



广西不同地区柑橘木虱发生规律及抗药性分析

杨贵兵¹, 韦壮敏¹, 胡艺帆¹, 何江¹, 欧景莉¹, 陈豪军^{1*},
龚蕾^{2*}, 黄雪梅¹, 赵媛¹

(1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 南宁 530001; 2. 湖南农业大学园艺学院, 长沙 410128)

摘要: 为掌握广西地区柑橘木虱 *Diaphorina citri* 发生规律及其抗药性水平, 本研究结合气象数据, 定点调查桂北、桂中、桂南地区木虱种群全年消长情况, 并采用“浸叶法+药膜法”相结合的方法, 检测不同地区木虱成虫对常规药剂的抗性水平。调查结果显示, 桂北和桂中地区 4-11 月为木虱主要发生期, 月平均温度在 18.7~29.6°C 之间, 种群数量为 128~643 头/百梢; 桂南地区 3-11 月为木虱主要发生期, 月平均温度在 20.7~29°C 之间, 种群数量为 136~860 头/百梢。三地木虱种群数量与温度呈正相关, 种群增长拐点温度均在 19°C 左右, 全年均有 3 个木虱发生高峰期, 其中, 桂北和桂中高峰期在 5、8、9 月, 桂南高峰期在 4、7、8 月, 较桂北、桂中地区提前 1 个月。降雨与木虱种群数量相关性分析显示, 木虱主要发生期间, 月降雨量在 0~25 mm (干旱)、25~100 mm (湿润)、>100 mm (潮湿) 三个不同等级时, 桂北木虱种群数量分别为 258 头/百梢、344 头/百梢、295 头/百梢, 桂中分别为 219 头/百梢、404 头/百梢、311 头/百梢, 桂南分别为 244 头/百梢、435 头/百梢、355 头/百梢, 三地木虱种群数量均呈现为湿润月份 > 潮湿月份 > 干旱月份的趋势, 但相关性不显著。抗药性测定结果显示, 桂北、桂南木虱种群对吡虫啉抗性倍数分别为 38.80、21.47, 属中抗, 桂中为 94.51, 属高抗; 桂北、中、南三地木虱种群对噻虫嗪抗性倍数分别为 4.04、3.91、1.64, 均为敏感; 桂北、桂中木虱种群对毒死蜱抗性倍数分别为 48.09、50.79, 属高抗, 桂南为 14.25, 属中抗; 桂中、桂南木虱种群对高效氯氟菊酯抗性倍数分别为 70.71、60.48, 属高抗, 桂北为 17.25, 属中抗。综上, 建议田间轮换使用低抗药剂, 并在木虱主要发生期前控制种群数量。

关键词: 柑橘木虱; 发生规律; 温度; 降雨量; 抗药性; 抗性倍数

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2021GXNSFBA220019); 广西农科院基本科研业务专项 (桂农科 2022YM18)

作者简介: 杨贵兵, 助理研究员, 主要研究方向为植物保护, E-mail: 18855994182@163.com

*共同通讯作者 Author for correspondence: 陈豪军, 正高级农艺师, 主要研究方向为果树学, E-mail: 2654958641@qq.com; 龚蕾, 博士, 主要研究方向为园艺学, E-mail: 957591261@qq.com

收稿日期 Received: 2024-08-01; 修回日期 Revision received: 2024-10-08; 接受日期 Accepted: 2024-10-09

Occurrence and drug resistance analysis of citrus psyllid in different regions of Guangxi

YANG Gui-Bing¹, WEI Zhuang-Min¹, HU Yi-Fan¹, HE Jiang¹, OU Jing-Li¹, CHEN Hao-Jun^{1*}, GONG Lei^{2*}, HUANG Xue-Mei¹, ZHAO Yuan¹ (1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530001, China; 2. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: To analyze the occurrence patterns and resistance levels of citrus psyllids in Guangxi, this study integrated meteorological data to examine the annual fluctuations of psyllid populations in different regions of Guangxi. The resistance of adult psyllids to conventional pesticides in various areas was assessed using a combination of bioassays, including the “leaf dipping method” and the “drug film method”. The survey results revealed that psyllids were mainly present in northern Guangxi and central Guangxi from April to November, with average monthly temperatures ranging from 18.7 to 29.6°C. During this period, the population density ranges from 128 to 643 individuals per 100 shoots. In southern Guangxi, psyllids were predominantly observed from March to November, with average monthly temperatures between 20.7 and 29°C, and a population size of 136 to 860 individuals per 100 shoots. And the main occurrence period of Psyllid was from March to November in south, with the average monthly temperature ranging from 20.7°C to 29°C, and the population ranged from 136~860 head/100 shoots. The population size of psyllids in the three regions were positively correlated with temperature, with an inflection point temperature of around 19°C for population growth. Throughout the year, there were three peak periods of psyllid occurrence. In northern Guangxi and central Guangxi, the peak periods were in May, August, and September. In southern Guangxi, the peak period was in April, July, and August, one month earlier than in the other two regions. Correlation analysis between rainfall and psyllid populations showed that when the monthly rainfall was 0~25 mm (Dry), 25~100 mm (Wet) and > 100 mm (Damp), the population numbers were 258, 344 and 295 head/100 shoots in north, 219, 404 and 311 head/100 shoots in central, and 244, 435 and 355 head/100 shoots in south. The population of Psyllid in the three regions showed the trend of Wet month > Damp month > Dry month. The results showed that the resistance ratios of the northern and southern psyllid

