与持效性。然而本研究也存在一定的局限性,未对室内毒力测定的5种杀虫剂均进行田间药效试验,钱康华等^[13]研究发现,室内毒力测定结果与田间药效存在差异的情况,本研究未进行进一步论证。下一步可以探索农药助剂、生物防治等与化学防治的协调作用,为辣椒蓟马科学防治提供技术支撑。

4 结 论

本研究通过系统的室内毒力测定、苗期灌根处理及田间药效试验,综合评价了多种杀虫剂对辣椒上蓟马的防治效果,明确了不同药剂对瓜蓟马和花蓟马的毒力差异及其田间应用的适用条件与局限性。研究结果表明,60 g·L⁻¹乙基多杀菌素SC在室内条件下对两种蓟马均表现出极高的毒力,其LC₅₀值显著低于其他药剂,相对毒力指数达9541.000,与已有研究一致,显示出优异的直接杀虫活性。然而,该药剂在田间喷雾应用中表现出速效性一般、持效性较差的特点,可能与药剂易光解、降解快以及蓟马隐蔽危害习性有关。通过将其与食诱剂复配使用,可显著提高防效并延长持效期,说明行为调控与化学防治协同可有效提升防控效率。

苗期灌根试验中,内吸性药剂如25%噻虫嗪WG表现出优异的持效性和种群抑制效果,药效可持续55 d以上,适用于苗期预防性防控。相比之下,盛花期叶面喷雾处理的防效普遍较低,多种药剂防效低于50%,甚至出现负值,反映出喷雾覆盖不足、抗药性发展及生态位隐蔽等因素的显著影响。

基于以上结果,本研究提出以“苗期内吸性药剂灌根预防+花期中高效触杀剂与诱剂联用应急”为核心的辣椒蓟马协同防控策略,兼顾不同生育期的防控需求与药剂特性,实现速效与持效的平衡。本研究仍存在一定局限,如未全面开展所有药剂的田间验证,且室内与田间结果的一致性需进一步论证。未来研究应聚焦于药剂复配、农药助剂使用、生物防治整合等综合技术体系的构建,以推动辣椒蓟马的绿色防控与抗药性治理。

参考文献:

- [1] 彭思云, 罗焱, 谢挺, 等. 我国辣椒产业与大数据融合现状、问题与对策[J]. 辣椒杂志, 2019, 17(3): 35–39. <https://doi.org/10.16847/j.cnki.issn.1672-4542.2019.03.009>
- [2] 霍晴, 赵邦宏, 王哲, 等. 我国加工辣椒产业西迁趋势、风险与对策建议[J]. 中国蔬菜, 2025(5): 1–7. <https://doi.org/10.19928/j.cnki.1000-6346.2025.1018>
- [3] 海南省民政厅 国家统计局海南调查总队关于印发《海南省最低生活保障家庭经济状况评估认定办法(修订)》的通知[EB/OL]. (2023-06-28)[2025-06-01]. <https://mz.hainan.gov.cn/smzt/0504/202307/def4c8aac7104320b381c940bb3b3961.shtml>
- [4] 成善汉, 汪志伟, 朱国鹏. 海南省蔬菜产业发展现状及对策[J]. 中国蔬菜, 2019(6): 16–20. <https://doi.org/10.19928/j.cnki.1000-6346.2019.06.004>
- [5] 吴明月, 李少卡, 李启珊, 等. 三亚辣椒害虫发生规律及蓟马种群动态分析[J]. 热带生物学报, 2024, 15(6): 655–663. <https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.20240109>
- [6] 陈青, 伍春玲, 梁晓, 等. 辣椒与甜玉米间套作对3种传毒害虫的微生态调控效果[J]. 热带农业科学, 2024, 44(8): 1–7. <https://doi.org/10.12008/j.issn.1009-2196.2024.08.001>
- [7] Barik S, Mahankuda B, Sahu N, et al. Thrips and mites in peppers: challenges and resistance strategies[J]. Euphytica, 2025, 221(6): 82. <https://doi.org/10.1007/S10681-025-03515-6>
- [8] Thakur D, Upadhyay V R, Ahirwar A. Assessment of bio-efficacy of insecticides against mites and thrips insect pest of Chilli[J]. International Journal of Environment and Climate Change, 2021, 11(5): 117–121. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2021/v11i530412>
- [9] 谢飞军, 俞冬红, 邵泱峰, 等. 温室辣椒烟粉虱隐种鉴定及其杀虫剂筛选[J]. 福建农业科技, 2025, 56(2): 15–19. <https://doi.org/10.13651/j.cnki.fjnykj.2025.02.003>
- [10] 李秋荣, 陈小华, 李志成, 等. 5种杀虫剂对设施辣椒西花蓟马的毒力及防效评价[J]. 青海大学学报, 2019, 37(5): 9–14. <https://doi.org/10.13901/j.cnki.qhwxzbk.2019.05.002>
- [11] 吴莉莉, 陈艳, 才才, 等. 4种杀虫剂对辣椒田棉铃虫的防治效果[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(3): 80–82. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6820.2022.03.017>
- [12] 胡守印, 董瑞, 明飞辰, 等. 不同药剂对瓜蓟马毒力及田间防效评价[J]. 中国蔬菜, 2025(5): 138–142. <https://doi.org/10.19928/j.cnki.1000-6346.2025.4014>
- [13] 钱康华, 袁江江, 王京, 等. 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[J]. 植物保护, 2023, 49(6): 343–349. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2022604>
- [14] 王泽华, 孙艳艳, 魏书军, 等. 几种杀虫剂对棕榈蓟马的室内毒力与田间防效[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 221–224. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0529-1542.2015.05.043>

