

14 种杀虫剂对双条拂粉蚧的生物活性测定

王雨天^{1,2}, 冯 琰¹, 梁泳琪¹, 曹先梅², 李 涛³, 王洪星^{2*}

1. 海南大学热带农林学院, 海南儋州 571737; 2. 海南大学南繁学院(三亚南繁研究院), 海南三亚 572025; 3. 海南省植物保护总站, 海南海口 571199

摘 要: 本研究旨在筛选出对双条拂粉蚧(*Ferrisia virgata*)毒杀效果较好的杀虫剂, 为双条拂粉蚧的科学防治提供依据。采用喷雾法在室内测定 14 种杀虫剂在 6、12、24、48 h 对双条拂粉蚧的毒杀效果, 对效果较好的 7 种杀虫剂测定处理 24、48 h 对双条拂粉蚧 3 龄若虫的致死中浓度(median lethal concentration, LC_{50}); 基于各杀虫剂的推荐使用剂量, 采用人工喷雾法于 2024 年 5 月在海南省三亚市崖州区槟榔园对啮虫脍、氟啶虫胺胍、甲氰菊酯、二嗪磷、噻虫嗪、丙·虱螨脲、氟啶虫酰胺·联苯菊酯进行双条拂粉蚧田间防效评价。初步筛选结果显示, 啮虫脍、氟啶虫胺胍、甲氰菊酯、二嗪磷、噻虫嗪、丙·虱螨脲、氟啶虫酰胺·联苯菊酯对双条拂粉蚧 3 龄若虫的毒杀效果较好, 药后 48 h 的死亡率均在 70% 以上。室内毒力测定结果显示, 处理后 24、48 h, 7 种药剂的相对毒力由大到小依次为噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍、啮虫脍、二嗪磷、氟啶虫酰胺·联苯菊酯、丙·虱螨脲。田间药效试验结果显示, 噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍和啮虫脍的田间防效较好, 药后 1~7 d 的校正防效达 60% 以上, 二嗪磷、氟啶虫酰胺·联苯菊酯、丙·虱螨脲药后 7 d 的校正防效低于 60%, 噻虫嗪对双条拂粉蚧的田间防效最佳, 施药 1 d 后校正防效为 90.13%, 施药 3 d 后校正防效达到峰值 94.53%, 施药 7 d 后校正防效降至 87.20%, 显著高于其他杀虫剂。研究结果表明, 噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍对双条拂粉蚧兼具较好的室内杀虫活性与田间防效。本研究结果为选择合适的药剂防治双条拂粉蚧提供科学依据, 也为槟榔黄化病的防控提供技术支持。

关键词: 双条拂粉蚧; 杀虫剂; 室内毒力; 田间药效; 槟榔黄化病

中图分类号: S763.7 文献标志码: A

Evaluation of the Bioactivity of 14 Insecticides Against *Ferrisia virgata*

WANG Yutian^{1,2}, FENG Yan¹, LIANG Yongqi¹, CAO Xianmei², LI Tao³, WANG Hongxing^{2*}

1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. School of Breeding and Multiplication (Sanya Institute of Breeding and Multiplication), Hainan University, Sanya, Hainan 572025, China; 3. Hainan Plant Protection Station, Haikou, Hainan 571199, China

Abstract: The aim of this study was to screen out insecticides that exhibit higher toxicity to *Ferrisia virgata*, thereby establishing a scientific foundation for controlling *F. virgata*. The toxicity of 14 insecticides on *F. virgata* was assessed indoors at 6 h, 12 h, 24 h and 48 h after application by a spraying method, among which the median lethal concentration (LC_{50}) values of the 7 insecticides showing greater efficacy against the 3rd nymph *F. virgata* were determined specifically at 24 h and 48 h post-application. Based on the recommended dosage of each insecticide, the field control efficacy of acetamiprid, sulfoxaflo, fenpropathrin, diazinon, thiamethoxam, profenofos·lufenuron, flonicamid·bifenthrin against *F. virgata* was evaluated by artificial spraying in the areca field of Yazhou, Sanya, Hainan in May 2024. The preliminary screening results showed that acetamiprid, sulfoxaflo, fenpropathrin, diazinon, thiamethoxam, profenofos·lufenuron, flonicamid·bifenthrin had good toxicity against the 3rd nymph *F. virgata*, with the mortality rate of more than 70% at 48 h after treatment. The results of laboratory toxicity determination showed that 24 h and 48 h after treatment, the rela-

收稿日期 2024-08-09; 修回日期 2024-09-21

基金项目 海南省槟榔产业技术体系植保与绿色防控项目(No. HNARS-01-G04); 三亚崖州湾科技城管理局“崖州湾”菁英人才科技专项(No. SCKJ-JYRC-2023-11)。

作者简介 王雨天(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 作物遗传育种。*通信作者(Corresponding author): 王洪星(WANG Hongxing), E-mail: 181721@hainanu.edu.cn。

tive virulence of the seven agents ranked from highest to lowest as follows: Thiamethoxam, fenpropathrin, sulfoxaflor, acetamiprid, diazinon, flonicamid·bifenthrin, profenofos·lufenuron. The results of field efficacy test showed that thiamethoxam, fenpropathrin, sulfoxaflor and acetamiprid exhibited the superior field control effect, and the corrected control effect was more than 60% during 1–7 days after treatment, while that of diazinon, flonicamid·bifenthrin, profenofos·lufenuron was less than 60% on 7 days after treatment. Thiamethoxam had the highest field control effect on mealybug bistrife, achieving a corrected control effect of 90.13% after 1 day of application, peaking at 94.53% after 3 days, and maintaining a substantial efficacy of 87.20% after 7 days, which was significantly higher than that of the other insecticides. The results of this study demonstrated that thiamethoxam, fenpropathrin, sulfoxaflor had good laboratory insecticidal activity and field control efficacy against *F. virgata*. The findings would provide a scientific basis for selecting suitable pesticides for controlling *F. virgata*, and also offer technical support for the prevention and control strategy of areca palm yellow leaf disease.

