环境昆虫学报 2025，47（5）：1649-1659
Journal of Environmental Entomology
http://hjkcxb.alljournals.net
doi:10.3969/j.issn.1674-0858.2025.05.29

杨贵兵，韦壮敏，胡艺帆，何江，欧景莉，陈豪军，龚蕾，黄雪梅，赵媛. 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. YANG Gui-Bing, WEI Zhuang-Min, HU Yi-Fan, HE Jiang, OU Jing-Li, CHEN Hao-Jun, GONG Lei, HUANG Xue-Mei, ZHAO Yuan. Occurrence patterns and insecticide resistance analysis of citrus psyllid in different regions of Guangxi [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2025, 47（5）：1649-1659.

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月-11月为木虱主要发生期，月平均温度在18.7~29.6℃之间，种群数量为128~643头/百梢；桂南地区3月-11月为木虱主要发生期，月平均温度在20.7~29℃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℃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月、8月、9月，桂南高峰期在4月、7月、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氰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
中图分类号：Q968.1；Q965.9 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-0858（2025）05-1649-11

Occurrence patterns and insecticide resistance analysis of citrus psyllid in different regions of Guangxi

YANG Gui-Bing[1], WEI Zhuang-Min[1], HU Yi-Fan[1], HE Jiang[1], OU Jing-Li[1], CHEN Hao-Jun[1*], GONG Lei[2*], HUANG Xue-Mei[1], ZHAO Yuan[1] (1. Guangxi Subtropital Crops Research Institute, Nanning 530001, China; 2. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: To analyze the occurrence patterns and insecticide resistance levels of citrus psyllids in Guangxi, this study integrated meteorological data to examine the annual fluctuations of psyllid populations in northern, central, and southern Guangxi. The resistance ratios of adult psyllids to conventional pesticides in various areas were assessed using a combination of bioassays, including the "leaf dipping method" and the

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

"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 temperature 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 temperature between 20.7 and 29°C, and a population size of 136 to 860 individuals per 100 shoots. The population size of psyllids in the three regions were positively correlated with temperature, with an inflection point for population growth at approximately 19°C. 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 revealed that during the main occurrence period, when the monthly rainfall fell into three distinct categories—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 all three regions showed the trend of wet month >damp month > dry month, though the correlation was not statistically significant. Insecticide resistance monitoring results revealed that the resistance ratios of psyllid populations to imidacloprid in Northern and Southern Guangxi were 38.80 and 21.47 respectively, indicating medium resistance, while that in central regions was 94.51, indicating high resistance. The resistance ratios to thiamethoxam in the three regions were 4.04 (northern), 3.91 (central) and 1.64 (southern), respectively, indicating sensitive. The resistance ratios to chlorpyrifos in the northern and central regions were 48.09 and 50.79, respectively, with high resistance, and the south were 14.25, indicating medium resistance. The resistance ratios to cypermethrin in central and southern Guangxi 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 pattern; temperature; rainfall; insecticide 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，拟为本地区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% 噻虫嗪（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 hm^2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 mm × 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 ± 1）℃，相对湿度（65 ± 5）%，光周期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
高效氯氰菊酯 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（LC_{50}），抗性倍数（Resistance ratio，RR）=田间种群的LC_{50}/敏感种群的LC_{50}。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℃；4月–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℃（表2、表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℃；3月–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℃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℃左右。

表2 2022年灵川县全年温度变化和木虱发生情况

Table 2 Annual temperature variations and psyllid occurrence in Lingchuan County, 2022

月份 Month	种群数量（head/100 shoots）Population	若虫数量（head/100 shoots）Number of psyllid nymphs	月平均温度（℃）Mean monthly temperature	月最高温度（℃）Monthly maximum temperature	月最低温度（℃）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 variations and psyllid occurrence in Luzhai County, 2022

月份 Month	种群数量（head/100 shoots）Population	若虫数量（head/100 shoots）Number of psyllid nymphs	月平均温度（℃）Mean monthly temperature	月最高温度（℃）Monthly maximum temperature	月最低温度（℃）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 variations and psyllid occurrence in Wuming District, 2022

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

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）。

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）。

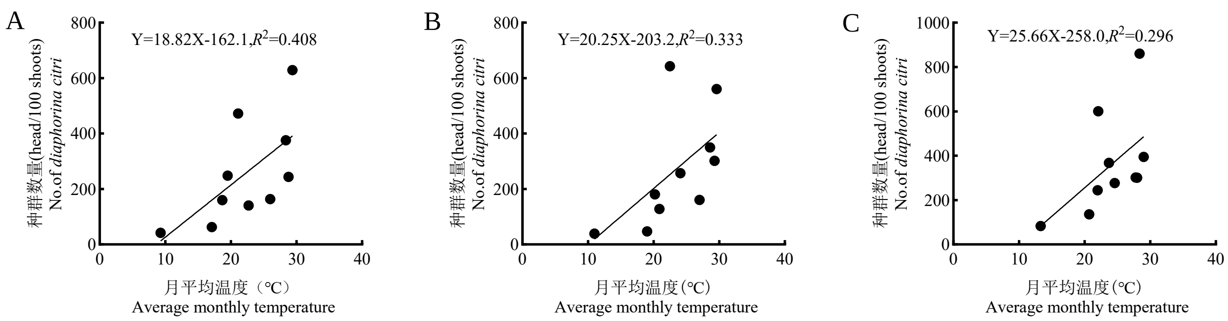

图1　广西不同地区柑橘木虱种群数量与温度的回归方程

Fig.1　Regression equations between citrus psyllid population size and temperature in different regions of Guangxi

