

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2026.02.008

## 吡虫啉与吡丙醚对柑橘木虱的毒力测定研究

刘文珊<sup>1</sup>, 许佩萍<sup>2</sup>, 邓祥<sup>3</sup>, 廖彦函<sup>1</sup>,  
刘艺佳<sup>1</sup>, 汪佳蕊<sup>2</sup>, 张利荷<sup>1</sup>, 邱宝利<sup>1</sup>

- 重庆师范大学 现代山地智慧农业学院/活性物质生物技术教育部工程研究中心, 重庆 401331;
- 华南农业大学 植物保护学院/生物防治教育部工程研究中心, 广州 510642;
- 重庆市荣昌区安富街道办事处产业发展服务中心, 重庆 402466

**摘要:** 柑橘木虱是柑橘黄龙病的主要传播媒介, 其高效防控对于遏制黄龙病的发生具有重要意义。本研究采用喷洒法、药膜法和浸渍法, 系统测定了吡虫啉与吡丙醚对柑橘木虱不同发育阶段(低龄若虫、高龄若虫及成虫)的毒力水平。结果显示, 吡虫啉对柑橘木虱若虫的毒力显著高于成虫, 其药后3 d对低龄若虫和高龄若虫的 $LC_{50}$ 分别为1.23 mg/L和3.73 mg/L, 远低于成虫的 $LC_{50}$ (药膜法37.91 mg/L, 浸渍法33.21 mg/L); 而吡丙醚在各虫态间的毒力差异不显著,  $LC_{50}$ 为95.90~118.21 mg/L。不同方法比较表明, 浸渍法的测定效果优于药膜法。两种药剂均对柑橘木虱表现出良好的致死效果, 且成虫死亡过程较为平稳。研究明确了吡虫啉与吡丙醚在不同虫态下的毒力差异及应用潜力, 即两种药剂均可用于成虫防治, 而吡虫啉更适宜在柑橘木虱低龄若虫发生期使用, 建议与其他药剂轮换施用以延缓抗性发展; 同时可根据果园操作便利性选择适宜的施药方式。

**关键词:** 柑橘木虱; 毒力测定;

吡虫啉; 吡丙醚

中图分类号: S433

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2026)02-0067-09

## Toxicity Evaluation of Imidacloprid and Pyriproxyfen Against *Diaphorina citri*

LIU Wenshan<sup>1</sup>, XU Peiping<sup>2</sup>, DENG Xiang<sup>3</sup>, LIAO Yanhan<sup>1</sup>,

收稿日期: 2025-06-19

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(CSTB2024TIAD-KPX0015); 重庆市教育委员会科技计划项目(KJQN202400533); 重庆师范大学博士人才专项(23XLB031)。

作者简介: 刘文珊, 硕士研究生, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。

通信作者: 邱宝利, 博士, 教授。

LIU Yijia<sup>1</sup>, WANG Jiarui<sup>2</sup>, ZHANG Lihe<sup>1</sup>, QIU Baoli<sup>1</sup>

1. College of Life Sciences, Chongqing Normal University/Engineering Research Center of Biotechnology for Active Substances, Ministry of Education, Chongqing 401331, China;

2. College of Plant Protection, South China Agricultural University/Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;

3. Industry Development Service Center, Anfu Sub-district Office, Rongchang District, Chongqing 402466, China

**Abstract:** *Diaphorina citri* is the primary vector of citrus Huanglongbing (HLB), and its effective prevention and control are crucial for curbing the occurrence of HLB. This study employed indoor spraying, residual film, and dipping bioassays to systematically evaluate the toxicity of imidacloprid and pyriproxyfen against different developmental stages of *D. citri*, including younger and older instar nymphs and adults. These results indicated that imidacloprid exhibited significantly higher toxicity to nymphs compared with adults. At 3 days post-treatment (DPT), LC<sub>50</sub> values of imidacloprid were 1.23 mg/L for younger instar nymphs and 3.73 mg/L for older instar nymphs, respectively, substantially lower than those for adults (residual film method: 37.91 mg/L; dipping method: 33.21 mg/L). In contrast, pyriproxyfen showed no significant difference in toxicity across developmental stages, with LC<sub>50</sub> values ranging from 95.90 to 118.21 mg/L. Comparisons among methods revealed that the dipping method provided superior results to the residual film method. Both agents demonstrated strong lethality and a stable adult mortality process. In conclusion, this study elucidates the stage-specific toxicity of imidacloprid and pyriproxyfen against *D. citri*. Meanwhile, the imidacloprid is particularly suitable for application during early-instar nymph outbreaks and should be rotated with other agents to delay resistance development. Both imidacloprid and pyriproxyfen are effective for adult control, and the choice of application method can be based on operational convenience in orchards.