Keywords: *Ferrisia virgata*; insecticides; laboratory toxicity; field control efficacy; areca palm yellow leaf disease

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.02.013

槟榔 (*Areca catechu* L.) 是东南亚地区最具经济意义的热带作物之一, 因其作为嗜好品而广受欢迎, 在中国和印度商业价值最高。2020 年, 我国海南省槟榔果的总产值达到 146.8 亿元 (约 20 亿美元), 为 220 万农民提供了重要的收入来源^[1-2]。槟榔黄化病 (yellow leaf disease, YLD) 是一类危害槟榔的毁灭性病害, 对槟榔产业造成重大的经济损失^[3-4]。2020 年本团队通过关联性分析发现槟榔黄化相关病毒 (*Areca palm velarivirus* 1, APV1) 与海南槟榔黄化病高度相关^[3, 5]。虫媒接种试验证明槟榔园中天然分布的双条拂粉蚧 (*Ferrisia virgata*) 和柑桔棘粉蚧 (*Pseudococcus cryptus*) 是 APV1 的传播媒介, 可从染病槟榔上 100% 获毒并将 APV1 传播至健康槟榔植株, 随接种时间的延长, 槟榔 APV1 病毒含量越高, 致使槟榔出现典型的叶肉黄化, 叶脉保持绿色的黄化症状, 且双条拂粉蚧获毒能力测定显示最短获毒时间为 1 h^[6-7]。

双条拂粉蚧隶属半翅目 (Hemiptera) 蚧总科 (Coccoidea) 粉蚧科 (Pseudococcidae) 拂粉蚧属 (*Ferrisia*), 又称丝粉蚧、条拂粉蚧、橘腺刺粉蚧、大长尾介壳虫。该虫普遍分布于非洲、东南亚、夏威夷等热带和亚热带区域, 在我国长江流域以南部分地区也有分布^[6, 8-9]。双条拂粉蚧主要为害槟榔叶片, 其中以下层 4 片老叶为主, 少量为害树干。成虫和若虫长期聚集于老叶背面, 通过特有的刺吸式口器吸食组织汁液, 被为害槟榔叶片出现黄色或黄褐色斑点, 严重时叶片干枯坏死。此外, 在聚集为害的叶背, 双条拂粉蚧可分泌大量蜜露, 诱发煤烟病, 破坏叶片光合作用。为害花序严重时花序干枯, 造成落花落果^[10-12]。

双条拂粉蚧是为害海南省槟榔的重要害虫, 其以半持久方式传播 APV1 病毒, APV1 病毒病传染性强, 危害严重, 可造成槟榔产量显著下降, 甚至绝收^[6]。

目前, 针对 APV1 病毒引起的槟榔黄化病缺乏有效的防治手段和方法, 而切断传播途径是防治槟榔黄化病的关键手段^[1, 13-14]。关于双条拂粉蚧防治方面的研究尚无报道, 为了筛选出能有效防治双条拂粉蚧的药剂, 本研究利用喷雾法测定了 14 种药剂对双条拂粉蚧 3 龄若虫的毒杀效果, 通过室内毒力和田间防治效果验证, 筛选出对双条拂粉蚧具有高效防治效果的药剂, 为防控槟榔黄化病提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试昆虫 双条拂粉蚧于 2024 年 1 月 10 日采自海南省三亚市崖州区槟榔园, 在室内以南瓜为饲料进行脱毒, 续代饲养, 饲养条件: 温度为 (28±1)℃, 相对湿度为 75%~80%, 弱光条件的养虫室内^[6]。

1.1.2 供试药剂 供试药剂如表 1 所示。

1.2 方法

1.2.1 药剂配制 每种药剂根据有效成分含量用清水配制成浓度为 1 mg/L 的药剂母液 100 mL。后续初筛试验和室内毒力测定试验时再用清水稀释成不同浓度。

1.2.2 生物测定方法 采用喷雾法^[15-16]。供试药剂用清水稀释成不同浓度梯度的药剂溶液, 用毛笔挑取双条拂粉蚧 3 龄若虫至铺有滤纸的培养皿 (直径 9 cm) 内, 每皿放置 20 头。使用盛有药液的喷瓶对准培养皿连续喷 4~6 次, 使培养皿和

表 1 供试药剂信息
Tab. 1 Information on tested medicaments

类型 Type	药剂 Insecticide	剂型 Drug form	有效成分含量 Technical grade/%	生产厂家或提供单位 Manufacturer or provider
苯醚类	吡丙醚	乳油	10.0	上海生农生化制品股份有限公司
新烟碱类	啉虫脒	可溶粉剂	20.0	山东邹平农药有限公司
	噻虫嗪	水分散粒剂	25.0	瑞士先正达作物保护有限公司
	氟啉虫胺脒	悬浮剂	22.0	美国陶氏益农公司
有机磷类	啶硫磷	乳油	25.0	乐山新路化工有限公司
	稻丰散	乳油	60.0	江苏腾龙生物药业有限公司
	二嗪磷	微囊悬浮剂	40.0	江苏艾津作物科技集团有限公司
季酮酸类	螺虫乙酯	水分散粒剂	80.0	广东顾地丰生物科技有限公司
嘧啶酮类	三氟苯嘧啶	悬浮剂	10.0	上海绿泽生物科技有限责任公司
拟除虫菊酯类	甲氰菊酯	水乳剂	20.0	浙江威尔达化工有限公司
噻二嗪类	噻嗪酮	悬浮剂	37.0	江苏剑牌农化股份有限公司
复合类	丙·虱螨脲	乳油	55.0	孟州云大高科生物科技有限公司
	氟啉虫酰胺·联苯菊酯	悬浮剂	30.0	河北中天邦正生物科技股份有限公司
天然源类	矿物油	乳油	99.0	天津绿颖农药销售有限公司

