

叶喷和土施化学药剂对柑橘木虱的防效研究*

程晓琴^{1**} 赵政^{1**} 夏长秀² 严翔² 章日华³ 张宏宇^{1***}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 中澳园艺和城市有害生物联合研究中心, 城市与园艺昆虫研究所, 武汉 430070;

2. 赣州市柑桔科学研究所, 赣州 341000; 3. 先正达(中国)投资有限公司植保开发部, 海口 570125)

摘要 【目的】筛选对柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 成虫具有高防效、低毒作用的杀虫剂, 旨在为柑橘黄龙病 (Huanglongbing, HLB) 的综合防控提供理论依据。【方法】采用室内药膜法和田间生物测定, 评价了 12 种化学药剂的毒力和防治效果, 筛选出适合叶面喷雾和土壤淋施的高效低毒化学农药及其最佳使用浓度, 为柑橘木虱化学防治的科学精准用药提供参考。【结果】对 12 种药剂室内毒力测定结果表明, 对柑橘木虱成虫毒力效果较好的是 48% 噻虫胺、45% 毒死蜱、10% 溴氰虫酰胺和 20% 呋虫胺, LC_{50} 分别为 1.42、1.48、1.49、1.60 mg/L。田间叶面喷雾生测结果表明, 20% 呋虫胺和 10% 溴氰虫酰胺施药后 7 d, 防效均达到 90% 以上, 综合防效优于其他 10 种药剂。土壤淋施生测结果表明, 30% 噻虫胺的累积减退率在 12 d 时达到 100%, 显著高于其他 4 种药剂, 不同浓度筛选结果表明在施药后第 7 天, 100 mg/L 和 150 mg/L 的 30% 噻虫胺防效均达到 100%, 且在施药 30 d 后其防效均在 60% 以上。【结论】柑橘木虱化学防治田间叶面喷雾以 150 mg/L 的 20% 呋虫胺或 100 mg/L 的 10% 溴氰虫酰胺防治效果较好, 且持效期长, 而土壤淋施则 100 mg/L 的 30% 噻虫胺防治效果最好, 且持效期长, 具有较大的应用价值。

关键词 柑橘木虱, 毒力测定, 叶面喷雾, 土壤淋施, 化学防治

Comparison of the effectiveness of applying different pesticides to foliar spraying and soil-drench to control *Diaphorina citri* Kuwayama

CHENG Xiao-Qin^{1**} ZHAO Zheng^{1**} XIA Chang-Xiu²
YAN Xiang² ZHANG Ri-Hua³ ZHANG Hong-Yu^{1***}

(1. Institute of Urban and Horticultural Pests, China-Australia Joint Centre Research for Horticultural and Urban Pests, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Ganzhou Institute of

Citrus Science, Ganzhou 341000, China; 3. Department of Plant Protection Development, Syngenta (China)

Investment Co., LTD, Haikou 570125, China)

Abstract [Objectives] To identify pesticides that are effective against *Diaphorina citri* Kuwayama but that have low environmental toxicity, and provide a theoretical basis for the comprehensive prevention and control of citrus Huanglongbing (HLB). [Methods] The toxicity and effectiveness of 12 pesticides was evaluated using the indoor membrane method and field bioassays. The effectiveness of low-toxicity pesticides suitable for spraying on foliage and applying to soil was assessed and optimal concentrations determined. [Results] Of the 12 pesticides tested for indoor virulence, 48% Clothianidin, 45% Chlorpyrifos, 10% Cyantraniliprole and 20% Dinotefuran were the most virulent to adult *D. citri* with LC_{50} of 1.42, 1.48, 1.49, 1.60 mg/L, respectively. The results of field leaf spraying tests showed that applying 20% Dinotefuran and 10% Cyantraniliprole was c. 90% effective after 7 days with a comprehensive effect better than that of the other 10 pesticides. The results of soil-drench tests indicated a cumulative reduction rate of 30%. Thiamethoxam was 100% effective after 7 days, significantly higher than the other four pesticides tested. The efficacy of applying 30% Thiamethoxam to soil at concentrations