**Key words:** *Diaphorina citri*; toxicity assay; imidacloprid; pyriproxyfen

柑橘木虱 (*Diaphorina citri* Kuwayama), 隶属于半翅目 (Hemiptera) 扁木虱科 (Liviidae)<sup>[1]</sup>, 以寄主植物韧皮部汁液为食, 可对柑橘、柠檬、九里香等芸香科植物造成危害<sup>[2]</sup>。除了直接取食嫩梢, 导致植株生长受阻、叶片卷曲及果实品质下降外, 其若虫排泄的蜜露还可诱发杂菌繁殖, 引发煤污病<sup>[3]</sup>。更重要的是, 作为柑橘黄龙病 (Huanglongbing, HLB) 致病因子 (*Candidatus Liberibacter asiaticus*, CLAs) 的主要传播媒介, 柑橘木虱可通过吸食带病植株韧皮部汁液后再吸食健康植株来传播黄龙病<sup>[4-5]</sup>。由于柑橘感染黄龙病后目前尚无有效治疗方法, 防控柑橘木虱成为遏制黄龙病蔓延的关键措施。

目前柑橘木虱的防控仍以化学防治为主。随着化学药剂使用量逐年增加, 其残留不仅污染环境, 还导致柑橘木虱抗性显著增强, 同时对天敌昆虫的存活、捕食及繁殖产生负面影响<sup>[6-9]</sup>。近年来, 新型杀虫剂以低剂量、高选择性、高特异性等优势逐步取代传统杀虫剂<sup>[10]</sup>。尽管如此, 生物防治仍是最为生态友好的害虫防控策略。生物防治剂 (Biocontrol Agents, BCAs) 包括昆虫病原微生物、天敌昆虫及植物源农药等<sup>[11-12]</sup>。其中, 微生物农药由于靶标特异性强且环境安全性高, 越来越受到关注<sup>[13]</sup>。研究表明, 将微生物菌剂与化学杀虫剂减量混用, 可增强微生物药剂效果, 同时显著降低化学药剂使用量<sup>[14]</sup>。天敌昆虫作为柑橘木虱绿色防控的重要手段之一, 控制效果持久且环境友好, 但通常作用速度不及化学药剂, 在害虫暴发期防治效果有限。

柑橘木虱不同虫态对药剂敏感性存在差异。因此, 明确主流药剂对柑橘木虱的毒力及防效, 对于科学用药及抗性管理具有重要参考价值。吡虫啉 (Imidacloprid) 和吡丙醚 (Pyriproxy-

fen)是当前防治柑橘木虱的常用主流药剂。烟碱型乙酰胆碱受体(Nicotinic Acetylcholine Receptors, nAChRs)是新烟碱类(Neonicotinoids, NNs)杀虫剂的作用靶标,在昆虫神经系统中发挥重要作用<sup>[15]</sup>。吡虫啉作为新烟碱类杀虫剂,是一种 nAChRs 激动剂,通过与 nAChRs 结合破坏昆虫中枢神经信号传导,具有内吸性和触杀活性<sup>[16]</sup>。研究表明,在亚致死浓度胁迫下,柑橘木虱成虫的组织蛋白酶基因 *DcCath-B*、*DcCath-F*、*DcCath-L* 及 *DcCath-L1* 表达显著下调<sup>[17]</sup>;同时,细胞色素 P-450 相关解毒酶表达被沉默,可增加柑橘木虱对吡虫啉的敏感性<sup>[18]</sup>。吡虫啉可被植物根或叶吸收并转移至全株,对刺吸式和食叶害虫均具有有效毒性,因此在柑橘园中常通过叶面喷雾或土壤处理方式进行防控<sup>[19-21]</sup>。

相比之下,吡丙醚对昆虫的作用机制并不通过神经系统,而是通过复杂的体内生理调节过程,造成害虫阶段性死亡。吡丙醚属于昆虫生长调节剂(Insect Growth Regulators, IGRs),可模拟保幼激素活性干扰昆虫内分泌系统,影响蜕皮过程或角质层形成,同时对昆虫免疫系统也有调控作用<sup>[22-23]</sup>。吡丙醚对柑橘木虱各发育阶段均具毒性,可抑制产卵、卵孵化及成虫羽化,并诱导若虫死亡,对成虫繁殖力亦有显著影响<sup>[24-25]</sup>。由于吡丙醚与传统神经毒剂交互抗性低,可作为抗性治理中轮换或混配的重要药剂;在柑橘园中,5%吡丙醚与5%高效氯氰菊酯复配为10%高氯·吡丙醚微乳剂稀释后喷施,见效快,无需重复施用<sup>[26]</sup>。