虫体充分接触药液，用吸水纸吸取多余药液，盖好培养皿盖子。药剂初筛试验设置 14 个处理，每处理 3 次重复，以清水为对照^[17]。药剂毒力测定试验设置 35 个处理，每处理 3 次重复，以清水为对照。置于温度为(28±1)℃、相对湿度为(65±10)%、光暗比(L:D)为 14 h:10 h 的人工气候箱中饲养观察^[18]。药剂初筛试验 6、12、24、48 h 后检查存活虫数和死亡虫数，药剂毒力测定试验 24、48 h 后检查存活虫数和死亡虫数。用毛笔轻碰后虫体不动、足不能动的视为死亡。每个处理 4 次重复。

1.2.3 7 种药剂对双条拂粉蚧的田间防效测定根据 1.2.2 的试验结果选择药效较好的 7 种药剂，然后配制厂家推荐使用的最低浓度，以清水作为空白对照进行田间试验。在三亚崖州区槟榔园中进行田间防效试验，以喷雾施药。虫口基数调查以槟榔植株为单位，每 5 株为 1 个小区，每小区作为 1 个处理，随机抽取 2 株槟榔(标记)进行调查，3 次重复，取平均数作为虫口基数。用小型喷雾器对所调查小区的槟榔均匀喷雾，并于施药后 1、3、7 d 分别调查标记槟榔植株上残存的双条拂粉蚧活虫数量。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件进行试验数据的统计与分析，采用 SPSS 22.0 软件计算药剂的毒力回归方程、致死中浓度(LC₅₀)、95%置信区间，以及分析相同药剂不同时间或不同浓度处理后双条拂粉蚧死亡率的差异显著性。相对毒力指数=供试药

剂中最大 LC₅₀ 值/供试药剂 LC₅₀ 值^[18-19]，其他指标分别按下列公式计算：

$$\text{死亡率} = \frac{\text{死亡虫数}}{\text{供试虫数}} \times 100\%$$
$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{1 - \text{对照组死亡率}} \times 100\%$$
$$\text{虫口减退率} = \frac{\text{防前虫口数} - \text{防后虫口数}}{\text{防前虫口数}} \times 100\%$$
$$\text{校正防效} = \frac{\text{防治虫口减退率} - \text{对照虫口减退率}}{1 - \text{对照虫口减退率}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 14 种药剂处理后双条拂粉蚧 3 龄若虫的死亡率

根据预试验,使用不同药剂 0.01 mg/L 浓度处理后双条拂粉蚧 3 龄若虫的校正死亡率见表 2。三氟苯嘧啶、啉虫脒、氟啉虫胺脒、稻丰散、二嗪磷、甲氰菊酯、噻嗪酮、噻虫嗪、螺虫乙酯、氟啉虫酰胺·联苯菊酯及矿物油 11 种药剂在 0.01 mg/L 的浓度下,24 h 内双条拂粉蚧的校正死亡率存在明显变化,并随处理时间的延长,其校正死亡率逐渐增大。喷施啉虫脒、氟啉虫胺脒、甲氰菊酯、二嗪磷、噻虫嗪、丙·虱螨脲、氟啉虫酰胺·联苯菊酯后 48 h,双条拂粉蚧的校正死亡率均在 70%以上;喷施三氟苯嘧啶、稻丰散、噻嗪酮、螺虫乙酯后 48 h,双条拂粉蚧的校正死亡率均在 20%~50%之间;喷施吡丙醚、啶硫磷、矿物

表 2 14 种药剂对双条拂粉蚧 3 龄若虫的生物活性
Tab. 2 Biological activities of 14 insecticides against 3rd nymph *F. virgata*

药剂 Insecticide	校正死亡率 Corrected mortality/%			
	药后 6 h 6 h after the drug	药后 12 h 12 h after the drug	药后 24 h 24 h after the drug	药后 48 h 48 h after the drug
吡丙醚	0.00	0.00	0.00	0.00
啶硫磷	0.00	0.00	0.00	8.33±2.08 ^a
三氟苯嘧啶	0.00	10.42±2.08 ^c	35.42±2.08 ^b	50.00±7.22 ^a
啶虫脒	22.92±2.08 ^c	52.08±5.51 ^b	97.92±2.08 ^a	100.00±0.00 ^a
氟啶虫胺胍	43.75±3.61 ^c	81.25±3.61 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
稻丰散	8.33±2.08 ^c	10.42±2.08 ^c	20.83±2.08 ^b	29.17±2.08 ^a
二嗪磷	4.17±2.08 ^d	31.25±3.61 ^c	72.92±2.08 ^b	91.67±2.08 ^a
甲氰菊酯	31.25±3.61 ^c	89.58±2.08 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
噻嗪酮	0.00	8.33±2.08 ^c	37.50±3.61 ^b	50.00±3.61 ^a
噻虫嗪	66.67±4.17 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
螺虫乙酯	6.25±3.61 ^b	29.17±4.17 ^a	35.42±7.51 ^a	45.83±8.33 ^a
丙·虱螨脲	0.00	0.00	45.83±4.17 ^b	74.58±5.51 ^a
氟啶虫酰胺·联苯菊酯	6.25±3.61 ^c	10.42±7.51 ^c	62.50±3.61 ^b	81.25±3.61 ^a
矿物油	0.00	8.33±5.51 ^a	10.42±5.51 ^a	16.67±7.51 ^a

注：同行数据后不同小写字母表示相同药剂不同时间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the data in the same row indicate significant difference between different time of the same insecticide ($P<0.05$).

