

新型种植模式下柠檬园柑桔全爪螨发生规律 及对温度胁迫的可塑性研究*

柴文杰^{1**} 徐沂龙² 牛小慧³ 付强² 郑建英² 余金珂²
郭园超¹ 王进军¹ 牛金志^{1***} 王保军^{4***}

(1. 西南大学植物保护学院, 重庆 400715; 2. 重庆市潼南区农业农村委员会/农业科技推广中心, 重庆 402660;
3. 重庆市种子/植物保护站, 重庆 400121; 4. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 400020)

摘要 【目的】柑桔全爪螨 *Panonychus citri* 是柑桔等芸香科作物的主要害虫, 极易暴发成灾。为明确在规模化种植新模式下柑桔全爪螨的发生规律及成灾原因, 本文以世界柠檬主产区重庆潼南柠檬园为对象, 调查了柑桔全爪螨的发生规律, 并结合新的气候条件研究了柑桔全爪螨对极端温度的可塑性, 旨在为害螨的监测预警及暴发成灾研究提供参考。【方法】选取柠檬核心种植区 3 个代表柠檬园, 调查了 2020-2022 年间螨的空间格局和数量动态, 分析了害螨成灾的关键气候因子。在此基础上, 研究了不同季节螨对关键生态因子温度变化的可塑性。【结果】调查发现柠檬园的柑桔全爪螨在 3-4 月和 9-11 月分别出现 2 次盛发期, 盛发时期种群主要集中于树冠上部; 盛发期后, 柑桔全爪螨的分布以中下部为主, 且叶面螨量显著高于叶背。温度是柑桔全爪螨发生数量的关键气候因子, 除平均温度外, 极端高温和低温对柑桔全爪螨种群数量的影响较大。此外不同季节柑桔全爪螨对温度的可塑性也存在差异, 如冬季螨对低温的耐受性更强, 而对高温的耐受性较弱, 夏季螨则反之, 对高温的耐受性更强, 对低温的耐受性更弱; 春季螨对高、低温均有一定的耐受性。【结论】在新的种植模式、管理措施和气候条件等叠加影响下, 柑桔全爪螨在柠檬园常年发生, 已经成为柠檬园关键防治对象。温度是影响该螨发生的主要气候因子, 一年有 2 个盛发期。虽然柑桔全爪螨种群数量受平均温度和极端温度的限制比较明显, 但不同季节的螨对极端温度的耐受性存在差异, 可能是其适应环境变化与进化的表现, 表明害螨对温度胁迫具有很强的可塑性。

关键词 柑桔全爪螨; 极端温度; 监测预警; 气候因子; 成灾机制

The occurrence of *Panonychus citri* in lemon orchards under large-scale cultivation and the plasticity of this pest to thermal stress

CHAI Wen-Jie^{1**} XU Yi-Long² NIU Xiao-Hui³ FU Qiang² ZHENG Jian-Ying²
YU Jin-Ke² GUO Yuan-Chao¹ WANG Jin-Jun¹ NIU Jin-Zhi^{1***} WANG Bao-Jun^{4***}

(1. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Tongnan District Agriculture and Rural Committee/Agricultural Science and Technology Extension Center, Chongqing 402660, China; 3. Chongqing Seed/Plant Protection Station, Chongqing 400121, China;

4. Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 400020, China)

Abstract [Aim] To improve the monitoring of the mite *Panonychus citri*, which has frequent outbreaks in citrus and other Rutaceae crops, and improve understanding of the mechanism responsible for outbreaks of this pest. [Methods] The

*资助项目 Supported projects: 重庆市潼南区农业农村委 (202200121); 重庆市农业农村委 (2023001102)

**第一作者 First author, E-mail: 1914314289@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: baojunboy04@163.com; jinzhiniu@swu.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-01-02; 接受日期 Accepted: 2024-03-23

temporal occurrence patterns of *P. citri* were investigated in lemon orchards in Tongnan, Chongqing, the main lemon producing area in the world, from 2020 to 2022. The plasticity of *P. citri* to extreme thermal stress was also investigated. Three representative lemon orchards were selected as representative orchards in the core lemon planting area to investigate the spatial pattern and population dynamics of *P. citri*, and to analyze the key climatic factors responsible for outbreaks of this pest.