- [15] Shen X J, Chen J C, Cao L J, et al. Interspecific and intraspecific variation in susceptibility of two co-occurring pest thrips, *Frankliniella occidentalis* and *Thrips palmi*, to nine insecticides[J]. *Pest Management Science*, 2023, 79(9): 3218–3226. <https://doi.org/10.1002/ps.7502>
- [16] Huang J, Gut L, Grieshop M. Evaluation of food-based attractants for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae)[J]. *Environmental Entomology*, 2017, 46(4): 878–884. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx097>
- [17] 李飞, 王相晶, 吴青君, 等. 三种药剂喷雾和灌根施药方式对西花蓟马的残留毒力[J]. *植物保护*, 2013, 39(3): 173–177. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0529-1542.2013.03.035>
- [18] 刘迎, 梁晓, 伍春玲, 等. 4 种种衣剂包衣处理对 3 种豇豆苗期害虫的室内防控效果研究[J]. *热带作物学报*, 2025, 46(7): 1767–1773. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2561.2025.07.023>

Laboratory toxicity and field control efficacy of several common insecticides against pepper thrips

Huang Kecheng^{1#}, Wu Mingyue^{2*}, Huang Shenglin^{3,4}, Fu Qiumei²,
Han Xiaolong², Kong Xiangyi², Xie Wen^{3,4*}

(1. Shenzhen Noposion Crop Science Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518102, China; 2. Sanya Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya, Hainan 572000, China; 3. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Laboratory of Vegetable Biotechnology Breeding, Beijing 100081, China; 4. National Nanfan Research Institute (Sanya), Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya, Hainan 572024, China)

Abstract: In order to screen highly effective insecticides for controlling *Thrips palmi* and *Frankliniella intonsa* on pepper (*Capsicum annuum*) in Sanya, Hainan Province, the toxicity differences of several commonly used insecticides against these two thrips species were evaluated through laboratory bioassays and field efficacy trials. The laboratory toxicity tests revealed that 60 g·L⁻¹ spinetoram suspension concentrate (SC) exhibited the highest toxicity against both the thrips species, with LC₅₀ values of 0.017 mg·L⁻¹ for *T. palmi* and 3.391 mg·L⁻¹ for *F. intonsa*, significantly superior to other tested insecticides. Additionally, 240 g·L⁻¹ chlorfenapyr SC and 10% spinosad SC also demonstrated relatively high toxicity against *F. intonsa*, with LC₅₀ values of 11.192 and 9.279 mg·L⁻¹, respectively. In contrast, 5% emamectin benzoate microemulsion (ME) and 10% acetamiprid emulsifiable concentrate (EC) showed lower toxicity against both the species, with LC₅₀ values exceeding 50 mg·L⁻¹. Field efficacy trials indicated that root irrigation with 25% thiamethoxam water-dispersible granules (WG) at 3,000-fold dilution during the seedling stage provided long-lasting suppression of thrips populations (residual efficacy ≥ 55 days). However, foliar spraying with 60 g·L⁻¹ spinetoram SC at 1,500-fold dilution during the full-bloom stage exhibited moderate immediate and residual efficacy (control efficiency of 69.40% at day 1 after treatment). Nevertheless, when combined with a food attractant, the control efficacy was significantly enhanced to 97.15% at day 1 after treatment. Based on these findings, an integrated control strategy of "thiamethoxam root irrigation at the seedling stage + spinetoram combined with food attractant at the full-bloom stage" is recommended for pepper thrips management, achieving a balance between immediate and sustained efficacy. This study provides a scientific basis for the green control of thrips on pepper crops.

Keywords: pepper thrips; spinetoram; thiamethoxam; toxicity bioassay; field control efficacy; synergistic control

(责任编辑: 张 瑁)