

江西省柑橘木虱对五种常规药剂的抗药性*

胡妍月^{1**} 孙 杨¹ 邹志文² 黄水金^{1***}

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200; 2. 南昌大学生命科学学院, 南昌 330031)

摘 要 【目的】针对江西省柑橘木虱 *Diaphorina citri* 对常规杀虫剂抗药性水平的研究相对匮乏, 研究不同地区柑橘木虱种群对常用杀虫剂的抗性水平, 为生产实践合理化用药提供依据。【方法】采用浸叶法测定毒死蜱、联苯菊酯、噻虫嗪、烯啶虫胺和虫螨腈 5 种杀虫剂对上高县 (SG)、宜黄 (YH)、南丰 (NF)、宁都 (ND)、大余 (DY) 和寻乌县 (XW) 6 个不同地区的田间柑橘木虱的毒力, 结合毒力参考基线, 得到抗性倍数。【结果】上高、宜黄和南丰县种群对毒死蜱的抗性倍数在中等水平 (9.01-15.01), 而宁都、大余和寻乌县则是高水平抗性 (128.36-308.82)。大余种群对联苯菊酯的抗性水平为 133.71 倍, 其他 5 个地区均在中等水平 (17.08-88.53)。不同地区柑橘木虱种群对噻虫嗪的抗性倍数在 13.62-25.92, 仅为中等偏低水平; 而它们对烯啶虫胺的抗性倍数为 77.37-257.71, 已经达到极高水平。与联苯菊酯类似, 除了大余种群对虫螨腈为高水平抗性外, 其余 5 个地区种群均为中等水平。【结论】赣南脐橙产区的宁都县、大余县和寻乌县的柑橘木虱种群对 5 种常用杀虫剂均表现出高水平抗性, 显著高于非赣南脐橙产区种群 (上高县、宜黄县和南丰县)。推荐在高抗地区使用抗性水平较低的药剂, 并注意轮换用药; 在中等抗性地区应有限制地使用药剂, 以延缓抗性增长。

关键词 柑橘木虱; 杀虫剂; 地理种群; 抗性倍数; 抗性治理

Resistance of *Diaphorina citri* Kuwayama to five conventional insecticides in Jiangxi province

HU Yan-Yue^{1**} SUN Yang¹ ZOU Zhi-Wen² HUANG Shui-Jin^{1***}

(1. The Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China;

2. College of Life Science, Nanchang 330031, China)

Abstract 【Objectives】The resistance of *Diaphorina citri* populations to common insecticides in various areas of Jiangxi province was studied in order to rationalize insecticide use in this region. 【Methods】The leaf-dip method was used to measure the toxicity of Chlorpyrifos, Bifenthrin, Thiamethoxam, Nitenpyram and Chlorfenapy to *D. citri* in orchards in Shanggao (SG), Yihuang (YH), Nanfeng (NF), Ningdu (ND), Dayu (DY) and Xunwu (XW) counties, and resistance ratios were calculated according to cardinal reference toxicity values. 【Results】Resistance ratios (RR) of *D. citri* populations in SG, YH and NF counties to the routine insecticides were medium (9.01-15.01), whereas those in ND, DY and XW were high (128.36-308.82). Resistance of the DY population to Bifenthrin was 133.71, whereas resistance to this pesticide in the other five counties was medium (17.08-88.53). The resistance ratios to Thiamethoxam ranged from 13.62 to 25.92, which is low to medium, whereas resistance ratios to Nitenpyram ranged from 77.37 to 257.71, which is high. Resistance ratios of *D. citri* populations in all counties to Chlorfenapy were similar to those found for Bifenthrin; medium, except for DY which was high. 【Conclusion】The resistance ratios of *D. citri* populations in navel orange growing areas of southern Jiangxi province to all five common insecticides is high, much higher than those in other parts of Jiangxi province. This suggests that insecticides should be used in rotation in these areas, and in limited amounts, to slow down the development of resistance.