目前,吡虫啉和吡丙醚在柑橘木虱防控中尤其是绿色防控中占据重要地位,但针对不同虫态的防控数据仍不足,限制了其在果园的精准应用。为明确两种药剂对不同虫态的毒力峰值期及最佳施药方式,本研究通过室内毒力测定,分析了喷施条件下吡虫啉和吡丙醚对柑橘木虱若虫的致死效果,并比较了浸渍法与药膜法两种试验方法下对若虫和成虫的毒力差异,旨在为柑橘木虱精准用药提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 供试虫源与寄主植物

供试植物为九里香(*Murraya paniculata* L.)种苗,购自广州市增城区小楼苗圃基地,移植于华南农业大学生物防治教育部工程研究中心网室内,使用直径 28 cm 的花卉盆定植,并定时浇水、施肥及修剪,以保证嫩芽嫩梢充足,为柑橘木虱产卵和繁殖提供条件。柑橘木虱田间种群于 2023 年 6 月采自华南农业大学校园绿化带九里香植株,经剪枝后在网室内利用嫩芽充足、营养状况良好的九里香枝条进行连续传代繁殖 10 代以上,用于试验。

#### 1.1.2 供试药剂与试剂

95.1%吡虫啉原粉和 97%吡丙醚原粉分别购自深圳诺普信作物科学股份有限公司;分析纯丙酮购自上海麦克林生化科技股份有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 喷施法

参照《农药室内生物测定试验准则·杀虫剂 第 9 部分:喷雾法》(NY/T 1154.9—2008),将吡虫啉原药和吡丙醚原药先用丙酮溶解,再用去离子水分别配制为以下质量浓度:吡虫啉 0.1、0.5、1、5、10 mg/L;吡丙醚 10、20、40、80、120 mg/L。

选取在九里香嫩梢上产卵 24 h 后的 20 对成虫,待发育为低龄若虫(约 2 龄,8~9 d)或高龄若虫(约 5 龄,13~15 d)后,统计处理前若虫数量(低龄若虫 $\geq 50$ 头,高龄若虫 $\geq 40$ 头)。使用手提喷瓶,将 100 mL 各浓度药剂从距离枝条约 10 cm 处,多方向均匀喷施 5 次,喷后在阴凉

通风处晾干,再转入(25±1)℃恒温室内,枝条用纱网袋套住。设置清水对照,每个处理3个重复。观察期为7 d,每24 h记录若虫死亡数量。虫体掉落于网袋上,躯体干瘪或足蜷缩无反应者视为死亡。

### 1.2.2 药膜法

参照《农药室内生物测定试验准则·杀虫剂 第8部分:滤纸药膜法》(NY/T 1154.8—2007),将吡虫啉原药和吡丙醚原药用丙酮溶解,再用去离子水配制为以下质量浓度:吡虫啉1、5、10、30、50 mg/L;吡丙醚5、10、20、30、50 mg/L。

吸取1 mL药液置于用保鲜膜封好的玻璃管(长度20 cm,直径5 cm)中,将管水平放置滚动2 min,使管壁均匀沾药,静置15 min使药液干燥形成药膜。每管放入30头柑橘木虱成虫,使其在管内爬行2 h,每隔10 min轻转一次试管;2 h后转移至装有九里香嫩枝条,枝条下端置于1.5 mL离心管保湿的装置中。管两端用纱网覆盖保持空气流通。试验环境为恒温室,温度为(25±1)℃,相对湿度约70%。清水为对照,每个处理3个重复。观察期为30 d,每24 h记录成虫死亡数量。虫体躺倒且轻触无反应视为死亡。

### 1.2.3 浸渍法

参照《农药室内生物测定试验准则·杀虫剂 第14部分:浸叶法》(NY/T 1154.14—2008),将吡虫啉原药和吡丙醚原药用丙酮溶解,再用去离子水配制为以下质量浓度:吡虫啉1、5、10、30、50 mg/L;吡丙醚5、10、20、30、50 mg/L。

先在培养皿中加入2 mL药液,九里香枝条(通常取靠近芽的第二或第三枝条,长度约9~13 cm)放入药液中,浸2 min后取出置于吸水纸上晾干。将处理后的枝条放入两端通气的试管中,枝条基部置于1.5 mL清水离心管中保持湿润。每管放入30头羽化≤5 d的成虫(性比为1:1),两端用网纱套住保证空气流通。设置清水对照,每个处理3重复。观察期为30 d,每24 h记录成虫死亡数量。虫体躺倒且轻触无反应视为死亡。

## 1.3 数据处理与统计学分析

各处理死亡数量使用Microsoft Excel 2013软件统计;毒力回归方程及参数分析使用SPSS 14.0调用PROBIT过程;柑橘木虱若虫7 d存活率及成虫30 d死亡率变化图使用GraphPad Prism 8.0.2绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 喷施法对柑橘木虱若虫毒力分析