[Results] *P. citri* was found in lemon orchards from March to April and from September to November. Most were found in the upper crown of lemon trees during the period of occurrence. However, after the period of occurrence most were found in the middle and lower part of lemon trees. During this period the mite population on the adaxial leaf surface was significantly higher than that on the abaxial surface. Temperature, including the average, maximum and minimum, was the key climatic factor affecting the occurrence of *P. citri*. There were differences in the plasticity of *P. citri* collected in different seasons; those collected in winter were more tolerant of low temperatures and less tolerant of high temperatures, whereas those collected in summer were more tolerant of high temperatures and less tolerant of low temperatures. Mites collected in spring had intermediate tolerance to both high and low temperatures. **[Conclusion]** *P. citri* is present year-round in lemon orchards in Tongnan under current management and climatic conditions, and has become a key target for control. There are two annual peaks of occurrence and temperature is the main climatic factor affecting the occurrence of this pest. Although the population size of *P. citri* is limited by the average and extreme temperature, its tolerance to extreme temperatures varies seasonally, which suggests that this pest has a strong plasticity to temperature stress.

Key words *Panonychus citri*; extreme temperatures; monitoring and early warning; climatic factors; disaster-inducing mechanisms

柑桔全爪螨 *Panonychus citri* 属真螨目 Acariformes 叶螨科 Tetranychidae, 又称柑桔红蜘蛛, 是柑桔类等芸香科作物常见的害螨; 此外, 柑桔全爪螨还可为害部分豆科、桑科等植物。柑桔全爪螨常通过口针刺吸植物叶肉细胞, 吸食细胞内含物, 摄取营养物质。害螨为害导致叶片褪绿、白色斑点, 失去光泽, 严重时造成大量落叶、落花、落果, 嫩梢枯死, 从而影响树势和产量(马礼华等, 2016)。

20 世纪, 针对广东、重庆、上海、四川、江西、湖南、湖北、安徽和贵州等柑桔主产地调查了柑桔全爪螨发生规律(黄良炉等, 1964; 李隆术等, 1980; 李仁烈等, 1986; 轩静渊等, 1988; 郑六三, 1992; 李德友和何永福, 1993; 甘宗义和王盛桃, 1994)。如 1963 和 1964 年在重庆北碚桔园的调查发现柑桔全爪螨在 3 月上旬开始为害, 3-4 月为害严重, 在春秋两季可出现几次螨口高峰。在 1983-1984 年对湖北通山县蜜柑产区柑桔全爪螨的田间消长动态调查, 发现其每年出现 2 次高峰, 分别在 5-6 月和 9-10 月。进入 21 世纪以来, 随着农村产业结构调整, 新的规模化种植和管理模式下, 亟需研究柑桔全爪螨在不同柑桔产业中的发生规律调查(胡思勤等, 2000;

程晓娜和胡务义, 2014; 向玲和王俊华, 2014), 并为该螨的持续防控和化学农药减量增效提供参考。

同时, 研究表明柑桔全爪螨发生情况的差异主要与气候因子关系密切(李隆术等, 1980), 而温度是影响柑桔全爪螨暴发成灾最主要的气候因子(岳碧松等, 1991, 1992; 张永毅等, 1999)。然而柑桔全爪螨种群可快速适应温度的变化(孙绪良, 1992, 1994; 杨丽红, 2014)从而加剧了全年发生的程度。在新的规模化种植、管理模式和气候条件下, 研究田间害螨对温度的可塑性, 可为害螨成灾和暴发机制的解析提供参考。

因此, 本文以世界重要的柠檬产地, 重庆潼南国家现代农业产业园区柠檬核心种植区为对象, 调查了柑桔全爪螨的发生规律, 并探究了田间柑桔全爪螨对极端温度的可塑性, 旨在为柑桔全爪螨的田间防治提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 调查柠檬园的基本情况