populations to imidacloprid were 38.80 and 21.47 respectively, indicating medium resistance, while that of the central population was 94.51, indicating high resistance. The resistance multiples to thiamethoxam in the three regions were 4.04, 3.91 and 1.64, respectively, indicating sensitive. The resistance ratios of northern and central Psyllid to chlorpyrifos were 48.09 and 50.79, respectively, with high resistance, and the south were 14.25, indicating medium resistance. The resistance to cypermethrin in central and southern Guangxi psyllid populations were 70.71 and 60.48 respectively, with high resistance, and the north was 17.25, indicating medium resistance. In conclusion, it is recommended to rotate the application of low-resistant insecticides in the field and control the population as early as possible before the main occurrence period of psyllids.

Key words: *Diaphorina citri*; occurrence; temperature; rainfall; resistance; resistance ratios

柑橘木虱 *Diaphorina citri* 属半翅目 Hemiptera 木虱科 Psyllidae, 是柑橘黄龙病 (Citrus Huanglongbing, HLB) 的主要传播媒介, 目前已广泛分布于我国广东、广西、福建、江西、云南、湖南等柑橘主产区, 严重危害产业的健康发展 (Leong *et al.*, 2022)。柑橘木虱是喜温性昆虫, 种群数量与温度、降雨等环境条件紧密相关 (Milosavljevic *et al.*, 2018; 陈逢浩等, 2024), 因此, 不同产区木虱全年发生情况不同 (王茹琳等, 2021; Aidoo *et al.*, 2022)。据报道, 湘南地区木虱每年有 3 次发生高峰期, 分别在 5 月、8 月、9 月 (胡双双, 2023); 广东梅州地区木虱有 3 次发生高峰期 (黄静等, 2020); 广西南宁地区, 金柑类、柠檬类柑橘树上, 柑橘木虱发生也有 3 个高峰期, 分别在 5 月、7 月、8 月 (葛聪聪等, 2020)。近年来随着全球持续升温, 柑橘木虱的发生代数也从以前的一年 5~6 代, 到现在的 9~10 代, 部分地区甚至有 11~12 代 (余金珂, 2021)。广西区内气候环境差异较大, 木虱发生情况复杂, 目前对广西不同产区木虱发生规律的系统调查研究较少, 不利于制定适宜广西柑橘产区的木虱防控方案, 难以有效防控木虱的爆发和柑橘黄龙病的蔓延。

柑橘黄龙病尚无根治的办法, 产业上主要通过“种植无病毒苗、砍除病树、防治木虱”的“三板斧”模式来进行防控 (崔学进等, 2023)。而近年来, 随着各种杀虫剂的不断使用, 木虱抗药性的提升成为了柑橘产业的又一大威胁 (Chen and Stelinski, 2017; Crossley *et al.*, 2022)。据报道, 江西宁都、大余、寻乌县种群对毒死蜱的抗性倍数为 128.36~308.82, 对噻虫嗪的抗性倍数在 13.62~25.92 (胡妍月等, 2022); 广东肇庆地区木虱种群对噻虫嗪、吡虫啉和高效氯氰菊酯的抗性倍数分别为 1.68、5.89、2.44 (宋晓兵等, 2021); 广西桂林地区木虱种群对毒死蜱、吡虫啉、高效氯氰菊酯、丁硫克百威的抗性倍数分别为 21.66、12.14、6.83 和 4.25 (邓明学等, 2012)。目前, 全面研究、分析广西不同地区木虱抗药性的报道较少,

而了解不同产区木虱对常规药剂的最新抗药性，对各产区制定科学防控方法有重要意义。

广西是我国第一大柑橘产区，同时也是木虱发生的重灾区，科学制定适宜区内不同产区的木虱防控方案，将有效遏制黄龙病的蔓延，促进产业健康发展。本研究调查了桂北、桂中、桂南地区全年气象变化和木虱种群数量消长情况，并分析研究当前地区柑橘木虱发生规律；同时采用“浸叶法+药膜法”相结合的方法，研究当前广西不同地区木虱抗药性，拟为本地科学制定柑橘木虱防控方案提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

植物材料：5年生枳砧沃柑，2年生健壮九里香。

供试昆虫：木虱敏感种群于2021年4月采自南宁市兴宁区三塘镇一处失管沃柑果园，于养虫笼内用九里香饲养多代，期间未施用杀虫剂。田间种群于2022年7月分别采自桂林市灵川县谭下镇、柳州市鹿寨县平山镇和南宁市武鸣区宁武镇沃柑园。

供试药剂：供试杀虫剂均为原药，分别为95%吡虫啉（Imidacloprid）、98.5%噻虫啉（Thiamethoxam）、97%毒死蜱（Chlorpyrifos）和96.3%高效氯氰菊酯（Beta cypermethrin），试验药剂均使用丙酮溶液溶解。