Key words *Diaphorina citri* Kuwayama; insecticides; geographical populations; resistance ratios; resistance management

*资助项目 Supported projects: 江西现代农业科研协同创新专项[JXXTCX2015002(3+2)-002]

**第一作者 First author, E-mail: im.huyanyue@outlook.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: sjhuang@aliyun.com

收稿日期 Received: 2021-05-11; 接受日期 Accepted: 2021-11-03

柑橘木虱 *Diaphorina citri* 属半翅目 Hemiptera 木虱科 Liviidae, 是柑橘黄龙病菌 Citrus Huanglongbing 的主要传播媒介, 也是柑橘生产中重要的害虫 (Hijaz *et al.*, 2016; 孙秀新等, 2016; 姚林建等, 2018)。柑橘木虱雌成虫繁殖能力强, 平均产卵量为 170-200 粒, 最多 260 粒, 卵孵化率在 85.7%-95.8% 之间 (Grafton-Cardwell *et al.*, 2013); 有效防治柑橘木虱是阻止黄龙病发生和扩散的主要方法 (吴定尧, 1980; 邓明学, 2006; 陈又新和朱文灿, 2008)。目前, 化学药剂仍然是防控柑橘木虱最高效及便捷的手段 (Boina and Bloomquist, 2015; 王奇志等, 2018)。然而, 杀虫剂的不合理应用, 如单一品种或者相同类型的杀虫剂连续及大量使用, 促进了柑橘木虱抗药性的产生和发展, 最终导致防效下降 (Afifa *et al.*, 2016)。因此, 明确柑橘木虱对常用杀虫剂的抗药性水平, 对制定合理的用药策略有重要意义。

用于柑橘木虱对杀虫剂抗性测定的方法有点滴法、药膜法、浸叶法和浸虫法 (田发军等, 2018)。目前, 柑橘木虱抗性检测的主要方法是浸叶法, 该方法除了具有简便易行外, 与田间实际情况比较接近 (Afifa *et al.*, 2016)。

目前防治柑橘木虱的药剂主要分广谱性和选择性杀虫剂, 其中广谱性杀虫剂防治效果最好, 使用较多, 如毒死蜱 (硫代磷酸酯类)、吡虫啉 (新烟碱类) 和联苯菊酯 (除虫菊酯类); 而选择性杀虫剂则有矿物油、昆虫生长调节剂、阿维菌素和双酰胺类等 (姚廷山等, 2018)。在生产实践中, 化学防治易造成药剂过度使用导致的柑橘木虱抗药性增强 (Qureshi *et al.*, 2014)。国内外有关柑橘木虱对药剂的抗药性均有报道。詹兴堆 (2019) 研究了 5 个不同地理种群对 6 种杀虫剂的抗性水平, 发现柑橘木虱成虫对啶虫脒和噻虫嗪的抗性倍数达到 10 倍以上 (中等水平抗性); 对其他 4 种药剂如联苯菊酯等均在 10 倍以下。邓明学等 (2012a, 2012b) 检测了广西果园柑橘木虱对毒死蜱等的抗性水平, 发现柑橘木虱成虫对毒死蜱的抗性倍数为 8.80 倍 (以 LC_{50} 计) 或 21.66 倍 (以 LC_{95} 计), 对呋虫胺产生 17.1 倍的抗药性, 对吡虫啉、啶虫脒和噻虫嗪也具有抗

药性。Rao 等 (2019) 发现印度中部地区柑橘木虱成虫种群在 2013 年对噻虫嗪抗性仍处于敏感阶段。Pardo 等 (2017) 测定了墨西哥柑橘木虱的抗药性, 结果发现成虫和若虫对马拉硫磷抗性倍数分别为 34 倍和 432 倍, 对毒死蜱抗性倍数更是高达 2 435 倍和 1 424 倍。

赣南脐橙和南丰蜜桔均是江西省特有的中国国家地理标志产品, 是江西省果业 (橘类) 中的支柱果品。近年来, 柑橘黄龙病日益严重, 出于保护性目的而砍毁了较多病树, 导致柑橘产量下降。因此, 作为黄龙病的重要传播媒介, 柑橘木虱的科学、高效防治刻不容缓。江西作为柑橘生产大省, 但田间柑橘木虱对常用杀虫剂的抗性水平的研究却不多见。本研究选择对柑橘木虱成虫具有优良灭杀活性的毒死蜱、联苯菊酯、烯啶虫胺、虫螨腈和噻虫嗪 5 种杀虫剂, 测定江西省内 6 个不同地区 (涉及赣南脐橙、南丰蜜桔产区) 果园内柑橘木虱对这 5 种杀虫剂的敏感性, 为提出合理化用药策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2020 年 7-9 月, 按纬度从低到高, 选择寻乌县、大余县、宁都县、南丰县、宜黄县和上高县 6 地的柑橘园中, 选择柑橘木虱为害的嫩梢, 采集木虱成虫作为供试虫源。其中, 寻乌县、大余县和宁都县属于赣南脐橙传统种植区, 柑橘木虱和黄龙病发生较重; 南丰县和宜黄县是南丰蜜桔传统种植区, 柑橘木虱和黄龙病发生相对较轻; 上高县属于柑橘类果树新兴种植区。