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划“长江中游柑橘化肥农药减施技术集成研究与示范”(2017YFD0202000)和“柑橘黄龙病综合防控技术集成研究与示范”(2018YFD0201500); 国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项资金资助(CARS-26)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: chengxq2018@163.com; zhaozheng_93@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hongyu.zhang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2018-04-28, 接受日期 Accepted: 2018-07-20

of 100 mg/L and 150 mg/L reached 60% after 30 days, and 100% after 7 days. [Conclusion] 20% Dinotefuran at 150 mg/mL or 10% Cyantranil at 100 mg/mL were the most effective pesticides and dosages sprayed on foliage, whereas 30% Thiamethoxam at 100 mg/mL was the most effective pesticide applied to soil.

Key words *Diaphorina citri* Kuwayama, toxicity test, foliar spraying, soil-drench, chemical control

柑橘黄龙病 (Citrus Huanglongbing, HLB) 是目前世界柑橘生产上最严重的侵染性病害, 可为害柑橘的所有栽培品种 (Bové, 2006)。植株一旦染病, 生长逐渐衰退、产量减少、经济寿命缩短 (林孔湘, 1956; Halbert and Manjunath, 2004)。黄龙病防控刻不容缓, 却困难重重, 关于其致病机制和生物学特性仍不明确, 且目前没有有效的药剂防治。因此, 控制媒介昆虫成为防止该病害在田间发生蔓延最关键的措施。目前发现传播黄龙病菌亚洲种“*Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas)”的主要媒介昆虫为亚洲柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Liviidae), 1906 年, 首次发现于中国台湾 (Kuwayama, 1908), 后迅速传播到我国的 13 个柑橘省 (区), 包括广东、广西、台湾、江西、湖南、福建、浙江、贵州、云南、四川、海南、香港和澳门 (王晓亮等, 2016)。

在柑橘木虱的综合防治中, 化学农药是比较行之有效的防治方法。在各种类型的化学杀虫剂中, 叶面喷雾广谱性杀虫剂的使用最为广泛, 特别是一些新烟碱类杀虫剂具有更好的防治效果, 平均防效期长达 3 周 (Rogers, 2012; 宋晓兵等, 2015; 张敏荣等, 2016; 黄洪等, 2017; Langdon and Rogers, 2017)。但是, 为了持续保护柑橘幼苗的生长及橘园内的生物多样性, 采用滴灌、洼地侧施、涂抹主杆、注射等方法施用内吸性杀虫剂防治柑橘木虱越来越受到人们的关注, 且取得了较好的防治效果 (Ichinose *et al.*, 2010; 张小艳等, 2013; Byrne *et al.*, 2016)。但在柑橘木虱的化学防治中, 只有少部分研究对供试药剂进行了毒力测定以及浓度梯度筛选, 且在药剂的施用方面大部分研究采用的是叶面喷雾方法, 防治措施也比较单一。因此, 为了筛选出高效、低毒且持效期长的化学药剂防治柑橘木虱, 本研究主要通过对 12 种化学药剂进行室内毒力测定, 并

采用田间叶面喷雾和土壤淋施不同浓度梯度化学药剂对柑橘木虱进行系统性防效评价, 以期对柑橘木虱科学有效的药剂防治提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验地选自江西省赣州市柑桔科学研究所及基地内失管橘园 (东经 114°86'42", 南纬 25°7'42", 海拔 118-120 m)。失管橘园内橘树树龄 25 年, 品种为纽荷尔脐橙, 高度约 2.0-2.2 m。