采用喷施法处理柑橘木虱若虫,吡虫啉和吡丙醚对低龄和高龄若虫的毒力回归方程见表1。3 d后毒力测定结果显示,在两种药剂中,吡虫啉对柑橘木虱若虫的防治效果最佳,其对低龄若虫的 $LC_{50}$ 显著低于高龄若虫;而吡丙醚对低龄若虫的 $LC_{50}$ 也低于高龄若虫,但两者差异不如吡虫啉明显。

表1 两种药剂处理3 d后对柑橘木虱若虫的毒力测定

药剂	虫态	毒力回归方程	斜率B标准误 (95%置信区间)	$LC_{50}/(mg \cdot L^{-1})$ (95%的置信区间)
吡虫啉	低龄	$y = 0.863x - 0.078$	0.056(0.754~0.972)	1.23(0.31~3.42)
	高龄	$y = 0.937x - 0.536$	0.107(0.728~1.146)	3.73(2.74~5.38)
吡丙醚	低龄	$y = 0.649x - 1.484$	0.097(0.458~0.840)	95.90(68.19~154.33)
	高龄	$y = 0.890x - 2.000$	0.118(0.658~1.122)	106.68(57.15~444.28)

注: PROBIT模型  $PROBIT(p) = \text{截距} + Bx$  (协变量  $x$  使用底数为10的对数来转换)。

## 2.2 喷施法对柑橘木虱若虫存活率的影响

在持续喷施吡虫啉和吡丙醚的条件下,不同浓度药剂对低龄和高龄若虫的毒性存在明显差异(图 1)。两种药剂对柑橘木虱若虫均呈现剂量效应和暴露时间效应,随着药剂浓度增高和暴露时间延长,致死率明显升高。结果表明,在果园中进行柑橘木虱防控时,应选择浓度大于 10 mg/L 的吡虫啉进行喷施,以有效控制若虫数量。

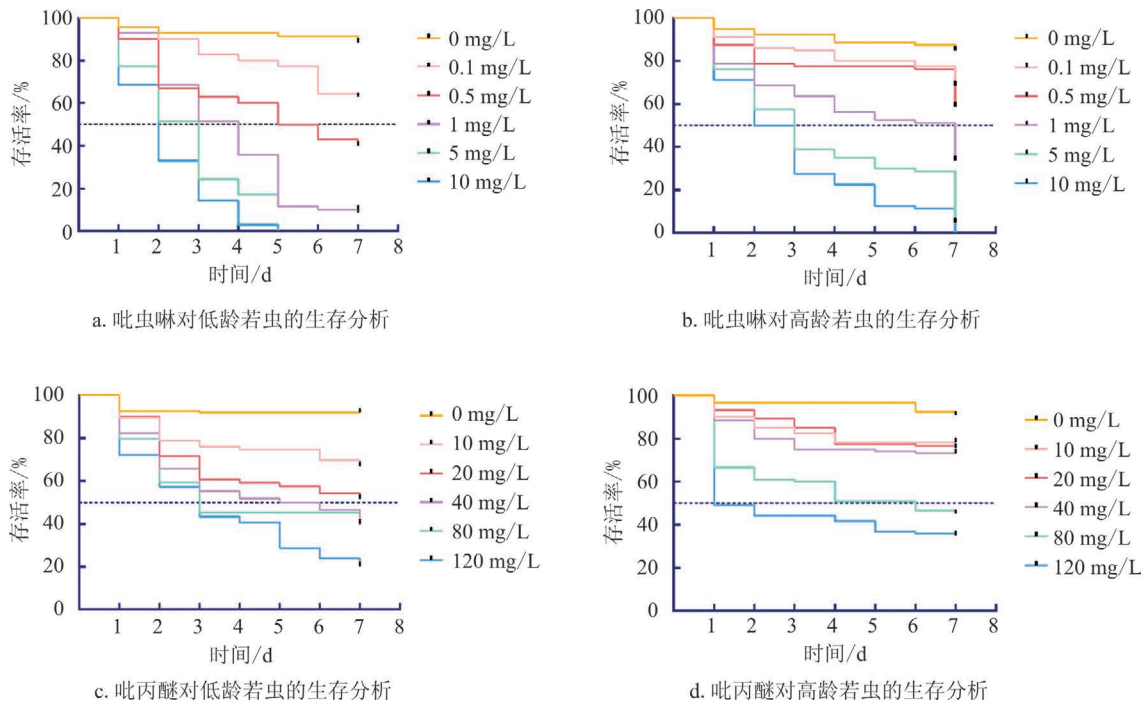


图 1 两种药剂处理柑橘木虱若虫的 7 d 存活率

## 2.3 药膜法和浸渍法对柑橘木虱成虫毒力分析

采用药膜法和浸渍法对 5 日龄柑橘木虱成虫进行吡虫啉和吡丙醚的毒力测定。结果显示,吡虫啉处理 3 d 后,药膜法的  $LC_{50}$  高于浸渍法(表 2);同样,吡丙醚处理 3 d 后,药膜法的  $LC_{50}$  也高于浸渍法。以上结果表明,两种药剂对柑橘木虱成虫均具有较高毒力,但浸渍法的致死效果明显优于药膜法。