油后 48 h，双条拂粉蚧的校正死亡率均在 20%以下。结果表明，啶虫脒、氟啶虫胺胍、甲氰菊酯、二嗪磷、噻虫嗪、丙·虱螨脲、氟啶虫酰胺·联苯菊酯 7 种药剂对双条拂粉蚧的毒杀效果最好，而吡丙醚、啶硫磷、矿物油的毒杀效果最差。

2.2 7 种药剂的室内毒力测定

2.2.1 不同药剂处理后双条拂粉蚧 3 龄若虫的死亡率 根据 2.1 的药剂筛选试验，选出杀虫效果较好的 7 种药剂进行室内毒力测定。由表 3 可知，药后 24、48 h，相同药剂不同浓度时，随药剂浓度的升高，双条拂粉蚧的校正死亡率逐渐增大，最高浓度和最低浓度的校正死亡率达显著性差异；同一药剂随处理时间的延长，其校正死亡率逐渐增大。噻虫嗪对双条拂粉蚧 3 龄若虫的毒杀效果最好，在浓度 0.000 040 mg/L 时，药后 48 h 的校正死亡率在 50.00%以上。丙·虱螨脲对双条拂粉蚧 3 龄若虫的毒杀作用最差，药后 48 h，最高剂量 0.015 mg/L 的校正死亡率为 86.67%。

2.2.2 不同药剂处理后双条拂粉蚧 3 龄若虫的 LC₅₀ 值及相对毒力指数 7 种不同药剂处理后双条拂粉蚧 3 龄若虫的 LC₅₀ 值及相对毒力指数见表 4。采用喷雾法测定结果显示，丙·虱螨脲对双条拂粉蚧 3 龄若虫的 LC₅₀ 值最大，因此在计算相对毒力指数时以该药剂的 LC₅₀ 值作为参照基础，即

为 1。药后 24 h，7 种药剂的相对毒力由大到小依次为噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍、啶虫脒、二嗪磷、氟啶虫酰胺·联苯菊酯、丙·虱螨脲；药后 48 h，7 种药剂相对毒力的大小顺序未发生改变。药后 24、48 h，噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍和啶虫脒的相对毒力均排在前 4 位，药后 24 h，上述 4 种药剂的 LC₅₀ 值分别为 6.054×10⁻⁵、5.104×10⁻⁴、6.541×10⁻⁴、1.730×10⁻³ mg/L，药后 48 h 的 LC₅₀ 值分别为 2.982×10⁻⁵、1.672×10⁻⁴、2.245×10⁻⁴、5.030×10⁻⁴ mg/L。在施药后 24、48 h，噻虫嗪的相对毒力指数分别为 146.91 和 54.53，均排在第 1 位，表明噻虫嗪对双条拂粉蚧 3 龄若虫的毒杀效果最好。

2.3 7 种药剂对双条拂粉蚧的田间防效

对室内毒力表现较好的 7 种药剂开展田间防效试验，结果显示，药后 1~7 d 噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍和啶虫脒的校正防效均达 60%以上，其余 3 种药剂药后 7 d 的校正防效均低于 60%（表 5），表明噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍和啶虫脒对双条拂粉蚧田间种群防治效果较好。

3 讨论

双条拂粉蚧作为一种害虫，不仅取食寄主叶片、分泌蜜露为害作物^[9, 12, 20]，还因其具有刺吸

表 3 7 种药剂对双条拂粉蚧 3 龄若虫的生物活性
Tab. 3 Biological activities of 7 insecticides against 3rd nymph *F. virgata*

药剂 Insecticide	浓度 Concentration /(mg·L ⁻¹)	校正死亡率 Corrected mortality/%		药剂 Insecticide	浓度 Concentration /(mg·L ⁻¹)	校正死亡率 Corrected mortality/%	
		药后 24 h	药后 48 h			药后 24 h	药后 48 h
		24 h after spraying	48 h after spraying			24 h after spraying	48 h after spraying
啶虫脒	0.0020	60.00±5.77 ^a	83.33±3.33 ^a	丙·虱螨脲	0.0150	63.33±3.33 ^a	86.67±3.33 ^a
	0.0010	36.67±3.33 ^b	70.00±11.55 ^a		0.0050	33.33±3.33 ^b	66.67±6.67 ^{ab}
	0.0005	20.00±11.55 ^{bc}	36.67±3.33 ^b		0.0020	26.67±3.33 ^{bc}	60.00±5.77 ^{bc}
	0.0002	16.67±3.33 ^{bc}	26.67±6.67 ^b		0.0010	20.00±5.77 ^{bc}	40.00±10.00 ^{cd}
	0.0001	13.33±6.67 ^c	23.33±8.82 ^b		0.0005	13.33±8.82 ^c	26.67±8.82 ^d
氟啶虫胺胍	0.0020	86.67±8.82 ^a	93.33±3.33 ^a	氟啶虫酰胺·联苯菊酯	0.0100	66.67±3.33 ^a	86.67±3.33 ^a
	0.0010	56.67±3.33 ^b	83.33±3.33 ^a		0.0050	43.33±3.33 ^b	63.33±3.33 ^b
	0.0005	36.67±8.82 ^c	66.67±3.33 ^b		0.0020	36.67±3.33 ^b	50.00±5.77 ^{bc}
	0.0002	16.67±3.33 ^d	53.33±3.33 ^b		0.0010	30.00±0.00 ^{bc}	46.67±3.33 ^{cd}
	0.0001	13.33±3.33 ^d	26.67±8.82 ^c		0.0005	16.67±8.82 ^c	33.33±6.67 ^d
甲氰菊酯	0.00100	63.33±8.82 ^a	86.67±8.82 ^a	二嗪磷	0.0050	53.33±3.33 ^a	76.67±3.33 ^a
	0.00050	46.67±12.02 ^{ab}	66.67±8.82 ^{ab}		0.0020	40.00±5.77 ^a	60.00±5.77 ^{ab}
	0.00020	33.33±3.33 ^{bc}	50.00±10.00 ^{bc}		0.0010	23.33±3.33 ^b	46.67±6.67 ^{bc}
	0.00010	26.67±3.33 ^{bc}	43.33±6.67 ^{bc}		0.0005	16.67±6.67 ^b	33.33±6.67 ^c
	0.00005	10.00±5.77 ^c	26.67±3.33 ^c		0.0001	10.00±5.77 ^b	26.67±8.82 ^c
噻虫嗪	0.000050	46.67±8.82 ^a	63.33±6.67 ^a				
	0.000040	36.67±3.33 ^{ab}	56.67±3.33 ^a				
	0.000020	23.33±3.33 ^{bc}	36.67±3.33 ^b				
	0.000010	16.67±6.67 ^{cd}	30.00±5.77 ^{bc}				
	0.000005	3.33±3.33 ^d	13.33±8.82 ^c				