丙酮 (国药集团化学试剂有限公司) 20% 甲氰菊酯 (日本住友商事株式会社) 50% 氟啶虫胺脒 (美国陶氏益农公司) 70% 吡虫啉 (德国拜耳作物科学公司) 17% 氟吡呋喃酮 (德国拜耳作物科学公司) 30% 啉虫酰胺 (美国默赛技术公司) 30% 噻虫嗪 (先正达 (中国) 投资有限公司) 45% 毒死蜱 (美国陶氏益农公司) 48% 噻虫胺 (美国富美实 FMC 公司) 20% 呋虫胺 (日本三井化学株式会社) 10% 溴氰虫酰胺 (美国杜邦公司) 1.8% 阿维菌素 (山东邹平农药有限公司) 10% 吡丙醚 (上海生农生化制品有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 12 种化学药剂室内毒力测定 参照门兴元等 (2011) “药膜法”, 用指形管进行室内毒力测定试验。量取 12 种供试药剂, 分别用丙酮稀释成 1、2、5、10、50 mg/L 系列浓度, 以丙酮为对照。量取 1 mL 已稀释成所需浓度的药液于指形管内, 轻轻转匀, 使指形管内壁都粘满药液, 让其自然晾干。每管中放入 20 头柑橘木虱成虫, 24 h 后观察木虱成虫死亡情况, 以镊子触碰木虱成虫虫体, 以其足不动为死亡标准, 计算校正死亡率。每处理设 3 个重复。计算 LC_{50} 、标准曲线、95% 置信区间及相关系数 (r)。

1.2.2 12 种化学药剂田间叶面喷施及浓度梯度试验 在橘园中间隔选择有柑橘木虱寄居的柑橘树,选择东、南、西、北四个方位的枝条各一枝,计录每个枝条上的木虱数量并悬挂吊牌标记。按使用说明的最高浓度配制 1.2.1 中的 12 种药剂,用手摇喷雾器进行叶面喷施,喷雾量以叶片少量滴水为止。然后选取 12 种药剂中整体防治木虱效果较好的药剂,分别配置 50、100、150、200、250 mg/L 浓度梯度。设置清水对照,每处理设置 3 个重复。采用目测法,施药后 1、3、7 d 调查并记录每个处理悬挂吊牌枝条上的木虱虫数,计算其减退率与防效。

1.2.3 内吸性化学药剂田间土壤淋施及浓度梯度试验 田间捕捉柑橘木虱成虫,放入装有九里香盆栽的网笼(置于田间)中使其定殖,后记录各株九里香上定殖的柑橘木虱成虫数。将具有内吸效果的杀虫剂 17%氟吡呋喃酮、20%呋虫胺、70%吡虫啉、30%噻虫嗪和 10%溴氰虫酰胺,按其说明书的最高浓度进行配制,后土壤淋施,每株 500 mL,每处理 3 个重复,于药后 1、3、7、12、30 d 统计木虱累积减退率,若木虱成虫在指定的统计时间全部死亡,则继续接入与施药后第 1 天同样数量的成虫,继续统计木虱累积减退率。然后选择具有较高累积减退率的内吸性杀虫剂

设置 10、50、100、150 mg/L 浓度梯度,进行土壤淋施,每株 500 mL,设清水对照,每处理 3 个重复,施药后 1、3、7、12、30 d 分别记录每个处理木虱药前和药后存活数,计算其减退率与防效,若成虫全部死亡,则继续接入成虫,计算其减退率与防效。

1.2.4 数据处理

校正死亡率(%) = (处理死亡率 - 对照死亡率) / (100 - 对照死亡率) × 100%,

减退率(%) = (药前活虫数 - 药后活虫数) / 药前活虫数 × 100%,

防效(%) = (处理区减退率 - 清水对照减退率) / (100 - 清水对照减退率) × 100%。

原始数据采用 SPSS 18.0 数据处理软件进行统计分析,样本间进行多重比较,采用单因素方差分析中的 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 化学农药室内毒力测定

12 种化学药剂对柑橘木虱成虫的室内毒力测定试验,结果表明,对柑橘木虱成虫毒力整体效果较好的是:48%噻虫胺、45%毒死蜱、10%溴氰虫酰胺、20%呋虫胺, LC_{50} 分别是 1.42、1.48、1.49、1.60 mg/L (表 1)。

表 1 室内测定 12 种化学药剂对柑橘木虱的毒力
Table 1 Indoor toxicity of 12 pesticides tested on *Diaphorina citri*