1.2 供试药剂

供试药剂为原药, 分别是 96.0% 毒死蜱 (山东华阳和乐农药有限公司)、95.0% 联苯菊酯 (美国富美实公司)、95% 烯啶虫胺 (山东澳得利化工有限公司)、98.0% 虫螨腈 (开封博凯生物化工有限公司) 和 97.0% 噻虫嗪 (瑞士先正达作物保护有限公司)。

1.3 生物测定方法

浸叶法: 从当年没有喷施过任何杀虫剂的柑

橘树上摘取当年生的成熟叶片, 仔细清洗干净后晾干, 然后用含水脱脂棉包裹住叶柄基部备用 (外面包上保鲜膜, 用细线扎紧)。称取适量药剂溶于二甲基甲酰胺, 随后用含有 0.1% 的吐温-80 水溶液配制成 6-7 个浓度梯度稀释液。将已经准备好的叶片浸入药液中 10 s 取出晾干, 将带药叶片放置于内径 6.7 cm 高度 8 cm 的玻璃瓶中, 每瓶 1 片叶, 并接入柑橘木虱成虫 20 头/瓶, 瓶口以纱网盖住, 并盖上预留小孔 (直径 2 cm) 的铁盖, 置于温度(25±1)℃, 相对湿度 65%±5%, 光周期 L : D=14 : 10 的人工气候箱中。在药后一定时间 (表 1) 检查成虫死亡情况。实验期间, 成虫无法正常爬行视为个体死亡。以 CK 死亡率来校正, 重复 4 次。

表 1 5 种药剂对柑橘木虱的敏感毒力基线*
Table 1 Toxicity baseline of five insecticides against *Diaphorina citri*

药剂 Pesticides	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	斜率 (±标准误差) Slope (±SE)	药后调查时间 (h) Investigation time after treated (h)
毒死蜱 Chlorpyrifos	1.50 (1.00-3.00)	1.36 (±0.25)	48
联苯菊酯 Bifenthrin	0.76 (0.40-2.40)	0.92 (±0.21)	48
噻虫嗪 Thiamethoxam	0.60 (0.40-1.00)	1.07 (±0.21)	72
烯啶虫胺 Nitenpyram	0.06 (0.04-0.09)	1.39 (±0.22)	72
虫螨腈 Chlorfenapyr	0.90 (0.60-1.70)	0.98 (±0.21)	96

*表示数据参考 Afifa 等 (2016)。
* indicates data reference Afifa *et al.* (2016).

1.4 数据处理

数据分析采用 DPS 软件进行, 计算 LC₅₀ 值及其 95% 置信限、斜率及截距; 敏感基线见表 1。抗性倍数 (Resistance ratio, RR) = 田间种群的 LC₅₀/敏感种群的 LC₅₀。抗性水平分级标准为: RR<5.0 为敏感; 5.0≤RR<10.0 为低水平抗性; 10.0≤RR<100.0 为中等水平抗性; RR≥100.0 为高水平抗性 (张帅, 2020)。

2 结果与分析

2.1 不同地区柑橘木虱种群对毒死蜱的抗药性

从表 2 可以看出, 宜黄县种群对毒死蜱的抗性倍数为 9.01 倍, 属于低水平抗性, 上高县种群和南丰县种群的抗性倍数分别为 15.01 倍和 14.49 倍, 表现为中等水平抗性。宁都、大余和寻乌县柑橘木虱种群对毒死蜱的抗性倍数在

表 2 不同地理种群柑橘木虱对毒死蜱的抗性水平
Table 2 Resistance levels of *Diaphorina citri* to Chlorpyrifos in different populations