注：同列数据后不同小写字母表示相同药剂不同浓度下差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference between different concentrations of the same insecticide ($P<0.05$).

表 4 7 种药剂对双条拂粉蚧 3 龄若虫的室内毒力
Tab. 4 Laboratory toxicity of 7 insecticides to 3rd nymph *F. virgata*

时间 Time/h	药剂 Insecticide	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	毒力回归方程 Regression equation	χ ²	95%置信区间 95% confidence interval/(mg·L ⁻¹)	相对毒力指数 Relative virulence index
24	啶虫脒	1.730×10 ⁻³	y=1.052x+2.905	1.567	9.009×10 ⁻⁴ ~1.009×10 ⁻²	5.14
	氟啶虫胺胍	6.541×10 ⁻⁴	y=1.685x+5.365	1.874	4.467×10 ⁻⁴ ~1.034×10 ⁻³	13.60
	甲氰菊酯	5.104×10 ⁻⁴	y=1.104x+3.636	0.549	2.928×10 ⁻⁴ ~1.538×10 ⁻³	17.43
	噻虫嗪	6.054×10 ⁻⁵	y=1.473x+6.213	0.595	3.647×10 ⁻⁵ ~2.623×10 ⁻⁴	146.91
	丙·虱螨脲	8.894×10 ⁻³	y=0.938x+1.924	0.708	4.403×10 ⁻³ ~5.102×10 ⁻²	1.00
	氟啶虫酰胺·联苯菊酯	4.732×10 ⁻³	y=0.939x+2.184	0.806	2.510×10 ⁻³ ~1.933×10 ⁻²	1.88
	二嗪磷	4.669×10 ⁻³	y=0.871x+2.031	0.663	2.098×10 ⁻³ ~4.980×10 ⁻²	1.91
48	啶虫脒	5.030×10 ⁻⁴	y=1.363x+4.496	2.401	3.119×10 ⁻⁴ ~8.427×10 ⁻⁴	3.23
	氟啶虫胺胍	2.245×10 ⁻⁴	y=1.524x+5.562	0.553	1.203×10 ⁻⁴ ~3.412×10 ⁻⁴	7.24
	甲氰菊酯	1.672×10 ⁻⁴	y=1.198x+4.525	0.725	8.755×10 ⁻⁵ ~2.828×10 ⁻⁴	9.72
	噻虫嗪	2.982×10 ⁻⁵	y=1.362x+6.162	0.347	1.918×10 ⁻⁵ ~6.373×10 ⁻⁵	54.53
	丙·虱螨脲	1.626×10 ⁻³	y=1.125x+3.136	0.490	8.009×10 ⁻⁴ ~2.832×10 ⁻³	1.00
	氟啶虫酰胺·联苯菊酯	1.481×10 ⁻³	y=1.016x+2.874	1.385	6.073×10 ⁻⁴ ~2.713×10 ⁻³	1.10
	二嗪磷	9.751×10 ⁻⁴	y=0.807x+2.431	1.158	4.161×10 ⁻⁴ ~2.470×10 ⁻³	1.67

表 5 7 种药剂对双条拂粉蚧的田间药效
Tab. 5 Field control effect of 7 insecticides to *F. virgata*

药剂 Insecticide	虫口基数 (头) Insect population base (head)	活虫数 (头) Number of live insects (head)			校正防效 Corrected control effect/%		
		药后 1 d 1 d after spraying	药后 3 d 3 d after spraying	药后 7 d 7 d after spraying	药后 1 d 1 d after spraying	药后 3 d 3 d after spraying	药后 7 d 7 d after spraying
啶虫脒	47.33	15.00	11.00	17.33	67.96±2.00 ^{ab}	76.37±2.45 ^a	62.73±2.99 ^c
氟啶虫胺胍	52.00	14.33	12.33	16.33	72.51±1.50 ^a	76.20±2.51 ^a	68.61±3.22 ^a
甲氰菊酯	43.67	10.00	5.00	12.33	76.53±2.48 ^b	88.26±1.24 ^a	71.19±1.85 ^b
噻虫嗪	44.67	4.33	2.33	5.67	90.13±1.09 ^b	94.53±1.33 ^a	87.20±0.63 ^b
丙·虱螨脲	43.67	21.00	13.00	23.33	51.45±2.23 ^b	70.57±1.50 ^a	46.26±1.45 ^b
氟啶虫酰胺·联苯菊酯	33.33	15.67	10.33	19.00	53.37±2.64 ^b	69.34±2.13 ^a	43.02±1.40 ^c
二嗪磷	42.33	16.67	11.00	18.00	60.78±1.01 ^b	75.03±4.26 ^a	56.64±3.26 ^b
CK	31.33	31.33	31.67	30.67			

注：同行数据后不同小写字母表示相同药剂不同时间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters after the data in the same row indicate significant difference between different time of the same insecticide ($P<0.05$).