药剂 Pesticide	斜率 (b±SE) Slope	半数致死浓度 (mg/L) LC_{50}	95%置信区间 Fiducial interval	相关系数 (r) Correlation coefficient
20%甲氰菊酯 20% Fenpropathrin	1.36±0.27	13.37	7.19-24.86	0.95
50%氟啶虫胺腈 50% Sulfoxaflor	3.48±0.79	3.32	1.75-6.29	0.93
70%吡虫啉 70% Imidacloprid	3.24±0.54	2.24	1.33-3.80	0.96
17%氟吡呋喃酮 17% Flupyradifurone	2.99±0.86	2.32	0.93-5.77	0.89
30%唑虫酰胺 30% Tolfenpyrad	1.25±0.19	5.41	3.60-8.11	0.97
30%噻虫嗪 30% Thiamethoxam	2.83±0.79	1.82	0.70-4.75	0.90
45%毒死蜱 45% Chlorpyrifos	3.77±0.95	1.48	0.59-3.74	0.92
48%噻虫胺 48% Clothianidin	1.35±0.15	1.42	0.95-2.14	0.98
20%呋虫胺 20% Dinotefuran	1.11±0.15	1.60	0.97-2.64	0.97
10%溴氰虫酰胺 10% Cyantraniliprole	2.63±0.86	1.49	0.45-4.96	0.87
1.8%阿维菌素 1.8% Avermectins	1.00±0.13	110.51	46.86-260.63	0.97
10%吡丙醚 10% Pyriproxyfen	1.00±0.18	1.76	0.94-3.30	0.95

2.2 12 种化学药剂田间叶面喷施及浓度梯度试验

在 12 种化学药剂田间喷雾施用后, 结果表明, 施药后 1、3、7 d 检测, 防效基本无显著性差异, 但其中 20% 呋虫胺 (900 倍液即 220 mg/L) 和 10% 溴氰虫酰胺 (1 200 倍液即 83 mg/L) 于药后 7 d 检测, 防效均达到 90% 以上综合防效优于其他 10 种药剂 (表 2)。对高防效 20% 呋虫胺和 10% 溴氰虫酰胺进行浓度梯度试验, 结果表明, 20% 呋虫胺在施用浓度 200 mg/L 和 250 mg/L 及 10% 溴氰虫酰胺在施用 150、200、250 mg/L 浓度后,

药后第 7 天检测中, 防效均达到 91% 以上 ($P<0.05$), 故这两种药剂在上述的浓度梯度下综合防效优于其他浓度 (表 3, 表 4)。

2.3 内吸性化学药剂田间土壤淋施及浓度梯度试验

土壤淋施 5 种具有内吸作用的化学药剂, 结果表明, 施药后第 1 天和第 3 天检测, 5 种药剂的累积死亡率均无显著性差异, 但在施药后第 7 天、第 12 天和第 30 天时检测, 施用 30% 噻虫嗪的累积减退率均达到 93% 以上, 且在 12 d 时检测, 累积减退率达到 100%, 显著高于其他 4 种

表 2 12 种化学药剂田间喷雾试验
Table 2 Foliar spraying test of 12 pesticides in the field

药剂 Pesticide	稀释倍数 Dilution times	1 d 防效 Control effect of 1 d	3 d 防效 Control effect of 3 d	7 d 防效 Control effect of 7 d
20% 甲氰菊酯 20% Fenpropathrin	2 000	97.15±1.48a	88.31±7.05a	91.52±2.20a
50% 氟啶虫胺腈 50% Sulfoxaflor	3 500	95.65±0.18ab	82.10±5.36a	86.73±6.68a
70% 吡虫啉 70% Imidacloprid	7 500	94.47±1.55ab	91.49±2.28a	85.68±9.25a
17% 氟吡呋喃酮 17% Flupyradifurone	2 000	94.63±0.56ab	83.69±2.18a	82.46±2.10a
30% 唑虫酰胺 30% Tolfenpyrad	1 800	85.76±6.02b	87.49±6.38a	86.80±6.45a
30% 噻虫嗪 30% Thiamethoxam	1 800	90.15±5.31ab	89.11±0.86a	85.87±2.59a
45% 毒死蜱 45% Chlorpyrifos	800	89.06±3.94ab	90.88±4.11a	81.20±6.19a
48% 噻虫胺 48% Clothianidin	2 400	93.93±3.28ab	90.72±2.08a	89.68±2.26a
20% 呋虫胺 20% Dinotefuran	900	95.35±1.76ab	93.73±2.14a	92.91±2.02a
10% 溴氰虫酰胺 10% Cyantraniliprole	1 200	94.07±1.98ab	90.03±1.71a	90.57±2.73a
1.8% 阿维菌素 1.8% Avermectins	1 000	96.38±2.01ab	91.26±1.66a	90.10±1.36a
10% 吡丙醚 10% Pyriproxyfen	750	89.95±3.20ab	79.79±6.64a	80.49±9.59a