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	P 值 P value	LC ₅₀ (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
上高 Shanggao	y = 2.97 + 1.52x	<0.01**	21.74	17.62-26.83	14.49
宜黄 Yihuang	y = 2.93 + 1.83x	<0.01**	13.51	11.38-16.03	9.01
南丰 Nanfeng	y = 3.06 + 1.43x	<0.01**	22.52	18.02-28.15	15.01
宁都 Ningdu	y = 0.86 + 1.81x	<0.01**	192.55	150.73-245.97	128.36
大余 Dayu	y = 1.01 + 1.64x	<0.01**	269.17	204.04-355.08	179.44
寻乌 Xunwu	y = -0.31 + 1.99x	<0.01**	463.23	367.20-584.37	308.82

**表示极显著差异。
** represents extremely significant differences.

128.36-308.82 倍之间,抗性倍数均大于 100 倍,表明这 3 地柑橘木虱种群对毒死蜱均产生了高水平抗性,且寻乌县种群的抗性水平最高。

2.2 不同地区柑橘木虱种群对联苯菊酯的抗药性

大余县柑橘木虱种群对联苯菊酯的抗性倍数为 133.71 倍,表现为高水平抗性,其余 5 个种群对联苯菊酯的抗性倍数在 17.08-88.53 倍之

间,表现为中等水平抗性(表 3)。但总体而言,赣南脐橙产区的宁都、大余和寻乌县的抗性倍数要显著高于其他 3 个地区。

2.3 不同地区柑橘木虱种群对噻虫嗪的抗药性

如表 4 所示,宜黄、南丰和上高 3 个柑橘木虱种群对噻虫嗪的抗性倍数在 13.62-25.92 倍之间,为中等水平抗性;上高县为最高。

表 3 不同地理种群柑橘木虱对联苯菊酯的抗性水平
Table 3 Resistance levels of *Diaphorina citri* to Bifenthrin in different populations

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	P 值 P value	LC ₅₀ (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
上高 Shanggao	$y = 2.81 + 1.97x$	<0.01**	12.98	11.00-15.31	17.08
宜黄 Yihuang	$y = 3.15 + 1.52x$	<0.01**	16.45	13.33-20.29	21.64
南丰 Nanfeng	$y = 3.11 + 1.62x$	<0.01**	14.72	12.10-17.92	19.37
宁都 Ningdu	$y = 2.20 + 1.67x$	<0.01**	47.37	36.32-61.80	62.34
大余 Dayu	$y = 1.20 + 1.89x$	<0.01**	101.62	79.02-130.67	133.71
寻乌 Xunwu	$y = 2.13 + 1.57x$	<0.05*	67.28	49.16-92.09	88.53

*表示显著差异,**表示极显著差异。下表同。
* represents significant differences, ** represents extremely significant differences. The same below.

表 4 不同地理种群柑橘木虱对噻虫嗪的抗性水平
Table 4 Resistance levels of *Diaphorina citri* to Thiamethoxam in different populations

种群 [°] Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	P 值 P value	LC ₅₀ (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
宜黄 Yihuang	$y = 3.63 + 1.51x$	<0.01**	8.17	6.45-10.35	13.62
南丰 Nanfeng	$y = 3.20 + 1.78x$	<0.01**	10.29	8.61-12.30	17.15
上高 Shanggao	$y = 2.32 + 2.24x$	<0.05*	15.55	13.44-18.00	25.92

[°]表示因果园内虫口基数限制,仅采集到 3 个地区试虫。下表同。
[°] indicates that test insect are collected from only three areas due to the limitation of the population in the orchard. The same below.

2.4 不同地区柑橘木虱种群对烯啶虫胺的抗药性

寻乌县柑橘木虱种群对烯啶虫胺的抗性倍数为 77.37 倍,表现为中等水平抗性,大余县和宁都县柑橘木虱种群对烯啶虫胺的抗性倍数分别为 185.15 倍和 257.71 倍,表现为高水平抗性(表 5)。