注：A，灵川；B，鹿寨；C，武鸣。下同。Note: A, Lingchuan; B, Luzhai; C, Wuming. The same applies 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月–6月，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月–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月-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月-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月-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月-4月和7月-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）。

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

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）。

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）。

表5 2022年灵川县全年降雨变化和木虱发生情况

Table 5 Annual rainfall variations and occurrence of psyllid in Lingchuan County, 2022

发生情况 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（d）Rainfall days	天数（d）Days（日降雨量≥20mm）(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
	湿润 Wet	7	244	82.2	31	1
		8	629	29.3	31	0
		11	160	83	29	1
	潮湿 Damp	4	248	378.1	30	8
		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

表6 2022年鹿寨县全年降雨变化和木虱发生情况

Table 6 Annual rainfall variations and occurrence of psyllid in Luzhai County, 2022

发生情况 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（d） Rainfall days	天数（d）Days（日降雨量≥20mm） (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
	湿润 Wet	7	302	44.7	9	0
		8	561	61.9	11	0
		9	350	63.3	2	1
	潮湿 Damp	4	128	109.9	11	3
		5	643	365.7	22	7
		6	161	566.7	22	7
非主要发生期 Non-major occurrence period	干旱 Dry	12	39	0.6	2	0
	湿润 Wet	3	47	74.1	13	1

表7 2022年武鸣区全年降雨变化和木虱发生情况

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

发生情况 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（d） Rainfall days	天数（d）Days（日降雨量≥20mm） (Rainfall more than 20 mm)
主要发生期 Major occurrence period	干旱 Dry	11	244	4.2	2	0
	湿润 Wet	3	136	64.4	10	1
		4	601	93.2	10	1
		8	860	92.8	17	0
		9	301	55.5	9	0
		10	277	27.6	6	0
	潮湿 Damp	5	368	205.9	19	3
		6	302	107.7	13	3
		7	395	115.7	13	1
非主要发生期 Non-major occurrence period	干旱 Dry	12	83	0.0	0	0

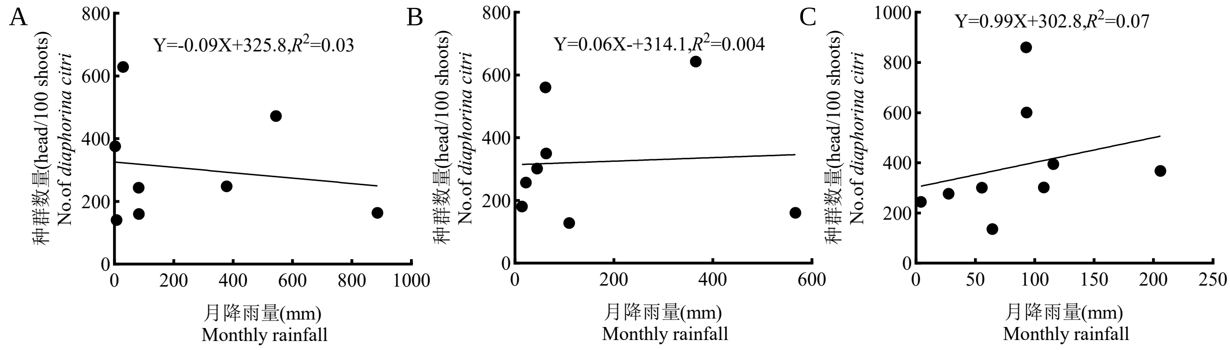

图2 广西不同地区柑橘木虱种群数量与降雨量的回归方程

Fig. 2 Regression equations between citrus psyllid population size and rainfall in different regions of Guangxi

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

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 Psyllid population across months with different rainfall levels in the three regions

降雨 Rainfall	主要发生期木虱数量（head/100 shoots） Psyllid population of main 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 lowercase letters in the same column indicated significant difference at $P<0.05$ level by Duncan′s new multiple range test. The same notation applied to the following table.

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。

上述结果表明，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。

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

表9 广西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 insecticides in different regions of Guangxi

杀虫剂 Insecticides	种群 Population	LC_{50}（mg/L）	95%置信区 95% Confidence interval	斜率±标准误 Slope ± standard error	自由度 Degree of freedom	*P*值 *P* value	卡方 Chi-square	抗性倍数 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
噻虫嗪 Thiamethoxam	敏感种群 Sensitive population	0.52 b	0.38~0.86	2.90 ± 0.72	3	0.99	2.45	–
	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
毒死蜱 Chlorpyrifos	敏感种群 Sensitive population	1.49 c	1.25~1.71	6.90 ± 1.49	3	0.96	3.79	–
	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
高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin	敏感种群 Sensitive population	0.66 b	0.48~0.97	3.00 ± 0.73	3	0.95	3.89	–
	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
	武鸣 Wuming	39.86 a	27.04~68.00	2.12 ± 0.90	3	0.69	1.51	60.48

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（Naeem *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]