表中数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, LSD)。下表同。
Data (mean ± SE) followed by different small letters in the same column are significantly different ($P<0.05$, LSD). The same below.

表 3 20% 呋虫胺田间浓度梯度喷雾试验
Table 3 Foliar concentration gradient spraying test of 20% Dinotefuran in the field

浓度 (mg/L) Concentration	1 d 防效 Control effect of 1 d	3 d 防效 Control effect of 3 d	7 d 防效 Control effect of 7 d
50	56.17±12.15b	54.32±10.94b	60.28±13.02b
100	78.64±6.81a	85.01±7.09a	77.77±5.47ab
150	83.29±5.46a	79.57±2.60a	88.03±1.28a
200	93.49±1.63a	86.64±4.00a	91.87±1.94a
250	98.58±1.42a	93.82±4.10a	94.18±2.99a

表 4 10%溴氰虫酰胺田间浓度梯度喷雾试验

Table 4 Foliar concentration gradient spraying test of 20% Cyantraniliprole in the field

浓度 (mg/L) Concentration	1 d 防效 Control effect of 1 d	3 d 防效 Control effect of 3 d	7 d 防效 Control effect of 7 d
50	84.76±0.95b	77.20±0.92b	85.59±3.97b
100	89.06±1.89ab	86.75±4.51a	87.29±3.36ab
150	93.43±3.39ab	90.11±4.17a	91.91±2.67ab
200	92.39±4.34ab	90.69±0.90a	92.14±1.80ab
250	98.25±1.75a	94.45±1.08a	95.13±0.94a

药剂 ($P<0.05$) (表 5)。对成虫具有高累积减退率的内吸性 30%噻虫嗪进行浓度梯度试验,结果表明,施药后第 1 天和第 3 天,4 种浓度的防效均无显著性差异,但在施药后第 7 天,施用浓度为 100 mg/L 和 150 mg/L 的 30%噻虫嗪防效均达到 100%,且在施药 30 d 后其防效均在 60%以上,均显著高于 50 mg/L 和 10 mg/L 下的防治效果 ($P<0.05$) (表 6)。

3 结论与讨论

12 种化学药剂室内“药膜法”毒力测定试验结果表明,对柑橘木虱成虫毒力较强的是 48%噻虫胺、45%毒死蜱、10%溴氰虫酰胺、20%呋虫胺,毒力最差的是 1.8%阿维菌素。而张小艳等 (2013) 利用室内“浸虫法”测得阿维菌素对柑橘木虱成虫的毒力高于本研究的结果 ($LC_{50}=39.002>110.51$),虽然“浸虫法”对木虱成虫的毒力优于“药膜法”,但这两种方法整体效果趋势一致即对柑橘木虱的毒力都不高,因此为了省时高效,推荐施用“药膜法”对害虫进行药剂毒力测定。

在田间叶面喷雾和土壤淋施化学药剂试验中,筛选出对柑橘木虱成虫具有高防效且持效期长的药剂是 20%呋虫胺、10%溴氰虫酰胺和 30%噻虫嗪,其在施药后 30 d 及在高浓度梯度下检测对柑橘木虱成虫的防效均达到 70%以上。呋虫胺和噻虫嗪均为新烟碱类杀虫剂,新烟碱类杀虫剂是控制刺吸式口器害虫的主要杀虫剂,此类杀虫剂主要作用于乙酰胆碱受体 (nAChR),具有对植物体起到系统性保护、持效期长、施用方式灵活 (如叶面施用、土壤施用及茎干施用均可)