选取重庆市潼南区柏梓镇哑河村柠檬种植

区相邻呈品字状的 3 块柠檬园, 总面积 1 000 hm^2 , 地理坐标为 $30^{\circ}15' \text{N}$, $105^{\circ}75' \text{E}$ 。三块柠檬园中用药情况如表 1 所示。

1.2 柑桔全爪螨发生规律的调查方法

调查起止时间为 2020 年 11 月-2022 年 10 月, 每个柠檬园随机选取 6 棵树, 共选取 18 棵树, 每棵树按东、南、西、北 4 个方位随机选取上部、中部、下部枝条上 6 片大小相同的叶片, 每个地块调查 432 片叶, 共 1 296 片叶, 在放大镜下观察成螨数量及分布情况并记录; 并在 3 个地块中随机选取 30 个叶片, 在体视显微镜下观察柑桔全爪螨卵的数量及分布情况。

1.3 柑桔全爪螨数量动态与主要气候因子相关性分析

气象数据来自国家气象数据网 (<http://data.cma.cn/>)。收集每月平均气温、最高气温、

最低气温、降雨量和空气相对湿度。使用 Spearman 分析主要气候因子与柑桔全爪螨种群数量关系。

1.4 不同温度处理对柑桔全爪螨存活率的影响

制作叶碟: 采集潼南柠檬园中未接触农药的柠檬叶片, 制作叶碟, 叶片背面朝上置于覆盖有滤纸的海绵上, 超纯水润湿后放入直径为 15 cm 的一次性培养皿中。

温度处理: 挑取采集的柑桔全爪螨雌成螨 15 头至叶碟上, 置于低温区 (-6 、 -3 、 0 、 3 、 6 、 9 、 12 和 15°C)、适温区 (25°C) 以及高温区 (38 和 41°C) 恒温箱中处理 24 h, 观察柑桔全爪螨的存活情况(用勾线毛笔尖轻轻触碰雌成螨, 足不动即视为死亡)、产卵情况以及卵的孵化情况(卵完全干瘪即视为不能孵化)。试验设置 3 个生物重复。

具体流程如图 1 所示:

表 1 重庆市潼南区柏梓镇哑河村用药情况

Table 1 Pesticide application in the lemon orchard of Yahe Village, Baizi, Tongnan, Chongqing

柠檬生长周期 Lemon growth cycle	月份 Month	农药使用 Pesticide
春梢萌发 Spring sprout 生长期 Growth period	1-3	哒螨灵 Pyridaben, 乙螨唑 Etoxazole, 苯醚甲环唑 Difenoconazole, 咪鲜胺 Prochloraz, 氯氟菊酯 Cyhalothrin, 吡虫啉 Imidacloprid, 芸苔素 Brassinolide, 糖醇脲 Sorbitol urea
花期 Florescence	3-4	螺螨酯 Spirodifen, 阿维菌素 Avermectin, 哒螨灵 Pyridaben, 氯氟·吡虫啉 Lambda-cyhalothrin-imidacloprid, 苯醚甲环唑 Difenoconazole, 甲托甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl
春果发育 Spring fruit development 夏梢萌发期 Summer sprout	4-5	阿维菌素 Avermectin, 乙螨唑 Etoxazole, 代森锰锌 Mancozeb, 啉氧菌酯 Oxystrobin, 丙环唑 Propiconazole, 芸苔素内酯 Brassinolide, 啉虫脒 Acetamiprid, 叶面肥 Foliar fertilizer
春果成熟 Spring fruits ripening 夏梢生长期 Summer shoots	5-8	哒螨灵 Pyridaben, 联菊·啉虫脒 Bifenthrin·acetamiprid, 啉醚·代森联 Pyraclostrobin·metiram, 污菌·戊唑醇 Trifloxystrobin·tebuconazole, 含氨基酸水溶肥料 Water-soluble fertilizers containing amino-acids
夏果发育 Summer fruit development 秋梢萌发期 Autumn sprout	8-9	无 Not
夏果成熟 Summer fruit ripening 秋梢生长 Autumn shoots 冬梢萌发 Winter sprout 生长期 Growth period	9-12	无 Not