2.5 不同地区柑橘木虱种群对虫螨腈的抗药性

大余县柑橘木虱种群对虫螨腈的抗性倍数为 135.58 倍,表现为高水平抗性,其余 5 个柑

橘木虱种群对虫螨腈的抗性倍数在 10.15-66.19 倍之间,表现为中等水平抗性(表 6)。

3 结论与讨论

江西省是柑橘大省,由于柑橘木虱繁殖能力强,是柑橘黄龙病的传播媒介,对江西柑橘的生产造成严重威胁。为防控柑橘木虱,在生产实践中频繁使用化学药剂进行防治,这可能导致柑橘木虱的抗药性增加。江西不同地区用药习惯不同,目前针对常规杀虫剂抗药性水平的研究也比

表 5 不同地理种群柑橘木虱对烯啶虫胺的抗性水平
Table 5 Resistance levels of *Diaphorina citri* to Nitenpyram in different populations

种群 ^a Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	P 值 P value	LC ₅₀ (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
寻乌 Xunwu	$y = 3.84 + 1.74x$	<0.01**	4.64	3.59-6.00	77.37
大余 Dayu	$y = 3.24 + 1.69x$	<0.01**	11.11	8.47-14.57	185.15
宁都 Ningdu	$y = 2.93 + 1.74x$	<0.01**	15.46	12.00-19.92	257.71

表 6 不同地理种群柑橘木虱对虫螨腈的抗性水平
Table 6 Resistance levels of *Diaphorina citri* to Chlorfenapyr in different populations

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	P 值 P value	LC ₅₀ (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
上高 Shanggao	$y = 2.74 + 1.27x$	<0.01**	59.57	46.97-75.56	66.19
宜黄 Yihuang	$y = 3.17 + 1.22x$	<0.01**	32.11	25.10-41.22	35.67
南丰 Nanfeng	$y = 3.61 + 1.45x$	<0.01**	9.14	7.41-11.26	10.15
宁都 Ningdu	$y = 2.70 + 1.40x$	<0.01**	44.22	32.57-60.04	49.14
大余 Dayu	$y = 1.23 + 1.81x$	<0.01**	122.02	94.23-158.00	135.58
寻乌 Xunwu	$y = 1.82 + 1.90x$	<0.01**	47.11	37.14-59.76	52.34

较少。因此针对江西省不同柑橘产区,测定了江西省 6 个不同地区柑橘木虱种群对 5 种常用杀虫剂的抗药性。

结果表明,不同地区的柑橘木虱种群表现出一定的地域特点,即赣南脐橙产区 3 个田间种群总共检测的 12 个结果(种群×药剂)中,7 个结果呈现出高水平抗性;而在非赣南脐橙产区,田间种群的抗性水平处于中等水平(图 1)。寻乌县、大余县和宁都县属于赣南脐橙传统种植区,南丰县和宜黄县是南丰蜜桔传统种植区,上高县属于柑橘类果树新兴种植区,不同地区种植的柑橘品种有所不同。刘斌(2015)通过研究在夏橙、九里香和千里香 3 种不同寄主饲养 12 代后的柑橘木虱对甲氰菊酯的抗药性发现,不同寄主会影响柑橘木虱脂酶、谷胱甘肽-S-转移酶和细胞色素 P450 活性。前人研究表明寄主植物的化感物质会影响解毒代谢酶的活性差异表达,如呋喃香豆素会影响 P450 的表达,吲哚类物质和类黄酮与谷胱甘肽-S-转移酶的活性表达有关(Wadleigh and Yu, 1988; Li *et al.*, 2007)。且柑橘木虱为喜温性昆虫,赣南地区常年温度较高,因此赣南地区尤其适宜柑橘木虱的种群发展。为控制柑橘

木虱的种群发展,农户更易频繁使用化学药剂,从而导致赣南脐橙产区的柑橘木虱对常见药剂产生较高抗性。

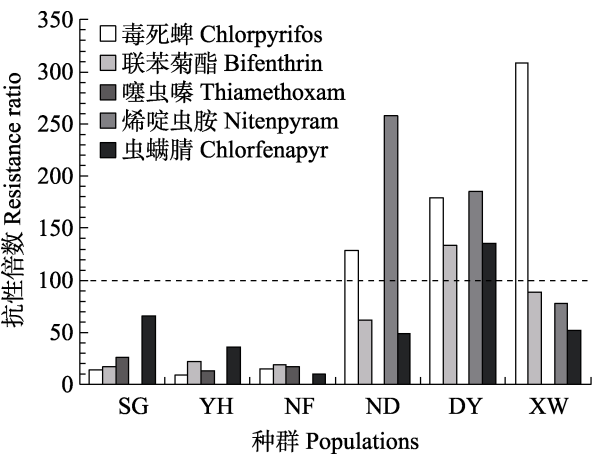


图 1 不同种群柑橘木虱对 5 种药剂的抗性
Fig. 1 Resistance of *Diaphorina citri* from different populations to five insecticides