表 2 吡虫啉和吡丙醚对柑橘木虱成虫的毒力测定

药剂	方法	毒力回归方程	斜率 $B$ 标准误 (95%置信区间)	$LC_{50}/(mg \cdot L^{-1})$ (95%置信区间)
吡虫啉	药膜法	$y = 1.605x - 2.535$	0.614(1.284~1.927)	37.91(30.93~44.82)
	浸渍法	$y = 1.278x - 1.945$	0.110(1.062~1.494)	33.21(23.65~44.55)
吡丙醚	药膜法	$y = 2.563x - 4.310$	0.395(1.788~3.338)	118.21(58.16~375.91)
	浸渍法	$y = 1.183x - 2.357$	0.192(0.162~0.915)	98.03(80.54~122.54)

注: PROBIT 模型  $PROBIT(p) = \text{截距} + Bx$  (协变量  $x$  使用底数为 10 的对数来转换)。

## 2.4 药膜法和浸渍法对柑橘木虱成虫死亡动态分析

在吡虫啉药膜法处理下,不同浓度成虫持续 30 d 的死亡动态如图 2 所示;低质量浓度处理

(1 mg/L 和 5 mg/L)死亡率变化与对照组相似;高浓度处理的死亡率从第 3 d 开始明显上升,至第 7 d 曲线趋于平稳(图 2a)。

在吡虫啉浸渍法处理下,成虫死亡动态与药膜法总体趋势相似,但死亡率上升更为迅速。从第 3 d 开始急速上升,第 8 d 左右进入平缓期,第 11 d 后曲线波动趋于稳定。5 mg/L 和 10 mg/L 的死亡率稳定在约 85%,而第 30 mg/L 和 50 mg/L 的死亡率可达 100%(图 2b)。

对于吡丙醚药膜法处理,成虫在前 3 d 死亡率上升最快,第 3 d 至第 9 d 死亡率稳步增加,之后曲线出现小幅波动(图 2c)。吡丙醚浸渍法处理的成虫,在前 4 d 死亡率显著上升,第 5 d 至第 10 d 死亡率变化进入平缓过渡期,10 d 后每隔 5 d 死亡率出现小幅上升(图 2d)。