1.2 方法

1.2.1 广西地区田间柑橘木虱发生情况调查

按纬度划分，从北到南，分别于桂林市灵川县（桂北）、柳州市鹿寨县（桂中）和南宁市武鸣区（桂南），各选取有代表性的失管沃柑果园1个进行定点调查，失管果园面积均在0.07 hm²左右。每果园采用5点取样法，每点选取树势基本相同的1棵果树，每树取东、南、西、北、中5个方位，每位置选取3根枝条，每隔1个月调查一次，记录柑橘木虱成虫和若虫数量（余金柯，2020）。

1.2.2 调查点气象数据收集

气象数据由国家气象科学数据中心（<https://data.cma.cn/>）发布，统计的气象数据包括日平均温度、日最高温度、日最低温度、日降水量。月降雨量分级标准为0~25 mm为干旱、25~100 mm为湿润、100 mm以上为潮湿。

1.2.3 广西地区柑橘木虱抗药性测定

以丙酮为空白对照，分别取供试药剂用丙酮制成1%母液，并用丙酮稀释成设定浓度（表1）。从未施用药剂的2年生健壮九里香苗上摘取当年生长势一致的嫩梢，擦洗并晾干表面水

分后插入装满水的 1.5 mL 离心管内，用封口膜封口并固定嫩梢，后浸入配置好的药液约 5 s 后取出晾干；取 3 mL 对应浓度药液于圆柱形玻璃指形管（20 × 100 mm）中，轻轻旋转指形管 3 圈，使药液润湿管壁，自然晾干后将处理好的九里香嫩梢放入，并装入 10 头柑橘木虱成虫，用纱布封口，每处理重复 3 次。将封好口后的指形管放入人工气候箱中，温度 27°C±1°C，湿度 65%±5%，光照 L : D=16 : 8，24 h 后分别统计各处理的死亡虫数。

表 1 药剂浓度

Table 1 Drug Concentration

杀虫剂 Insecticides	浓度 (mg/L) Concentration					
吡虫啉 Imidacloprid	0	1	5	10	15	25
噻虫嗪 Thiamethoxam	0	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
毒死蜱 Chlorpyrifos	0	15	35	50	80	100
高效氯氟菊酯 Beta cypermethrin	0	10	15	30	50	100

1.3 数据分析

采用 Excel 2021 统计分析气象数据和柑橘木虱发生情况，SPSS 23 软件分析抗药性数据，Probit analysis 计算柑橘木虱抗药性毒力回归方程，并计算出致死中浓度（LC₅₀），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<40.0 倍为中等抗性；40.0≤RR<160.0 倍为高等抗性；RR≥160.0 倍以上为极高抗性（胡妍月等，2022）。

2 结果与分析

2.1 广西地区柑橘木虱发生规律

2.1.1 温度与柑橘木虱发生情况调查及分析

桂北灵川和桂中鹿寨地区 3 月和 12 月柑橘木虱均发生较少，种群数量为 39~63 头/百梢，若虫数量为 0，月平均温度均低于 19°C；4-10 月为木虱主要发生期，种群数量为 128~643 头/百梢，若虫数量为 27~434 头/百梢，月平均温度均高于 18.7°C（表 2、3）。桂南武鸣地区 12 月份木虱发生较少，种群数量为 83 头/百梢，若虫数量为 0，月平均温度为 13.3°C；3-11 月为木虱主要发生期，种群数量为 136~860 头/百梢，若虫数量为 53~546 头/百梢，月平均温度在 20.7~29°C 之间（表 4）；综合灵川、鹿寨、武鸣地区温度与木虱种群数量发生情况发现，3 个地区木虱种群数量增长拐点温度在 19°C 左右。

灵川、鹿寨、武鸣地区全年均有 3 个木虱发生高峰期，其中，灵川和鹿寨高峰期均在 5 月、8 月、9 月，种群数量分别为 472 头/百梢、629 头/百梢、376 头/百梢和 643 头/百梢、561 头/百梢、350 头/百梢，若虫数量分别为 200 头/百梢、434 头/百梢、203 头/百梢和 231

头/百梢、330 头/百梢、180 头/百梢，月平均温度为 21.1℃、29.4℃、28.4℃和 22.5℃、29.6℃、28.6℃；桂南地区高峰期在 4 月、7 月、8 月，种群数量为 601 头/百梢、395 头/百梢、860 头/百梢，若虫数量为 208 头/百梢、184 头/百梢、546 头/百梢，月平均温度为 22.1℃、29℃、28.4℃。桂南地区较桂北、桂中地区木虱发生高峰期提前 1 个月发生（表 2、表 3、表 4）。

表 2 2022 年灵川县全年温度变化和木虱发生情况

Table 2 Annual temperature change and psyllid occurrence in Lingchuan County in 2022

月份	种群数量 (head/100 shoots)	若虫数量 (head/100 shoots)	月平均温度 (°C)	月最高温度 (°C)	月最低温度 (°C)
Month	Population	Number of psyllid nymphs	Mean monthly temperature	Monthly maximum temperature	Monthly minimum temperature
3	63	0	17.1	30.6	8.1
4	248	165	19.5	31.7	9.3
5	472	200	21.1	31.1	10.8
6	164	29	26.0	34.4	25.2
7	244	119	28.8	37.7	25.0
8	629	434	29.4	38.9	25.2
9	376	203	28.4	37.9	25.0
10	141	27	22.7	36.9	13.9
11	160	73	18.7	31.1	1.6
12	42	0	9.3	19.6	1.1