虚线对应的抗性倍数为 100, 该数据在本文的意义为中等水平抗性和高水平抗性的分界线。SG: 上高; YH: 宜黄; NF: 南丰; ND: 宁都; DY: 大余; XW: 寻乌。The dashed line corresponds to a resistance multiple of 100, which is the dividing line between medium level resistance and high level resistance. SG: Shanggao; YH: Yihuang; NF: Nanfeng; ND: Ningdu; DY: Dayu; XW: Xunwu.

赣南脐橙产区, 3 个田间种群均对毒死蜱表现为高水平抗性, 除宁都地区的田间种群对烯啶虫酰胺表现为高抗水平, 其余均表现为中水平抗性。而在非赣南脐橙产区的其他 3 个地区, 上高县、宜黄县和南丰县的田间种群对不同杀虫剂的抗性水平均在中等抗性。上高县、宜黄县和南丰县作为非赣南脐橙产区, 其田间种群对 4 种常规药剂的抗性表现相似, 但仍有一些差别较为明显。上高地区田间种群对虫螨腈抗性倍数为 66.19 倍 (表 6), 而宜黄地区的田间种群, 它们对毒死蜱的抗性倍数仅为 9.01 倍, 属于低抗水平 (表 2)。在寄主和环境相同的情况下, 柑橘木虱对不同药剂的抗药性水平也表现不同, 这可能与当地用药习惯以及相关基因表达有关。赣南脐橙产区可能使用毒死蜱较多, 其中大余地区的田间种群对 4 种药剂均表现为高抗水平, 这表明大余地区可能用药更为频繁或者不注意药剂更换; 非赣南脐橙产区, 宜黄县与南丰县相邻, 但宜黄地区的田间种群对毒死蜱抗性呈现低抗水平, 说明该地可能较少使用毒死蜱进行防治。此外, 柑橘木虱对药剂的抗性水平与体内多功能氧化酶相关, 而柑橘木虱体内的这些解毒酶基因表达则直接影响解毒酶的活性变化 (Maymo *et al.*, 2002; Tiwari *et al.*, 2011a, 2011b)。Kishk 等 (2017) 采用 RNAi 技术处理柑橘木虱成虫和 4 龄若虫, 发现有 3 个乙酰胆碱酯酶基因的表达量降低, 用 4 种药剂对柑橘木虱进行处理, 发现柑橘木虱成虫及 4 龄若虫对毒死蜱和西维因的敏感性增加, 但对吡虫啉和甲氰菊酯敏感性无影响。刘斌 (2015) 发现与昆虫抗药性相关的钠离子通道中 V410、M918 和 F1534 是柑橘木虱抗药性相关最可能发生的基因突变位点, 同时他还发现响应抗性的不同机理, 每一类可对应多条基因序列, 如谷胱甘肽-S-转移酶 16 条及 P450 基因 49 条。不同药剂所涉及的解毒酶以及相关基因表达可能有所差异, 目前由于柑橘木虱抗药性分子机制研究较少, 仍需进一步的研究。

邓明学等 (2012b) 发现广西柑橘园中柑橘木虱成虫抗药性, 以 LC_{50} 计算抗性倍数, 发现对毒死蜱的抗药性呈现为中水平抗性, 对虫螨腈呈敏感性。詹兴堆 (2019) 研究发现江西柑橘木

虱种群的抗性谱广, 江西省赣州市信丰县种群对联苯菊酯、毒死蜱和噻虫嗪的抗性倍数分别为 5.9 倍、2.9 倍和 5.2 倍。各地区用药习惯不同, 寄主植物有所不同, 所以对不同药剂的抗性水平也会表现不同, 此外, 由于相对敏感品系和测定方法的选择不一, 以及实验方法的不同, 抗性倍数与本研究结果相差较大, 但总体结果与前人研究结果比较相似。