等优点 (Elbert *et al.*, 2008; Jeschke *et al.*, 2011)。溴氰虫酰胺属于邻甲酰氨基苯甲酰胺类杀虫剂,作用靶标为鱼尼丁受体 (Ryanodine receptor),鱼尼丁受体的激活可导致害虫的肌肉运动调节发生紊乱,麻痹,最终导致死亡,同时对天敌的影响较小 (Cordova *et al.*, 2006)。Tiwari 和 Stelinski (2013) 研究表明柑橘木虱取食不同浓度的溴氰虫酰胺显著降低了卵子发生、1 龄若虫的孵化以及成虫的羽化,而且溴氰虫酰胺对柑橘木虱的毒力是其主要寄生性天敌亮腹釉小蜂 *Tamarixia radiata* 的 297 倍。田间试验发现,溴氰虫酰胺对鳞翅目、半翅目、鞘翅目等害虫具有较好的防治效果 (Sial *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012)。因此,溴氰虫酰胺可以作为新烟碱类杀虫剂的轮换农药使用。

本研究供试的 5 种内吸性杀虫剂中,吡虫啉和噻虫嗪都具有较好的内吸性,在土壤淋施防控柑橘木虱方面具有较好的防治效果,且持效期长,因此特别适合抽梢多而不整齐的 4 年以下、未挂果幼树的木虱防治。Miranda 等 (2015) 研究表明,在封闭的土壤环境中施用内吸性杀虫剂,大部分柑橘木虱对农药会有一定的防御反应,其中一部分木虱会放弃取食寄主植物从而饥饿致死,因此该类农药还具有一定的拒食作用。也有研究采用刺吸电位图观察到用吡虫啉喂食处理的柑橘木虱和近缘的马铃薯木虱 *Bactericera cockerelli* 在植物韧皮部分泌的唾液明显减少,表明其取食行为明显受阻 (Rogers, 2009; Butler *et al.*, 2012)。因此,以新烟碱类内吸性杀虫剂为代表的拒食剂能够通过抑制刺吸式口器昆虫

表 5 5 种内吸性化学药剂田间土壤淋施试验
Table 5 Soil-drench test of five systemic pesticides in the field

药剂 Pesticide	稀释倍数 Dilution times	药前虫数 Number of insects before the pesticide	1 d 累积		3 d 累积		7 d 累积		12 d 累积		30 d 累积	
			1 d 虫数 Number of 1 d	减退率 (%) Cumulative reduction of 1 d	3 d 虫数 Number of 3 d	减退率 (%) Cumulative reduction of 3 d	7 d 虫数 Number of 7 d	减退率 (%) Cumulative reduction of 7 d	12 d 虫数 Number of 12 d	减退率 (%) Cumulative reduction of 12 d	30 d 虫数 Number of 30 d	减退率 (%) Cumulative reduction of 30 d
17%氟吡呋喃酮 17% Flupyradifurone	850	73	70	17.78±1.77a	63	22.62±5.37a	36	51.19±4.51b	33	54.96±3.83c	20	75.18±7.72b
20%呋虫胺 20% Dinotefuran	500	66	48	26.59±6.50a	47	28.36±7.49a	17	72.58±15.88ab	26	70.61±3.58b	13	80.60±3.28ab
70%吡虫啉 70% Imidacloprid	3 500	95	78	19.08±8.35a	59	39.13±4.49a	3	97.33±2.67a	41	73.90±3.13b	17	89.04±3.56ab
30%噻虫嗪 30% Thiamethoxam	2 000	85	64	24.85±6.31a	52	38.49±7.44a	5	94.44±5.56a	0	100.00±0a	12	93.03±2.31a
10%溴氰虫酰胺 10% Cyantraniliprole	500	78	68	12.19±3.74a	48	40.62±8.22a	24	72.29±15.75ab	28	74.93±5.39b	12	89.61±2.88ab

表 6 30%噻虫嗪土壤淋施浓度梯度试验
Table 6 Soil-drench concentration gradient test of 30% Thiamethoxam