式口器，作为可可肿枝病毒 (Cacao swollen shoot virus, CSSV) 和胡椒黄斑驳病毒 (Piper yellow mottle virus, PYMV) 的传播媒介^[21-22]，促进病毒的传播，致使大量农作物感病死亡。在海南省，双条拂粉蚧因传播 APV1 病毒，使大批槟榔黄化，产量下降，受到人们的广泛关注^[6-7]。目前缺乏有效的措施防治槟榔黄化病，切断 APV1 的传播媒介是一个关键的手段。国内外对双条拂粉蚧防治研究的相关报道较少，借鉴经验也较少。其他粉蚧类害虫的化学防治研究表明，高效氯氟氰菊酯、丙溴磷、毒死蜱和阿维菌素对棉花粉蚧具有较好的毒杀效果^[18]；烯啶虫胺对新菠萝灰粉蚧的触杀毒力最好，可作为防治新菠萝灰粉蚧的备选药剂^[16]；王伟兰等^[23]研究认为丙溴磷、吡虫啉、毒死蜱等化学杀虫剂对扶桑绵粉蚧的直接毒杀效果显著；程东美等^[24]研究表明灭多威、敌敌畏、毒死蜱、啶虫脒等农药对埃及吹绵蚧 3 龄若虫均有较好的室内和田间毒杀作用。由此可见，不同粉蚧对不同药剂的敏感度存在差异，使用具有针对性的化学药剂可以提高防治效果。为此，本团队开展市面上常规的 14 种药剂对双条拂粉蚧的毒杀效果研究，结果表明，14 种药剂经过预试验确定使用浓度为 0.01 mg/L，在保持其他相同条件的情况下，噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍、啶虫脒、二嗪磷、氟啶虫酰胺·联苯菊酯、丙·虱螨脲 7 种药剂对双条拂粉蚧 3 龄若虫的药效较好，进一步测定上述 7 种药剂对双条拂粉蚧 3 龄若虫的毒力及其田间防治效果。毒力测定表明，这 7 种药剂

均对双条拂粉蚧 3 龄若虫有较好的触杀作用，无论是药后 24 h 还是 48 h，噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍的相对毒力均排在前 3 位且噻虫嗪的效果最好，这 3 种药剂在田间试验中，药后 1~7 d 的校正防效达 70% 以上，其中噻虫嗪的防治效果达到 85%，与其他药剂相比，噻虫嗪能够有效防治双条拂粉蚧 3 龄若虫。

噻虫嗪是一种第 2 代烟碱类高效低毒杀虫剂，杀虫谱广，对作物、环境安全且具有很强的叶片传导活性和根部内吸性，药剂能快速、充分被吸收，在植株体内滞留时间长，降解缓慢，同时其降解产物噻虫胺杀虫活性更高，持效期更长^[16]。甲氰菊酯对害虫的击倒速度快，具有高效、广谱、低残留、持效期长的特点，在农业生产中被广泛应用^[25-26]。氟啶虫胺胍作用于昆虫的神经系统，杀虫谱广，可通过叶、茎、根吸收进入植物体内，对害虫具有触杀和胃毒作用，药效快、持效期长^[27]。白学慧等^[12]研究表明，1000 倍高效氯氟氰菊酯对双条拂粉蚧具有较好的毒杀效果，在发生虫害的咖啡园中每隔 10 d 喷施 1 次，喷施 3 次，经 1 a 监测未发现该虫再次发生。由此，也可以使用氯氟氰菊酯喷施槟榔，比较该药剂与本研究供试药剂的防治效果是否存在差异。因槟榔叶片蜡质层厚实，在喷施噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍时可辅以渗透剂，以便更好地发挥药效。综上所述，噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺胍在双条拂粉蚧的综合防治中具有重要的应用价值。

双条拂粉蚧繁殖力强，世代重叠严重，有群

集习性,且善于隐藏,主要聚集在槟榔叶片背部、叶鞘等部位,隐藏槟榔叶片的裂缝和翘皮下^[8, 28],使双条拂粉蚧的全面防治具有较大困难。在田间防治期间,可将本研究毒杀效果较好的噻虫嗪与其他内吸性药剂混合喷施,间隔 15 d 喷施 1 次,连续喷施 3 次,可达到较好的防治效果。不同龄期粉蚧对药剂的敏感性存在差异,印楝油对扶桑绵粉蚧的直接毒杀作用较弱,药后 3 d 对 1 龄若虫的致死率仅为 66.43%,对其他虫龄几乎无直接毒杀作用,不同虫期中低龄若虫对药剂更敏感^[23, 29];不同龄期新菠萝灰粉蚧对 5 种杀虫剂的敏感顺序为:1 龄>2 龄>3 龄>雌成虫^[16]。因此,使用适当的药剂消灭媒介昆虫,可以有效切断病害的传播途径,减少病源的扩散,降低槟榔黄化病的发生率,有助于种植户及时发现并处理虫害,减少病害对槟榔产量和品质的影响,促进槟榔产业的健康发展。