本研究结果表明, 江西柑橘产区的柑橘木虱对常用药剂产生了不同程度的抗药性。本实验均采用的是广谱性杀虫剂进行分析。邓明学等 (2012a) 发现柑橘木虱对新烟碱类杀虫剂存在交互抗性, 因此, 江西 6 地区的柑橘木虱种群可能对广谱性同一类作用机理的杀虫剂的抗性可能都处于较高水平。为保持对杀虫剂的敏感性, 应采取多策略综合使用。加强对柑橘木虱监控, 及时把握防治时期, 限制广谱性杀虫剂的使用。柑橘木虱最佳防治时期为若虫期, 此时可采用合适的选择性杀虫剂, 如矿物油和昆虫生长调节剂等, 也可同时使用广谱性和选择性杀虫剂, 或交替使用。此外, 还应加强农业和生物防治手段, 及时清除病树, 引入寄生性、捕食性天敌和病原微生物等, 从而达到延缓柑橘木虱抗药性水平目的。

参考文献 (References)

- Afifa N, Shoaib F, Feng LJ, Muhammad A, Mudassir M, 2016. Monitoring of insecticide resistance in *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) from citrus groves of Punjab, Pakistan. *Crop Protection*, 86: 62–68.
- 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.
- Chen YX, Zhu WC, 2008. Control of Asian citrus psyllid is the key to prevent Huanglongbing. *Contemporary Horticulture*, 2008(9): 28–29. [陈又新, 朱文灿, 2008. 防治柑桔木虱是防止柑桔黄龙病蔓延的关键. 现代园艺, 2008(9): 28–29.]
- Deng MX, 2006. Research on integrated control technology of Huanglongbing focusing on controlling Asian citrus psyllid. *Plant Protection*, 32(6): 147–149. [邓明学, 2006. 以控制木虱为重点的柑橘黄龙病综合防治技术研究. 植物保护, 32(6): 147–149.]
- Deng MX, Pan ZX, Tian YL, Tang JF, Qin X, Chen GF, Tang ML,