表 3 2022 年鹿寨县全年温度变化和木虱发生情况

Table 3 Annual temperature change and psyllid occurrence in Luzhai County in 2022

月份	种群数量 (head/100 shoots)	若虫数量 (head/100 shoots)	月平均温度 (°C)	月最高温度 (°C)	月最低温度 (°C)
Month	Population	Number of psyllid nymphs	Mean monthly temperature	Monthly maximum temperature	Monthly minimum temperature
3	47	0	19.0	30.5	9.2
4	128	63	20.9	31.8	9.4
5	643	231	22.5	32.3	13.0
6	161	48	27.0	33.7	22.1
7	302	127	29.3	37.4	24.3
8	561	330	29.6	39.2	24.1
9	350	180	28.6	37.5	21.4
10	257	85	24.1	36.8	16.5
11	181	91	20.2	31.5	4.2
12	39	0	11.0	21.9	3.0

表 4 2022 年武鸣区全年温度变化和木虱发生情况

Table 4 Annual temperature change and psyllid occurrence in Wuming County in 2022

月份	种群数量 (head/100 shoots)	若虫数量 (head/100 shoots)	月平均温度 (°C)	月最高温度 (°C)	月最低温度 (°C)
Month	Population	Number of psyllid nymphs	Mean monthly temperature	Monthly maximum temperature	Monthly minimum temperature

3	136	53	20.7	30.8	10.8
4	601	208	22.1	31.9	11.0
5	368	145	23.7	32.5	15.0
6	302	116	27.8	34.7	23.4
7	395	184	29.0	36.6	23.5
8	860	546	28.4	37.4	23.6
9	301	120	28.0	37.4	21.9
10	277	83	24.6	33.7	15.5
11	244	90	22.0	31.3	6.7
12	83	0	13.3	22.7	6.2

温度与木虱种群数量线性回归分析结果显示，灵川种群数量与温度呈显著正相关 ($P=0.047$)，鹿寨种群($P=0.081$)和武鸣种群($P=0.104$)数量与温度变化呈正相关，但相关性不显著 (图 1)。

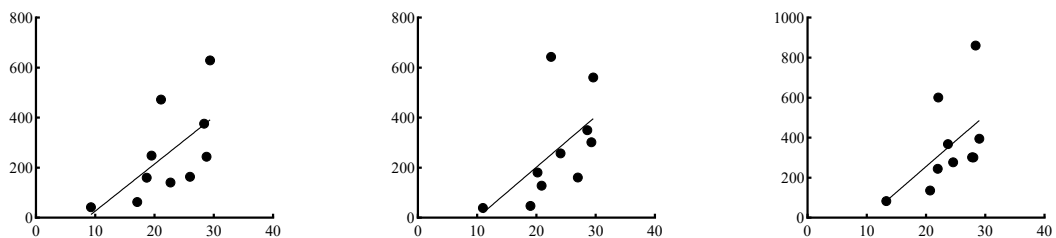


图 1 广西不同地区柑橘木虱种群数量与温度的回归方程

Fig.1 Regression equation of population and temperature of citrus Psyllid in different regions of Guangxi

注: A, 灵川; B, 鹿寨; C, 武鸣。下同。Note: A, Lingchuan; B, Luzhai; C, Wuming. Same below.

2.1.2 降雨量与柑橘木虱发生情况调查及分析

为更准确评价降雨对木虱种群数量的影响，本文重点对柑橘木虱主要发生期（月平均温度大于拐点温度的月份）相关数据进行分析。结果显示，灵川地区全年降雨主要集中在 3-6 月份，月降雨量在 128.7-886 mm 之间，其中，4 月、5 月、6 月为全年降雨高峰期，月降雨量分别为 378.1 mm、543.9 mm、886 mm；7-12 月降雨均偏少，月降雨量在 2.9-83 mm 之间（表 5）。鹿寨地区全年降雨量主要集中在 4-6 月，月降雨量在 109.9-566.7 mm 之间，其中，5 月、6 月为全年降雨高峰期，月降雨量分别为 365.7 mm、566.7 mm；3 月和 7-12 月降雨均偏少，月降雨量在 0.6-74.1 mm 之间（表 6）。武鸣区全年降雨量主要集中在 5-7 月，月降雨量在 107.7-205.9 mm 之间，其中，5 月降雨量为全年最高，为 205.9 mm；3-4 月和 7-12 月降雨均偏少，月降雨量在 0-93.2 mm 之间（表 7）。

木虱主要发生期间，灵川县干旱月份为 9 月、10 月，月降雨量分别为 2.9 mm、7.5 mm，种群数量为 376 头/百梢、141 头/百梢，平均为 258 头/百梢；湿润月份为 7 月、8 月、11 月，

月降雨量分别为 82.2 mm、29.3 mm、83 mm，种群数量为 244 头/百梢、629 头/百梢、160 头/百梢，平均为 344 头/百梢；潮湿月份为 4 月、5 月、6 月，月降雨量分别为 378.1 mm、543.9 mm、886 mm，种群数量为 248 头/百梢、472 头/百梢、161 头/百梢，平均为 295 头/百梢，木虱数量呈现为湿润月份>潮湿月份>干旱月份的趋势（表 5）。