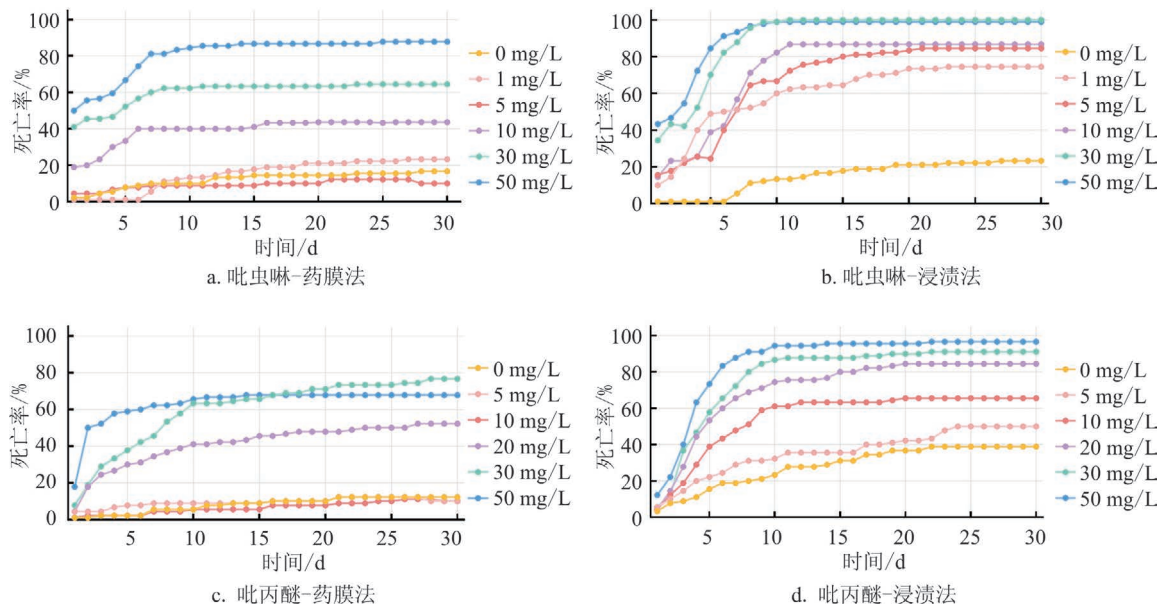


图 2 吡虫啉和吡丙醚两种药剂处理柑橘木虱成虫 30 d 死亡率变化

### 3 讨论与结论

杀虫剂毒力测定是评价杀虫剂对害虫毒性强弱的重要手段,也是田间选择合适杀虫剂的参考依据。前期研究表明,吡虫啉是田间防治柑橘木虱效果最显著的新烟碱类杀虫剂代表<sup>[27]</sup>。本研究中,吡虫啉对低龄和高龄若虫的  $LC_{50}$  分别为 1.23 mg/L 和 3.73 mg/L,均低于 5 mg/L;而成虫对吡虫啉敏感性相对较低,其  $LC_{50}$  分别为 37.91 mg/L(药膜法)和 33.21 mg/L(浸渍法)。

宋晓兵等<sup>[28]</sup>采用浸渍法用 70% 吡虫啉水分散粒剂测定柑橘木虱成虫的实验室敏感种群的  $LC_{50}$  为 0.880 2 mg/L,而广东肇庆田间种群的  $LC_{50}$  为 5.183 7 mg/L,说明吡虫啉对成虫防效较强,但  $LC_{50}$  与本研究差异较大,可能与药剂剂型及柑橘木虱种群抗性差异有关。此外,有研究显示吡虫啉对成虫和若虫的  $LC_{50}$  分别为 0.44 mg/L 和 0.43 mg/L,两者差异不大<sup>[29]</sup>,与本研究结果不同,可能因野外种群存在不同程度抗性。除直接施药外,柑橘苗跨省运输前 3 d 使用吡虫啉处理,可防止柑橘木虱侵染与传播<sup>[30]</sup>。

吡丙醚作为激素类似物,通过调节昆虫生长发育起作用,常用于农业、园艺及公共场所防治埃及伊蚊(*Aedes aegypti*)、烟粉虱(*Bemisia tabaci*)等害虫<sup>[31-32]</sup>。有研究表明,10% 高氯·吡丙醚 1 000 倍液防效最佳,5 d 虫口减退率可达 99.36%,且防效可持续 15 d<sup>[33]</sup>;在田间条件

下,单剂第一次施药12 d后虫口减退率仅为60.29%,第二次施药12 d后可达88.93%<sup>[34]</sup>。本研究结果表明,吡丙醚对柑橘木虱的若虫和成虫均具有毒性,但因处理方法不同,其对不同虫态的毒性表现存在差异;其中,药膜法处理下成虫的致死中浓度低于喷施法处理下的若虫,而浸渍法处理下的若虫则略高于喷施法处理下的若虫。低剂量(5、10 mg/L)浸渍处理的死亡率与接触时间相关,高浓度(20~50 mg/L)毒性明显,死亡率可达40%~70%,但显著低于吡虫啉的神经毒性效果,结果与Palumbo等<sup>[35]</sup>相似。吡丙醚对成虫毒性高的原因可能与其干扰体内激素平衡相关,该作用随浓度增加而增强。有研究表明,高剂量吡丙醚(1.25、2.5、5、10  $\mu\text{g}$ )可抑制意大利工蜂(*Apis mellifera*)卵黄原蛋白Vg合成与积累,而低剂量(0.001~0.1  $\mu\text{g}$ )无显著影响<sup>[25]</sup>。

药效测定对评估化学药剂毒性具有指导意义。不同药剂因作用机制、作用对象不同,其测定方法亦有所区别。对柑橘木虱若虫而言,喷洒法最直接且有效,其停留于柑橘嫩芽顶端,喷洒法可最大程度模拟实际施药场景,结果准确可靠。在喷洒法下,吡虫啉在幼芽上的有效控制时间短,药效随时间迅速下降,因此抽芽期喷洒次数需增加<sup>[36]</sup>。本研究中,喷洒法对低龄和高龄若虫的 $\text{LC}_{50}$ 测定显示,吡虫啉剂量低,高龄若虫耐药性强;实际果园防控应参考高龄若虫致死浓度。此外,可利用芸香科对柑橘黄龙病菌免疫且对柑橘木虱有诱集作用的咖喱树(*Berberis koenigii* L.),诱集后喷施吡虫啉,提高柑橘木虱及黄龙病防控效果<sup>[37]</sup>。

药膜法更贴近触杀作用,适合评估击倒效果和抗药性测定<sup>[38]</sup>。柑橘木虱若虫在药膜法中死亡原因难以区分是药剂作用还是脱离叶片所致,因此主要用于成虫抗药性评估。浸渍法模拟叶片施药,适合评估内吸性药剂持效性,可用于多数昆虫室内活性研究<sup>[39]</sup>,符合成虫在植物表面停留、刺吸行为的实际情况。