浓度 (mg/L)	1 d 防效	3 d 防效	7 d 防效	12 d 防效	30 d 防效
Concentration	Control effect of 1 d	Control effect of 3 d	Control effect of 7 d	Control effect of 12 d	Control effect of 30 d
10	12.68±4.33a	38.25±11.05a	69.31±5.25c	38.19±17.84b	37.25±2.93b
50	11.29±2.38a	39.49±14.07a	87.88±4.07b	40.81±7.94b	38.59±11.15b
100	17.48±3.75a	49.85±15.20a	100.00±0a	61.04±5.68ab	67.19±1.89a
150	12.56±1.16a	52.93±4.28a	100.00±0a	84.12±2.61a	71.33±6.43a

的取食从而减少柑橘黄龙病的传播 (Boina *et al.*, 2009)。

然而,对于单一类型杀虫剂的过度信赖和大量重复使用,以及属于不同类型但具有相同作用方式的杀虫剂,导致了对杀虫剂具有较大的选择压力,引发了害虫对杀虫剂产生抗性、防效作用间隔缩短等问题 (Boina and Bloomquist, 2015)。因此,合理的农药施用方式越来越成为提高化学防治效果的重要手段。针对柑橘木虱的防控,要以叶面施用杀虫剂为主,土壤与茎干施用内吸性杀虫剂为辅,根据作物种类及其长势,合理规划施用时间与频率 (Qureshi and Stansly, 2007),同时尽量减少广谱性杀虫剂的使用频率,利用几种不同的化学农药在冬季自然天敌活动性较低的时候进行施用,能够帮助减少农药对于天敌的影响 (Qureshi *et al.*, 2010),从而提高对柑橘木虱的综合防效。

参考文献 (References)

- Boina DR, Bloomquist JR, 2015. Chemical control of the Asian citrus psyllid and of huanglongbing disease in citrus. *Pest Management Science*, 71(6): 808–823.
- Bove JM, 2006. Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1): 7–37.
- Butler CD, Walker GP, Trumble JT, 2012. Feeding disruption of potato psyllid, *Bactericera cockerelli*, by imidacloprid as measured by electrical penetration graphs. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142(3): 247–257.
- Byrne FJ, Daugherty MP, Grafton-Cardwell EE, Bethke JA, Morse JG, 2016. Evaluation of systemic neonicotinoid insecticides for the management of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* on containerized citrus. *Pest Management Science*, 73(3): 506–514.
- Cao H, Zeng LB, Liu XY, Tang T, 2017. Evaluation of control efficacy of different insecticides on the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Kuwayama) under field conditions. *Hunan Agricultural Science*, (6): 52–56. [黄洪, 曾令柏, 刘雪源, 唐涛, 2017. 不同类型杀虫剂对柑橘木虱的田间防治效果评价. 湖南农业科学, (6): 52–56.]
- Cordova D, Benner EA, Sacher MD, Rauh JJ, Sopa JS, Lahm GP, Selby TP, Stevenson TM, Flexner L, Gutteridge S, Rhoades DF, Wu L, Smith RM, Tao T, 2006. Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 84(3): 196–214.
- Elbert A, Haas M, Springer B, Thielert W, Nauen R, 2008. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*, 64(11): 1099–1105.
- Halbert SE, Manjunath KL, 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist*, 87(3): 330–353.
- Ichinose K, Bang DV, Tuan DH, Le QD, 2010. Effective use of neonicotinoids for protection of citrus seedlings from invasion by *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(1): 127–135.
- Jeschke P, Nauen R, Schindler M, Elbert A, 2011. Overview of the status and global strategy for neonicotinoids. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 59(7): 2897–2908.
- Kuwayama S, 1908. Die psylliden Japans. *Transactions of the Sopporo Natural History Society*, 2: 149–189.
- Langdon KW, Rogers ME, 2017. Neonicotinoid-induced mortality of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) is affected by route of exposure. *Journal of Economic Entomology*, 110(5): 2229–2234.
- Li X, Degain BA, Harpold VS, Marçon PG, Nichols RL, Fournier AJ, Naranjo SE, Palumbo JC, Ellsworth PC, 2012. Baseline susceptibilities of B- and Q-biotype *Bemisia tabaci* to anthranilic diamides in Arizona. *Pest Management Science*, 68(1): 83–91.
- Ling KX, 1956. Study on citrus yellow tip (huanglong) disease .