表 5 2022 年灵川县全年降雨变化和木虱发生情况

Table 5 Annual rainfall change and occurrence of psyllid in Lingchuan county in 2022

发生情况 The occurrence of psyllid	降雨 Rainfall	月份 Month	种群数量(head/100 shoots) Psyllid population	月降雨量 (mm) Monthly rainfall	降雨天数(day) Rainfall days	天数 (日降雨量≥20mm) (day) Days (rainfall more than 20 mm)
主要发生期 Major occurrence period	干旱 Dry	9	376	2.9	30	0
		10	141	7.5	31	0
		7	244	82.2	31	1
	湿润 Wet	8	629	29.3	31	0
		11	160	83	29	1
		4	248	378.1	30	8
	潮湿 Damp	5	472	543.9	31	11
		6	164	886	30	14
非主要发生期 Non-major occurrence period	干旱 Dry	12	42	16.5	28	0
	潮湿 Damp	3	63	128.7	31	2

鹿寨干旱月份为 10、11 月，月降雨量分别为 22.3、14.2 mm，种群数量为 257、181 头/百梢，平均为 219 头/百梢；湿润月份为 7、8、9 月，月降雨量分别为 44.7、61.9、63.3 mm，种群数量为 302、561、350 头/百梢，平均为 404 头/百梢；潮湿月份为 4、5、6 月，月降雨量分别为 109.9、365.7、566.7 mm，种群数量为 128、643、161 头/百梢，平均为 311 头/百梢，木虱数量呈现为湿润月份>潮湿月份>干旱月份的趋势（表 6）。

表 6 2022 年鹿寨县全年降雨变化和木虱发生情况

Table 6 Annual rainfall change and occurrence of psyllid in Luzhai county in 2022

发生情况 The occurrence of psyllid	降雨 Rainfall	月份 Month	种群数量 (head/100 shoots) Psyllid population	月降雨量 (mm) Monthly rainfall	降雨天数 (day) Rainfall days	天数 (日降雨量≥20mm) (day) Days (rainfall more than 20 mm)
主要发生期 Major occurrence period	干旱 Dry	10	257	22.3	2	1
		11	181	14.2	4	0
		7	302	44.7	9	0
	湿润 Wet	8	561	61.9	11	0
		9	350	63.3	2	1
		4	128	109.9	11	3
	潮湿 Damp	5	643	365.7	22	7
		6	161	566.7	22	7

非主要发生期	干旱 Dry	12	39	0.6	2	0
Non-major occurrence period	湿润 Wet	3	47	74.1	13	1

武鸣区干旱月份为 11 月，月降雨量为 4.2 mm，种群数量为 244 头/百梢；湿润月份为 3 月、4 月、8 月、9 月、10 月份，月降雨量为 64.4 mm、93.2 mm、92.8 mm、55.5 mm、27.6 mm，种群数量为 136 头/百梢、601 头/百梢、860 头/百梢、301 头/百梢、277 头/百梢，平均为 435 头/百梢；潮湿月份为 5 月、6 月、7 月，月降雨量为 205.9 mm、107.7 mm、115.7 mm，种群数量为 368 头/百梢、302 头/百梢、395 头/百梢，平均为 355 头/百梢，木虱数量呈现为湿润月份>潮湿月份>干旱月份的趋势（表 7）。

表 7 2022 年武鸣区全年降雨变化和木虱发生情况

Table 7 Annual rainfall change and occurrence of psyllid in Wuming District in 2022

发生情况 The occurrence of psyllid	降雨 Rainfall	月份 Month	种群数量 (head/100 shoots) Psyllid population	月降雨量 (mm) Monthly rainfall	降雨天数 (day) Rainfall days	天数 (日降雨量 ≥20mm) (day)
						Days (rainfall more than 20 mm)
主要发生期 Major occurrence period	干旱 Dry	11	244	4.2	2	0
		3	136	64.4	10	1
		4	601	93.2	10	1
		8	860	92.8	17	0
		9	301	55.5	9	0
非主要发生期 Non-major occurrence period	湿润 Wet	10	277	27.6	6	0
		5	368	205.9	19	3
		6	302	107.7	13	3
		7	395	115.7	13	1
		12	83	0.0	0	0

降雨量与木虱种群数量线性回归分析结果显示，灵川 ($P=0.707$)、鹿寨 ($P=0.887$)、武鸣 ($P=0.490$) 种群数量与降雨量相关性不显著（图 2）。

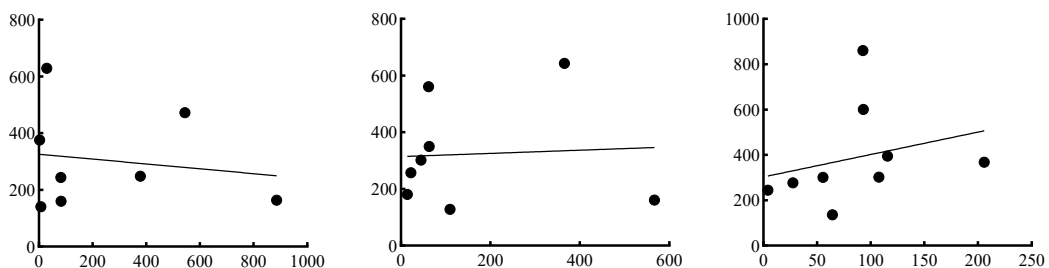


图 2 广西不同地区柑橘木虱种群数量与降雨量的回归方程

Fig. 2 Regression equation of citrus psyllid population and rainfall in different regions of Guangxi