现有柑橘木虱化学防控研究多聚焦单一虫态或施药方法,缺乏系统性比较,导致田间防治缺乏理论依据。本研究对吡虫啉和吡丙醚在低龄若虫、高龄若虫和成虫3种虫态的防治效果进行了全面评价,并提出3种施用方法在防治中的优劣,为合理选择药剂及施药方法提供了科学依据。然而,本研究主要关注杀虫剂防治效果,对作用机制研究尚浅;尤其是吡丙醚对成虫毒性高于若虫的现象,仅作推测,未来可进一步研究其作用机制,以期解析更多杀虫剂防控害虫的科学问题。

#### 参考文献:

- [1] 黎海霖,郑霞林,王小云,等. 柑橘木虱成虫繁殖行为前期及活动规律研究 [J]. 南方农业学报, 2019, 50(9): 2009-2014.
- [2] 任素丽,欧达,张利荷,等. 不同寄主植物对柑橘木虱发育和繁殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(4): 602-607.
- [3] 邓杰夫,周泽华,易图永. 柑橘木虱生物防治研究进展 [J]. 中国植保导刊, 2023, 43(9): 20-27.
- [4] THAKURIA D, CHALIHA C, DUTTA P, et al. Citrus Huanglongbing (HLB): Diagnostic and Management Options [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2023, 125: 102016.
- [5] YU X D, KILLINY N. The Secreted Salivary Proteome of Asian Citrus Psyllid *Diaphorina citri* [J]. Physiological Entomology, 2018, 43(4): 324-333.
- [6] QURESHI J A, KOSTYK B C, STANSLY P A. Insecticidal Suppression of Asian Citrus Psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) Vector of Huanglongbing Pathogens [J]. PLoS One, 2014, 9(12): e112331.
- [7] NAEEM A, FREED S, JIN F L, et al. Monitoring of Insecticide Resistance in *Diaphorina citri* Kuwayama (He-

- miptera: Psyllidae) from Citrus Groves of Punjab, Pakistan [J]. *Crop Protection*, 2016, 86: 62-68.
- [8] 杨贵兵, 韦壮敏, 胡艺帆, 等. 广西不同地区柑橘木虱发生规律及抗药性分析 [J]. *环境昆虫学报*, 2025, 47(5): 1649-1659.
- [9] 杨慧, 蒋皓天, 何恒果. 农药对捕食性天敌的影响研究进展 [J]. *生物安全学报*, 2020, 29(1): 1-7.
- [10] SATPATHY S, GOTYAL B S, BABU V R. Role of Novel Insecticides in Crop Protection and Their Selectivity to Natural Enemies: A Review [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2020, 41(2): 149-160.
- [11] MENG J X, ZHANG X Y, HAN X S, et al. Application and Development of Biocontrol Agents in China [J]. *Pathogens*, 2022, 11(10): 1120.
- [12] NGEGBA P M, CUI G F, KHALID M Z, et al. Use of Botanical Pesticides in Agriculture as an Alternative to Synthetic Pesticides [J]. *Agriculture*, 2022, 12(5): 600.
- [13] DEKA B, BARUAH C, BABU A. Entomopathogenic Microorganisms: Their Role in Insect Pest Management [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2021, 31(1): 121.
- [14] 王培, 王相琴, 肖毅, 等. 渐狭蜡蚧菌 3166 和螺虫乙酯混用对柑橘木虱的田间防治效果 [J]. *农药*, 2025, 64(1): 63-68.
- [15] 唐振华, 陶黎明, 李忠. 烟碱乙酰胆碱受体及其与新烟碱类相互作用的研究进展 [J]. *农药学报*, 2007, 9(4): 309-316.
- [16] 谭海军. 中国创制新烟碱类杀虫剂的研究与开发进展 [J]. *世界农药*, 2023, 45(1): 1-12, 55.
- [17] 舒本水, 邹燕, 张婉莹, 等. 亚致死浓度吡虫啉和毒死蜱对柑橘木虱成虫组织蛋白酶基因表达的影响 [J]. *环境昆虫学报*, 2022, 44(4): 1027-1036.
- [18] KISHK A, STELINSKI L L, GOWDA S, et al. Citrus-Mediated Gene Silencing of Cytochrome P450 Suppresses Insecticide Resistance and Increases Mortality in *Diaphorina citri* [J]. *Pest Management Science*, 2024, 80(10): 4980-4992.
- [19] LU W J, LIU Z H, FAN X Y, et al. Nicotinic Acetylcholine Receptor Modulator Insecticides Act on Diverse Receptor Subtypes with Distinct Subunit Compositions [J]. *PLoS Genetics*, 2022, 18(1): e1009920.
- [20] SERIKAWA R H, BACKUS E A, ROGERS M E. Effects of Soil-Applied Imidacloprid on Asian Citrus Psyllid (Hemiptera: Psyllidae) Feeding Behavior [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105(5): 1492-1502.
- [21] MIRANDA M P, YAMAMOTO P T, GARCIA R B, et al. Thiamethoxam and Imidacloprid Drench Applications on Sweet Orange Nursery Trees Disrupt the Feeding and Settling Behaviour of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) [J]. *Pest Management Science*, 2016, 72(9): 1785-1793.
- [22] SEZER B, OZALP P. Effects Of Pyriproxyfen On Hemocyte [J]. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2015, 24(2): 621-625.
- [23] DEVILLERS J. Fate and Ecotoxicological Effects of Pyriproxyfen in Aquatic Ecosystems [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(14): 16052-16068.
- [24] HU W, WANG K J, ZHONG X Y, et al. Enhanced Control Efficacy of Different Insecticides Mixed with Mineral Oil Against Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, under Varying Climates [J]. *Insects*, 2025, 16(1): 28.
- [25] PINTO L Z, BITONDI M M G, SIMÕES Z L P. Inhibition of Vitellogenin Synthesis in *Apis mellifera* Workers by a Juvenile Hormone Analogue, Pyriproxyfen [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46(2): 153-160.
- [26] 刘洪霞, 冷培恩, 徐劲秋. 抗吡丙醚淡色库蚊对 5 种常用杀虫剂的交互抗性 [J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2015, 26(3): 252-253, 257.
- [27] 孟华岳, 文英杰, 徐汉虹. 亚洲柑橘木虱和柑橘黄龙病的化学防治 [J]. *世界农药*, 2016, 38(1): 21-31.
- [28] 宋晓兵, 崔一平, 彭埃天, 等. 广东肇庆柑橘木虱田间种群对常用药剂的抗药性 [J]. *环境昆虫学报*, 2021, 43(5): 1321-1324.