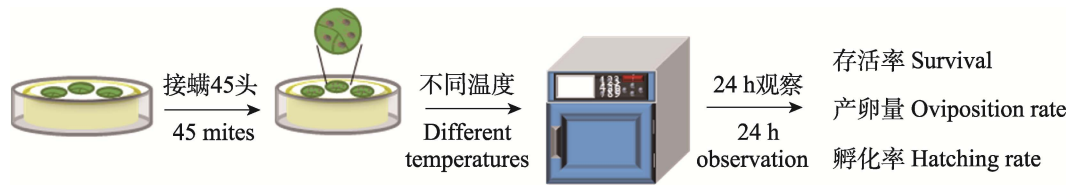


图 1 不同温度处理柑桔全爪螨流程图

Fig. 1 Treatment procedure of *Panonychus citri* under various temperature

1.5 数据分析

数据分析采用 SPSS Statistics 19, 对于符合正态分布的数据, 使用单因素 ANOVA 检验差异分析 (Turkey test) 或使用独立样本 *t* 检验 (Student's *t*-test) 分析显著性, 使用 Pearson 分析相关性; 非正态分布的数据, 则采用 Mann-Whitney 非参数检验分析 (Mann-Whitney test) 或 Kruskal-Wallis 非参数检验分析 (Kruskal-Wallis test) 分析显著性。

2 结果与分析

2.1 柑桔全爪螨种群数量动态

柑桔全爪螨主要是以成螨状态越冬, 随着气温的回升, 越冬成螨开始从老叶、卷叶、树体隐蔽处等出蛰活动。1-2 月温度较低, 越冬成螨取食量低, 基本不造成危害; 随着温度升高, 叶螨开始为害并大量繁殖, 特别是 3-4 月大量成螨从

老叶上转移到新叶上为害, 达到螨口数量高峰, 即第一个盛发期, 数量显著高于其他月份 ($P < 0.05$, 表 3); 随后温度持续上升, 柑桔全爪螨数量逐渐下降, 特别是 7-8 月螨量迅速下降; 9 月温度开始降低, 螨口数量又逐渐恢复, 并在 10-11 月出现第二个盛发期; 随着温度持续降低, 成螨逐渐进入越冬态。2022 年成螨变化趋势与 2021 年基本一致, 2021 年年底螨口基数控制在较低水平, 所以总体呈现下降趋势; 2022 年夏季, 重庆一个月极端高温, 致使后半年的螨口数量较 2021 年低 (表 2, 图 2)。

柑桔全爪螨的卵量变化趋势与成螨相似, 3-4 月份呈上升趋势, 数量达到高峰, 即第一个盛发期, 显著高于其他月份 ($P < 0.05$, 表 3); 随着温度的持续上升, 卵量保持在较低的水平, 而 10-12 月温度降低, 卵量上升, 并进入越冬态。2022 年卵的数量变化趋势与 2021 年基本一致, 但总体呈下降趋势。