木虱主要发生期间，桂北、桂中、桂南三地干旱月份木虱种群数量平均为 240 头/百梢，湿润月份平均为 402 头/百梢，潮湿月份平均为 320 头/百梢，呈现为湿润月份 > 潮湿月份 > 干旱月份的趋势，但三者间无显著性差异（表 8）。

表 8 三个地区不同降雨等级月份木虱种群数量

Table 8 Population of woodlice in three regions with different rainfall levels in months

降雨	木虱数量（木虱主要发生期）（head/100 shoots）
Rainfall	Psyllid population（Main stage of psyllid occurrence）
干旱 Dry	240 ± 40.052 a
湿润 Wet	402 ± 68.688 a
潮湿 Damp	320 ± 56.193 a

注：同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下表同。Note: Data were mean ± SE. Different letters in the same column indicated significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test. The following table was the same.

2.2 广西不同地区柑橘木虱抗药性检测

柑橘木虱对吡虫啉的抗药性检测结果显示（表 9）：敏感种群、灵川、鹿寨、武鸣种群的 LC_{50} 分别为 0.33 mg/L、12.88 mg/L、31.38 mg/L、7.13 mg/L，鹿寨种群的 LC_{50} 显著高于敏感种群和武鸣种群，而与灵川种群无显著差异；鹿寨种群抗性倍数为 94.51，为高等抗性；灵川和武鸣种群的抗性倍数分别为 38.80、21.47，均为中等抗性。

柑橘木虱对噻虫嗪的抗药性检测结果显示（表 9）：敏感种群、灵川、鹿寨、武鸣种群的 LC_{50} 分别为 0.52 mg/L、2.10 mg/L、2.03 mg/L、0.85 mg/L，灵川种群的 LC_{50} 显著高于敏感种群，而与鹿寨、武鸣种群无显著差异；灵川、鹿寨和武鸣种群的抗性倍数分别为 4.04、3.91 和 1.64，抗性级别均为敏感。

柑橘木虱对毒死蜱的抗药性检测结果显示（表 9）：灵川和鹿寨虫源的 LC_{50} 分别为 71.75 mg/L、75.77 mg/L，显著高于武鸣虫源（21.27 mg/L）和敏感种群（1.49 mg/L）；灵川和鹿寨种群的抗性倍数分别为 48.09 和 50.79，均为高等抗性，而武鸣虫源的抗性倍数为 14.25，属于中等抗性水平。

柑橘木虱对高效氯氰菊酯的抗药性检测结果显示（表 9）：鹿寨和武鸣虫源的 LC_{50} 分别为 46.60 mg/L 和 39.86 mg/L，显著高于灵川虫源（11.37 mg/L）和敏感种群（0.66 mg/L）；鹿寨和武鸣种群的抗性倍数分别为 70.71 和 60.48，均为高等抗性；灵川虫源的抗性倍数为 17.25，属于中等抗性。

结果表明，灵川虫源对吡虫啉、高效氯氰菊酯抗性等级均为中等，对噻虫嗪、毒死蜱的

抗性等级分别为敏感、高等；鹿寨虫源对噻虫嗪敏感，对吡虫啉、毒死蜱、高效氯氰菊酯均为高等抗性，武鸣种群对吡虫啉、毒死蜱为中等抗性，对噻虫嗪、高效氯氰菊酯分别为敏感、高等抗性，可见广西不同地区柑橘木虱抗药性差异较大。生产上防治柑橘木虱时应轮换施用低等抗性杀虫剂，提高防治效果。

表 9 不同地区柑橘木虱种群对常规药剂抗药性

Table 9 Resistance of citrus psyllid populations to conventional agents in different regions

杀虫剂 Insecticides	种群 Population	LC50 (mg/L)	95%置信区	斜率±标准误	自由度	P 值	卡方	抗性倍数
			95% Confidence interval	Slope ± standard error	Degree of freedom	P value	Chi-square	Resistance ratio
吡虫啉 Imidacloprid	敏感种群 Sensitive population	0.33 b	0.22~0.43	3.44 ± 0.84	3	0.99	1.84	-
	灵川 Lingchuan	12.88 ab	6.70~53.17	1.21 ± 0.71	3	0.95	0.37	38.80
	鹿寨 Luzhai	31.38 a	16.43~265.45	1.28 ± 0.72	3	0.92	0.89	94.51
	武鸣 Wuming	7.13 b	4.82~13.37	2.39 ± 0.83	3	0.65	1.68	21.47
	敏感种群 Sensitive population	0.52 b	0.38~0.86	2.90 ± 0.72	3	0.99	2.45	-
噻虫嗪 Thiamethoxam	灵川 Lingchuan	2.10 a	0.96~4.11	1.32 ± 0.67	3	0.95	0.33	4.04
	鹿寨 Luzhai	2.03 ab	1.35~2.92	2.61 ± 0.82	3	0.72	1.34	3.91
	武鸣 Wuming	0.85 ab	0.42~1.20	1.84 ± 0.72	3	0.93	0.44	1.64
	敏感种群 Sensitive population	1.49 c	1.25~1.71	6.90 ± 1.49	3	0.96	3.79	--
毒死蜱 Chlorpyrifos	灵川 Lingchuan	71.75 a	55.49~112.39	2.82 ± 1.30	3	0.77	1.79	48.09
	鹿寨 Luzhai	75.77 a	61.28~107.57	3.59 ± 1.43	3	0.81	1.56	50.79
	武鸣 Wuming	21.27 b	17.39~24.46	5.87 ± 2.84	3	0.55	2.15	14.25
	敏感种群 Sensitive population	0.66 b	0.48~0.97	3.00 ± 0.73	3	0.95	3.89	--
高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin	灵川 Lingchuan	11.37 b	3.73~17.91	2.04 ± 0.99	3	0.90	0.55	17.25
	鹿寨 Luzhai	46.60 a	36.16~64.38	3.61 ± 1.11	3	0.90	0.56	70.71