- [29] PARDO-MELGAREJO S, RODRÍGUEZ-MACIEL J C, PINEDA-GUILLERMO S, et al. Susceptibility of a Mexican Field-Collected Wild Population of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) to Selected Insecticides [J]. *Journal of Entomological Science*, 2022, 57(2): 281-287.
- [30] BYRNE F J, DAUGHERTY M P, GRAFTON-CARDWELL E E. Rapid Uptake and Retention of Neonicotinoids in Nursery Citrus Trees as a Safeguard Against Asian Citrus Psyllid (*Diaphorina citri*) Infestation [J]. *Crop Protection*, 2020, 138: 105345.
- [31] HARBURGUER L V, MENDOZA J, GONZALEZ P V. A Review of the Use of Pyriproxyfen for Controlling *Aedes aegypti* in Argentina [J]. *Current Tropical Medicine Reports*, 2022, 9(4): 261-266.
- [32] HOPKINSON J, BALZER J, FANG C, et al. Insecticide Resistance Management of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Australian Cotton-Pyriproxyfen, Spirotetramat and Buprofezin [J]. *Pest Management Science*, 2023, 79(5): 1829-1839.
- [33] 陈斌艳, 谢钊尔, 刘兆鸿, 等. 10%高氯·吡丙醚等药剂防治柑橘木虱效果分析 [J]. *中国农技推广*, 2021, 37(2): 74-76.
- [34] IQBAL J, NAZEER HUSSAIN H, LATIF M, et al. A Field Study Investigating the Insecticidal Efficacy Against *Diaphorina citri* Kuwayama on Kinnow Mandarin, *Citrus Reticulata* Blanco Trees [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, 27(5): 1237-1241.
- [35] PALUMBO J C, HOROWITZ A R, PRABHAKER N. Insecticidal Control and Resistance Management for *Bemisia tabaci* [J]. *Crop Protection*, 2001, 20(9): 739-765.
- [36] DE CARLI L F, MIRANDA M P, VOLPE H X L, et al. Leaf Age Affects the Efficacy of Insecticides to Control Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2018, 142(7): 689-695.
- [37] VIEIRA J G A, SANTANA E D R, THIESEN L V, et al. Effect of Systemic Insecticides Applied via Drench on the Mortality of *Diaphorina citri* on Curry Leaf [J]. *Insects*, 2023, 14(5): 422.
- [38] 林江, 崔志富, 曹凤勤, 等. 常用杀虫剂对螺旋粉虱的活性及田间防效 [J]. *植物保护*, 2012, 38(5): 189-193.
- [39] 沈煜洋, 李进, 邓菲菲, 等. 麦叶蜂种群动态及 4 种杀虫剂对其室内活性与田间防效测定 [J]. *农药*, 2024, 63(12): 932-936.

责任编辑 苏荣艳