- disease investigation. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2(1): 1–11. [林孔湘, 1956. 柑桔黄梢(黄龙)病研究 . 病情调查. 植物病理学报, 2(1): 1–11.]
- Men XY, Yu Y, Zhang AS, Li LL, Zhang SC, Liu TJ, 2011. Toxicity of 10 insecticides to the nymphs of *Apolygus lucorum*, assayed by residual films. *Plant Protection*, 37(4): 154–157. [门兴元, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 张思聪, 刘同金, 2011. 试管药膜法测定 10 种杀虫剂对绿后丽盲蝽若虫的室内毒力. 植物保护, 37(4): 154–157.]
- Miranda MP, Santos FLD, Bassanezi RB, Montesino LH, Barbosa JC, Sétamou M, 2017. Monitoring methods for *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) on citrus groves with different insecticide application programmes. *Journal of Applied Entomology*, 142(1/2): 89–96.
- Qureshi JA, Kostyk BC, Stansly PA, 2010. Ground application of foliar insecticides to 'Valencia' oranges control of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 123: 109–112.
- Qureshi JA, Stansly PA, 2007. Integrated approaches for managing the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Florida. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 120: 110–115.
- Rogers ME, 2009. Effect of imidacloprid application on Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) (Hemiptera: Psyllidae) feeding behavior and successful transmission of the bacterial pathogen *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Entomological Society of America Meeting*, 25(4): 1228–1242.
- Rogers ME, 2012. Protection of young trees from the Asian citrus psyllid and HLB. *Citrus Industry*, 93: 10–15.
- Sial AA, Brunner JF, Garczynski SF, 2011. Biochemical characterization of chlorantraniliprole and spinetoram resistance in laboratory-selected obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 99(3): 274–279.
- Song XB, Pen AT, Chen X, Cheng BP, Zhou J, Lin JF, 2015. Control effects of six pesticides such as Beta-Cypermethrin · Thiamethoxam on citrus psyllid. *Agrochemicals*, 54(12): 915–917. [宋晓兵, 彭埃天, 陈霞, 程保平, 周娟, 凌金锋, 2015. 高效氯氟·噻虫嗪等 6 种药剂对柑橘木虱的防治效果. 农药, 54(12): 915–917.]
- Tiwari S, Stelinski LL, 2013. Effects of cyantraniliprole, a novel anthranilic diamide insecticide, against Asian citrus psyllid under laboratory and field conditions. *Pest Management Science*, 69(9): 1066–1072.
- Wang XL, Li XN, Feng XD, Wu LF, 2016. Investigation on occurrence of Citrus Huanglongbing and *Diaphorina citri* in China. *Plant Quarantine*, 30(2): 44–44. [王晓亮, 李潇楠, 冯晓东, 吴立峰, 2016. 柑橘黄龙病与柑橘木虱在我国发生情况调查. 植物检疫, 30(2): 44–44.]
- Yang YP, Huang MD, Beattie G, Xia YL, Ouyang GC, Xiong JJ, 2006. Distribution, biology, ecology and control of the psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama, a major pest of citrus: A status report for China. *Pans Pest Articles & News Summaries*, 52 (4): 343–352.
- Zhang MR, Pu ZX, Yu JH, Lu LM, Meng YQ, Tao J, 2016. Control experiments of several pesticides to *Diaphorina citri* Kuwayama. *Agriculture & Technology*, 36(6): 18–19. [张敏荣, 蒲占霄, 余继华, 鹿连明, 孟幼青, 陶健, 2016. 几种农药防治柑橘木虱药效试验. 农业与技术, 36(6): 18–19.]
- Zhang XY, Li T, Fan GC, Hu HQ, Lin XJ, Ruan CQ, 2013. Toxicity and control effect of several pesticides to *Diaphorina Citri* Kuwayama. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 28(12): 1277–1280. [张小艳, 李韬, 范国成, 胡菡青, 林雄杰, 阮传清, 2013. 几种杀虫剂对柑橘木虱的毒力及防效研究. 福建农业学报, 28(12): 1277–1280.]