Luzhai							
武鸣	39.86 a	27.04-68.00	2.12 ± 0.90	3	0.69	1.51	60.48
Wuming							

3 结论与讨论

本研究发现，柑橘木虱存在一个种群数量增长的拐点温度（19℃左右），当月平均温度低于拐点温度时，种群数量小于 100 头/百梢，月平均温度高于拐点温度时，种群数量开始快速增加。冯贻富等（2013）研究发现当旬平均温度在 15℃以下时成若虫较难活动，当旬平均温度 20℃左右时形成种群增长拐点。本研究结果与前人结果基本一致，稍有差异可能是因为调查年份、调查地点不同导致。在柑橘木虱爆发前尽可能减少虫源基数，有助于减轻后期的防控难度。因此，生产上，建议桂北、桂中在 4 月份之前，桂南在 3 月份之前采取防治措施，以有效减轻木虱全年爆发情况。本研究同时发现，桂北、桂中地区 5 月、8 月、9 月为木虱发生高峰期，桂南为 4 月、7 月、8 月，对此，建议产区在木虱发生高峰期前加强监控，并提前采取防控手段，减少虫源基数，减轻或避免木虱的爆发。

水分作为一种重要的非生物因子，直接影响昆虫的生长发育（党志浩和陈法军，2011）。本研究发现，在木虱主要发生期，桂北、桂中和桂南地区木虱种群数量均呈现为湿润月份 > 潮湿月份 > 干旱月份的趋势，湿润环境可能更适合木虱种群的生长；另外，降雨对药剂防治效果有较大影响（Andika *et al.*, 2019）。本研究发现，桂北地区降雨高峰期在 4 月、5 月、6 月，桂中降雨高峰期在 5 月、6 月，桂南地区 5 月降雨最多，均属于木虱主要发生期，为减轻降雨对药剂防治效果的影响，建议在降雨高峰期前加大防治力度，降低虫源基数，减轻雨季防控压力。

浸叶法、药膜法是柑橘木虱对杀虫剂抗药性测定的主要方法，与田间实际情况接近，可用于柑橘木虱成虫抗药性检测（Nacem *et al.*, 2016）。本研究采用“浸叶法+药膜法”相结合的方法检测到，桂北、桂中、桂南地区木虱种群对不同杀虫剂抗药性存在差异，且桂林木虱种群对毒死蜱、吡虫啉、高效氯氰菊酯的抗性倍数较邓明学等（2012）的报道已提升 2~3 倍。可能是因为不同产区药剂使用种类和频率不同导致，建议产区综合采用化学、物理、生物等防治方法，提高防治效果。同时，产区虽已轮换施用不同类型杀虫剂，但对延缓柑橘木虱抗药性发展效果有限。

综上，建议广西柑橘产区加强柑橘木虱防控力度，木虱种群数量较低时不放松警惕，尽可能在木虱爆发及雨季前减少种群基数。同时，在化学防治中注意轮换施用低等抗性杀虫剂，提高防控效果。鉴于轮换使用杀虫剂对延缓柑橘木虱抗药性存在局限性，后续可进一步开发、