- 2012a. Cross-resistance of Asian citrus psylla to 4 neonicotinoid insecticides. *Agrochemicals*, 51(2): 153–155. [邓明学, 潘振兴, 谭有龙, 唐际飞, 覃旭, 陈贵峰, 唐明丽, 2012a. 柑橘木虱对 4 种新烟碱类杀虫剂的交互抗性. *农药*, 51(2): 153–155.]
- Deng MX, Pan ZX, Tian YL, Tang JF, Qin X, Chen GF, Tang ML, 2012b. Monitoring of resistance of Asian citrus psyllid to 6 pesticides in Guangxi orchards. *China Plant Protection*, 32(4): 48–49. [邓明学, 潘振兴, 谭有龙, 唐际飞, 覃旭, 陈贵峰, 唐明丽, 2012b. 广西果园柑橘木虱对毒死蜱等 6 种农药的抗药性监测. *中国植保导刊*, 32(4): 48–49.]
- Grafton-Cardwell EE, Stelinski LL, Stansly PA, 2013. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the Huanglongbing pathogens. *Annual Review of Entomology*, 58: 413–432.
- Hijaz F, Lu ZJ, Killiny N, 2016. Effect of host-plant and infection with ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ on honeydew chemical composition of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 158(1): 34–43.
- Li X, Schuler MA, Berenbaum MR, 2007. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. *Annual Review Entomology*, 52: 231–253.
- Liu B, 2015. Detection of insecticides susceptibility and analyses of insecticides resistance-related genes. Doctoral dissertation. Chongqing: Southwest University. [刘斌, 2015. 柑橘木虱对杀虫剂敏感性检测及抗药性相关基因分析. 博士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Maymo AC, Cervera A, Sarabia R, Martinez-Pardo R, Garcera MD, 2002. Evaluation of metabolic detoxifying enzyme activities and insecticide resistance in *Frankliniella occidentalis*. *Pest Management Science*, 58(9): 928–934.
- Kishk A, Hijaz F, Anber HAI, AbdEl-Raof TK, El-Sherbeni AD, Hamed S, Killiny N, 2017. RNA interference of acetylcholinesterase in the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, increases its susceptibility to carbamate and organophosphate insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 143: 81–89.
- Pardo S, Martínez AM, Figueroa JI, Chavarrieta JM, Viñuela E, Rebollar-Alviter Á, Miranda MA, Valle J, Pineda S, 2017. Insecticide resistance of adults and nymphs of Asian citrus psyllid populations from apatzingán valley, Mexico. *Pest Management Science*, 74(1): 135–140.
- Qureshi JA, Kostyk BC, Stansly PA, 2014. Insecticidal suppression of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) vector of Huanglongbing pathogens. *PLoS ONE*, 9(12): e112331.
- Rao CN, George A, Rahangadale S, 2019. Monitoring of resistance in field populations of *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) and *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) to commonly used insecticides in citrus in central India. *Journal of Economic Entomology*, 112(1): 324–328.
- Sun XX, Shi PQ, Xu WM, Qin ZQ, Ren SX, Qiu BL, 2016. Endosymbiont detection and phylogeny of *Wolbachia* in *Diaphorina citri* and *Dialeurodes citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 772–781. [孙秀新, 师沛琼, 许炜明, 覃振强, 任顺祥, 邱宝利, 2016. 华南地区柑橘木虱与柑橘粉虱内共生菌检测及其 *Wolbachia* 共生菌的系统发育关系分析. *应用昆虫学报*, 53(4): 772–781.]
- Tian FJ, Liu JL, Zeng XN, 2018. Progress in research on insecticide resistance in the Asia citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(4): 565–573. [田发军, 刘家莉, 曾鑫年, 2018. 柑橘木虱抗药性研究进展. *应用昆虫学报*, 55(4): 565–573.]
- Tiwari S, Mann RS, Rogers ME, Stelinski LL, 2011a. Insecticide resistance in field populations of Asian citrus psyllid in Florida. *Pest Management Science*, 67(10): 1258–1268.
- Tiwari S, Pelz-Stelinski K, Mann RS, Stelinski LL, 2011b. Glutathione transferase and cytochrome P450 (general oxidase) activity levels in *Candidatus Liberibacter asiaticus*-infected and uninfected Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 104(2): 297–305.
- Wadleigh RW, Yu SJ, 1988. Detoxification of isothiocyanate allelochemicals by glutathione transferase in three lepidopterous species. *Journal of Chemical Ecology*, 14: 1279–1288.
- Wang QZ, Liu YM, Li SM, Zhao Y, Wang W, 2018. Chemical composition of essential oil of the invasive plant *Praxelis clematidea* and its repellence and lethality to *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 117–125. [王奇志, 刘育梅, 李书明, 赵颖, 王伟, 2018. 假臭草花精油的化学组成及对柑橘木虱的驱避和致死活性. *应用昆虫学报*, 55(1): 117–125.]
- Wu DY, 1980. Relationship between habits of Asian citrus psyllid and Huanglongbing. *China Citrus*, 1980(2): 33–34. [吴定尧, 1980. 柑桔木虱的习性与黄龙病发生的关系. *中国柑桔*, 1980(2): 33–34.]
- Yao LJ, Yi L, Li SH, Chen YQ, 2018. Efficacy of heat treatment in controlling citrus Huanglongbing by different temperatures combinations in field. *Journal of Southern Agriculture*, 49(7): 1346–1350. [姚林建, 易龙, 李双花, 陈毅群, 2018. 不同温度组合热处理治疗柑橘黄龙病的田间效果分析. *南方农业学报*, 49(7): 1346–1350.]
- Yao TS, Zhou Y, Zhou CY, 2018. Advances in researches on the occurrence and control of Asia citrus psyllid. *Journal of Fruit Science*, 35(11): 107–115. [姚廷山, 周彦, 周常勇, 2018. 亚洲柑橘木虱的发生与防治研究进展. *果树学报*, 35(11): 107–115.]
- Zhan XD, 2019. Resistance of different *Diaphorina citri* populations to six common insecticides. *Journal of Southern Agriculture*, 50(12): 2713–2719. [詹兴堆, 2019. 不同柑橘木虱种群对 6 种常用杀虫剂的抗药性测定. *南方农业学报*, 50(12): 2713–2719.]
- Zhang S, 2020. Monitoring of pesticide resistance of agricultural pests in China for 2019 and suggestions for scientific drug use. *China Plant Protection*, 40(3): 64–69. [张帅, 2020. 2019 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. *中国植保导刊*, 40(3): 64–69.]