本研究从 14 种药剂里筛选出对双条拂粉蚧毒杀效果较好的 3 种药剂为噻虫嗪、甲氰菊酯、氟啶虫胺腈,但是本研究仅对双条拂粉蚧 3 龄若虫进行试验验证,后期有必要针对双条拂粉蚧虫卵及不同龄期进行药剂筛选,以期对槟榔黄化病的综合防治提供更科学、准确的理论依据。

参考文献

- [1] KHAN L U, ZHAO R B, WANG H X, HUANG X. Recent advances of the causal agent of yellow leaf disease (YLD) on areca palm (*Areca catechu* L.)[J]. Tropical Plants, 2023, 2: 7.
- [2] CAO X M, GAO B S, LU J, WANG H X, ZHAO R B, HUANG X. Areca palm velarivirus 1 infection caused disassembly of chloroplast and reduction of photosynthesis in areca palm[J]. Frontiers in Microbiology, 2024, 15: 1424489.
- [3] WANG H X, ZHAO R B, ZHANG H W, CAO X M, LI Z T, ZHANG Z, ZHAI J L, HUANG X. Prevalence of yellow leaf disease (YLD) and its associated Areca palm velarivirus 1 (APV1) in betel palm (*Areca catechu*) plantations in Hainan, China[J]. Plant Disease, 2020, 104(10): 2556-2562.
- [4] 陈阳, 王洪星, 黄惜. 槟榔 APV1 病毒多克隆抗体制备及酶联免疫检测[J]. 分子植物育种, 2022, 20(2): 518-523.
CHEN Y, WANG H X, HUANG X. Polyclonal antibody preparation of betel palm APV1 virus and enzyme-linked immunoassay[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(2): 518-523. (in Chinese)
- [5] YU H M, QI S S, CHANG Z X, RONG Q Q, AKINYEMI I A, WU Q F. Complete genome sequence of a novel velarivirus infecting areca palm in China[J]. Archives of Virology, 2015, 160(9): 2367-2370.
- [6] ZHANG H W, ZHAO X, CAO X M, KHAN L U, ZHAO R B, WANG H X, HUANG X. Transmission of Areca palm velarivirus 1 by mealybugs causes yellow leaf disease in betel palm (*Areca catechu*)[J]. Phytopathology, 2022, 112(3): 700-707.
- [7] ZHAO X, ZHAO R B, CAO X M, WANG Y T, WANG H X, HUANG X. Transmission of Areca palm velarivirus 1 (APV1) by *Pseudococcus cryptus*[J]. Phytopathology Research, 2024, 6(1): 10.
- [8] 黄山春, 袁雄峰, 覃伟权, 唐庆华, 宋薇薇. 槟榔新害虫——双条拂粉蚧形态鉴定[J]. 热带农业科学, 1-8. (2024-03-10)[2024-07-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1038.S.20240308.1726.004.html>.
HUANG S C, YUAN X F, QIN W Q, TANG Q H, SONG W W. A new insect pest of *Areca catechu* L. morphological identification of *Ferrisia virgata* Cockerell[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1-8. (2024-03-10)[2024-07-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1038.S.20240308.1726.004.html>. (in Chinese)
- [9] 苏静惠, 吴宗震, 李界秋, 刘家勇, 胡锦, 郑霞林. 双条拂粉蚧为害番石榴初报[J]. 广西植保, 2024, 37(1): 1-6.
SU J H, WU Z Z, LI J Q, LIU J Y, HU J, ZHENG X L. Preliminary report of *Ferrisia virgata* Cockerell damaged on guava *Psidium guajava* Linn[J]. Guangxi Plant Protection, 2024, 37(1): 1-6. (in Chinese)
- [10] PITINO M, HOFFMAN M T, ZHOU L J, HALL D G, STOCKS I C, DUAN Y P. The phloem-sap feeding mealybug (*Ferrisia virgata*) carries 'Candidatus Liberibacter asiaticus' populations that do not cause disease in host plants[J]. PLoS One, 2014, 9(1): e85503.
- [11] GULLAN P J, DOWNIE D A, STEFFAN S A. A new pest species of the mealybug genus *Ferrisia* Fullaway (Hemiptera: Pseudococcidae) from the United States[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2009, 96(6): 723-737.
- [12] 白学慧, 吴贵宏, 邵维治, 张洪波, 周华, 李锦红. 云南咖啡害虫双条拂粉蚧发生初报[J]. 热带农业科学, 2017, 37(6): 35-37, 48.
BAI X H, WU G H, SHAO W Z, ZHANG H B, ZHOU H, LI J H. Preliminary report on occurrence of *Ferrisia virgata* infesting coffee in Yunnan province[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2017, 37(6): 35-37, 48. (in Chinese)
- [13] KHAN L U, CAO X M, ZHAO R B, TAN H, XING Z Y, HUANG X. Effect of temperature on yellow leaf disease symptoms and its associated Areca palm velarivirus 1 titer in areca palm (*Areca catechu* L.)[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1023386.
- [14] WHITFIELD A E, ROTENBERG D. Disruption of insect