测试新型杀虫剂，探究化学、物理、生物等综合防控方法。

参考文献（References）

- Aidoo OF, Souza PGC, da Silva RS, *et al.* Climate-induced range shifts of invasive species (*Diaphorina citri* Kuwayama) [J]. *Pest Management Science*, 2022, 78 (6): 2534-2549
- Andika IP, Vandervoort C, Wise JC. Rainfastness of insecticides used to control spotted-wing drosophila in tart cherry production [J]. *Insects*, 2019, 10 (7): 203
- Chen FH, Yan JQ, Liu H, *et al.* Occurrence dynamic of *diaphorina citri* adults and cadaver in Guangzhou lemon orchards and their relationship with temperature and humidity [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (2): 431-437. [陈逢浩, 闫建全, 刘豪, 等. 广州市柠檬园柑橘木虱成虫和僵虫的发生动态及其与温湿度的关系 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (2): 431-437]
- Chen XD, Stelinski LL. Resistance management for Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama in Florida [J]. *Insects*, 2017, 8 (3):103
- Crossley MS, Lagos-Kutz D, Davis TS, *et al.* Precipitation change accentuates or reverses temperature effects on aphid dispersal [J]. *Ecological Applications*, 2022, 32 (5): e2593
- Cui XJ, Ma SJ, Shen P, *et al.* Research progress and prospect of interaction between 'Candidatus Liberibacter asiaticus' effectors and hosts [J]. *Plant Protection*, 2023, 49 (5): 127-132, 220. [崔学进, 马世绵, 沈盼, 等. 柑橘黄龙病菌效应蛋白与寄主互作研究进展与展望 [J]. 植物保护, 2023, 49 (5): 127-132, 220]
- Dang ZH, Chen FJ. Responses of insects to rainfall and drought [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1161-1169. [党志浩, 陈法军. 昆虫对降雨和干旱的响应与适应 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1161-1169]
- Deng MX, Pan ZX, Tan YL, *et al.* Monitoring of resistance of citrus Psyllid to 6 pesticides including chlorpyrifos in Guangxi orchard [J]. *China Plant Protection*, 2012, 32 (4): 48-49. [邓明学, 潘振兴, 谭有龙, 等. 广西果园柑橘木虱对毒死蜱等6种农药的抗药性监测 [J]. 中国植保导刊, 2012, 32 (4): 48-49]
- El-Shesheny I, Hijaz F, El-Hawary I, *et al.* Impact of different temperatures on survival and energy metabolism in the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology*, 2016, 192: 28-37.
- Feng YF, Wang EG, Pan W. Study on population fluctuation of citrus Psyllid in citrus orchard [J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2013, 29 (5): 39-40. [冯贻富, 汪恩国, 潘伟. 柑橘园柑橘木虱种群数量消长规律研究 [J]. 中国园艺文摘, 2013, 29 (5): 39-40]
- Ge CC, Li XC, Qiu FF, *et al.* Preliminary study of *Diaphorina citri* Dynamic on different hosts in nanning [J]. *Southern Horticulture*, 2020, 31 (6): 34-37. [葛聪聪, 李旭超, 邱发发, 等. 南宁市柑橘木虱在不同寄主上发生动态初报 [J]. 南方园艺, 2020, 31 (6): 34-37]
- Hu SS. Dynamic Monitoring of Occurrence of Psylla Citri in Southern Hunan and Evaluation and Screening of Control Agents [D].

- Hunan: Hunan Agricultural University, 2023. [胡双双. 湘南柑橘木虱发生动态监测及防治药剂评价与筛选 [D]. 湖南: 湖南农业大学, 2023]
- Hu YY, Sun Y, Zhou ZW, *et al.* Resistance of *Diaphorina citri* Kuwayama to five conventional insecticides in Jiangxi Province [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (2): 419-425. [胡妍月, 孙杨, 邹志文, 等. 江西省柑橘木虱对五种常规药剂的抗药性 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59 (2): 419-425]
- Huang J, Zhong JL, Liu R, *et al.* Occurrence rule and control technique of citrus psyllid in meizhou area [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2020, 26 (9): 97-98. [黄静, 钟进良, 刘蕊, 等. 柑橘木虱在梅州地区的发生规律及防治技术 [J]. 安徽农学通报, 2020, 26 (9): 97-98]
- Leong SS, Leong SCT, Beattie GAC. Integrated pest management strategies for Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) and Huanglongbing in citrus for Sarawak, East Malaysia, Borneo [J]. *Insects*, 2022, 13 (10): 960.
- Liu D, Yao JM, Yu YW, *et al.* Suitable distribution changes of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* in China under global warming [J]. *Journal of Plant Protection*, 2021, 48 (4): 872-881. [刘丹, 姚俊萌, 余焰文, 等. 气候变暖背景下柑橘木虱在中国的适生区变化 [J]. 植物保护学报, 2021, 48 (4): 872-881]
- Liu YH, Tsai JH. Effects of temperature on biology and life table parameters of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) [J]. *Annals of Applied Biology*, 2000, 137: 201-206.
- Milosavljevic I, Amrich R, Strode V, *et al.* Modeling the phenology of Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) in urban southern California: Effects of environment, habitat, and natural enemies [J]. *Environmental Entomology*, 2018, 47 (2): 233-243.
- Naeem A, Freed S, Feng LJ, *et al.* Monitoring of insecticide resistance in *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) from citrus groves of Punjab, Pakistan [J]. *Crop Protection*, 2016, 86: 62-68.
- Song XB, Cui YP, Peng AT, *et al.* Resistance to commonly used insecticides of *Diaphorina citri* field populations in Zhaoqing city, Guangdong province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (5): 1321-1324. [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]
- Wang RL, Wang YL, Chen DD, *et al.* Analysis of the potential of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama in southwest China using the maxent model [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (1): 84-90, 96. [王茹琳, 王闫利, 陈东东, 等. 基于 MaxEnt 模型的柑橘木虱在西南地区潜在分布模拟 [J]. 植物保护, 2021, 47 (1): 84-90, 96]
- Yu JK. Population Dynamics of Asian Citrus Psyllid and Potential Assessment of *Aspergillus* Combined with Insecticide for Pest Control [D]. Chongqing: Southwest University, 2021. [余金珂. 柑橘木虱的发生动态及曲霉与杀虫剂联合控害潜力评估 [D]. 重庆: 西南大学, 2021]