- transmission of plant viruses[J]. *Current Opinion in Insect Science*, 2015, 8: 79-87.
- [15] 黄山春, 覃伟权, 唐庆华, 李朝绪, 宋薇薇. 7 种药剂对柑橘棘粉蚧的室内毒力测定[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(4): 146-147, 175.
- HUANG S C, QIN W Q, TANG Q H, LI C X, SONG W W. Indoor toxicity test of seven insecticides against *Pseudococcus cryptus*[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(4): 146-147, 175. (in Chinese)
- [16] 莫秀芳, 冯岗, 叶火春, 贺春萍, 吴伟怀, 黄兴, 曾鑫年, 易克贤. 新烟碱类杀虫剂对新菠萝灰粉蚧的毒力[J]. *环境昆虫学报*, 2019, 41(6): 1375-1379.
- MO X F, FENG G, YE H C, HE C P, WU W H, HUANG X, ZENG X N, YI K X. Toxicity of neonicotinoid insecticides against *Dysmicoccus neobrevipes*[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41(6): 1375-1379. (in Chinese)
- [17] 吴珍平, 吴洁, 杨兆光, 赵沛, 乔艳艳. 4 种植物源杀虫剂对扶桑绵粉蚧毒力及龟纹瓢虫安全评价[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(12): 111-115.
- WU Z P, WU J, YANG Z G, ZHAO P, QIAO Y Y. Toxicity of four botanical insecticides to *Phenacoccus solenopsis* and safety evaluation to predator *Propylaea japonica*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(12): 111-115. (in Chinese)
- [18] 梁巧丽, 梁广文, 陆永跃. 应用浸叶法评价 14 种杀虫剂对棉花粉蚧的毒力[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(6): 99-104.
- LIANG Q L, LIANG G W, LU Y Y. Toxicity of 14 insecticides to cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley with leaf dipping method[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(6): 99-104. (in Chinese)
- [19] DHAWAN A, SAINI S, SINGH K. Evaluation of novel and conventional insecticides for management of mealy bug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in Punjab[J]. *Pesticide Research Journal*, 2008, 2(3): 214-216.
- [20] 李伟才, 何衍彪, 詹儒林, 王一承, 石胜友, 魏永赞. 广东龙眼害虫双条拂粉蚧发生危害初报[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(6): 152-153, 237.
- LI W C, HE Y B, ZHAN R L, WANG Y C, SHI S Y, WEI Y Z. Preliminary report on the damage of *Ferrisia virgata* Cockerell on *Dimocarpus longgana* Lour. in Guangdong[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(6): 152-153, 237. (in Chinese)
- [21] 肖春霞, 李百胜, 廖太林, 陈集翰, 纪睿, 陈坚. 传播可可肿枝病毒病的几种主要粉蚧[J]. *植物检疫*, 2008(3): 170-171.
- XIAO C X, LI B S, LIAO T L, CHEN J H, JI R, CHEN J. The main mealybugs that transmit cocoa swavirus disease[J]. *Plant Quarantine*, 2008(3): 170-171. (in Chinese)
- [22] BHAT A I, DEVASAHAYAM S, SARMA Y R, PANT R P. Association of a badnavirus in black pepper (*Piper nigrum* L.) transmitted by mealybug (*Ferrisia virgata*) in India[J]. *Current Science*, 2003, 84(12): 1547-1550.
- [23] 王伟兰, 陈红松, 黄立飞, 姜建军, 杨朗. 4 种杀虫剂对取食朱槿的扶桑绵粉蚧的毒杀作用[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(9): 99-103, 107.
- WANG W L, CHEN H S, HUANG L F, JIANG J J, YANG L. Toxic effects of four insecticides on mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) fed on *Hibiscus rosa-sinensis* (Malvales: Malvaceae)[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(9): 99-103, 107. (in Chinese)
- [24] 程东美, 张志祥, 黄永健, 韩群鑫. 几种杀虫剂对埃及吹绵蚧的室内毒力与田间药效[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(16): 76-77, 86.
- CHENG D M, ZHANG Z X, HUANG Y J, HAN Q X. Laboratory toxicity tests and field trials of several kinds of insecticides to *Icerya aegyptiaca*[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(16): 76-77, 86. (in Chinese)
- [25] TOMIZAWA M, CASIDA J E. Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors[J]. *Annual Review of Entomology*, 2003, 48: 339-364.
- [26] 庄少如, 魏凤华, 林宏杰, 黄楚妍, 刘梦璇, 陈子豪. 甲氰菊酯和高效氯氰菊酯杀虫剂对摇蚊的联合行为效应[J]. *安徽化工*, 2023, 49(5): 70-73, 78.
- ZHUANG S R, WEI F H, LIN H J, HUANG C Y, LIU M X, CHEN Z H. Combined behavioral effect of fenpropathrin and beta-cypermethrin insecticides in *Chironomidae*[J]. *Anhui Chemical Industry*, 2023, 49(5): 70-73, 78. (in Chinese)
- [27] 陈佳斌, 刘秉阳, 张丽萍, 杨玲, 王芳. 氟啶虫胺腈对枸杞棉蚜室内毒力及田间防效研究[J]. *农药科学与管理*, 2023, 44(3): 47-51.
- CHEN J B, LIU B Y, ZHANG L P, YANG L, WANG F. Toxicity tests and field efficacy trials of sulfoxaflo 50% WG against *Aphis Gossypii* Glover[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2023, 44(3): 47-51. (in Chinese)
- [28] CULIK M P, MARTINS D S, GULLAN P J. First records of two mealybug species in Brazil and new potential pests of papaya and coffee[J]. *Journal of Insect Science*, 2006, 6: 1-6.
- [29] 咎庆安, 闫鹏飞, 毛加梅, 柏天琦, 邓裕亮, 张宏瑞. 六种杀虫剂对扶桑绵粉蚧的毒力和防治效果[J]. *环境昆虫学报*, 2016, 38(4): 761-765.
- ZAN Q A, YAN P F, MAO J M, BAI T Q, DENG Y L, ZHANG H R. Toxicity and effect of pesticides against *Phenacoccus solenopsis* Tinsley[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38(4): 761-765. (in Chinese)