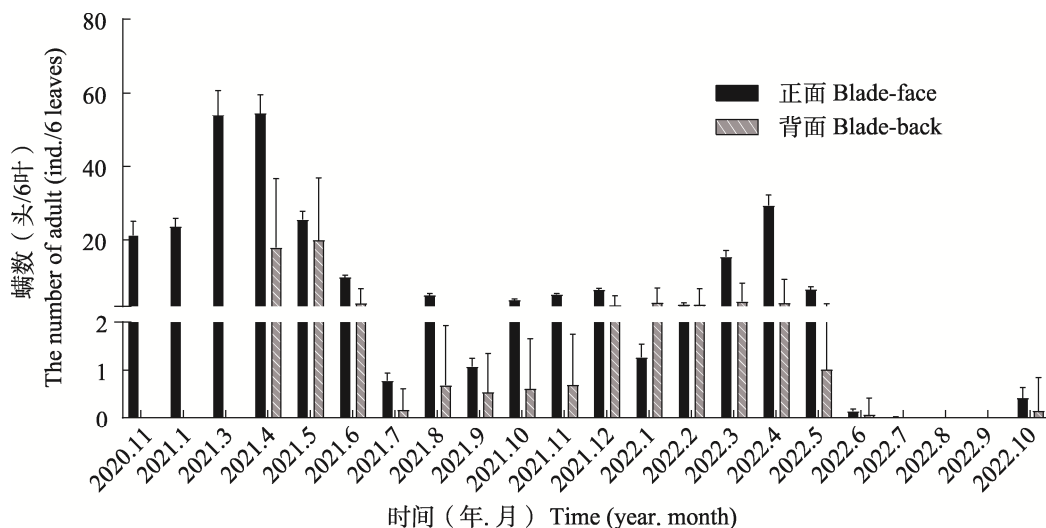


图 2 柑桔全爪螨成螨年度消长动态

Fig. 2 The annual growth and decline dynamics of adults of *Panonychus citri*

表 2 柑桔全爪螨成螨年度消长动态显著性分析统计表

Table 2 Statistical analysis of annual growth and decline dynamics of *Panonychus citri* adults

时间 (年.月) Time (year. month)	平均螨数 (头/6 叶) (正/背) The average number of adult (ind./6 leaves) (blade-face/blade-back)	显著性 Significance
2020.11	21.3±4.5/0	cde
2021.1	23.6±6.2/0	bc
2021.3	54.1±8.2/0	ab
2021.4	54.6±5.5/18.0±6.0	a
2021.5	25.5±4.0/20.0±3.1	ab
2021.6	9.9±2.1/2.9±0.8	cde
2021.7	0.8±0.5/0.2±0.4	h
2021.8	4.9±1.4/0.7±0.3	f
2021.9	1.1±0.5/0.5±0.2	gh
2021.10	3.7±1.3/0.6±0.1	fg
2021.11	5.2±0.8/0.7±0.3	ef
2021.12	6.4±1.7/2.3±1.8	def
2022.1	1.3±0.3/3.0±0.6	fgh
2022.2	2.5±1.0/2.5±0.5	fgh
2022.3	15.4±3.2/3.3±1.3	cde
2022.4	29.4±3.9/3.0±0.9	bc
2022.5	6.6±1.4/1.0±0.4	def
2022.6	0.1±0.5/0.1±0.1	h
2022.7	0.01±0.0/0.0±0.0	h
2022.8	0/0	h
2022.9	0/0	h
2022.10	0.4±0.6/0.2±0.1	h

表中数值为平均值±标准误, 不同小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$, Kruskal-Wallis test)。下表同。

Data are presented as mean±SE, and different letters on the table indicate significant difference ($P < 0.05$, Kruskal-Wallis test). The same below.

2.2 柑桔全爪螨种群空间分布

柑桔全爪螨的卵主要分布于叶片正面, 叶片正面与背面的主脉附近卵量均多于叶片其他部位。2021 年 12 月至 2022 年 2 月期间温度低, 导致柑桔全爪螨的产卵量及卵的孵化率较低, 这一时期, 柑桔全爪螨的卵主要分布于叶片背面, 且数量显著高于 ($P < 0.05$, 表 3) 叶片正面, 这也与该期成螨分布相一致 (表 3, 图 3)。

在柑桔全爪螨的盛发期, 成螨主要在树上部或中部的的新叶上为害, 显著 ($P < 0.05$, 表 3) 高于下部; 随着温度上升, 中下部的成螨数量显著 ($P < 0.05$, 表 3) 高于上部; 秋季时, 温度下降, 农业修剪后树冠上层新梢较少, 成螨主要集中于中下部为害 (表 4, 图 4)。

2.3 柑桔全爪螨数量动态与主要气候因子的相关性分析

柑桔全爪螨的种群数量消长动态与主要气候因子的相关性分析如表 5 所示, 柑桔全爪螨种群数量与平均气温、最高气温、最低气温、降水量和日照时数均呈负相关, 与相对湿度呈正相关; 温度相关性较日照时数显著 ($P < 0.01$, 表 5), 降水量和相对湿度相关性不显著 ($P > 0.05$, 表 5)。由此可知, 温度是柑桔全爪螨发生数量的关键气候因子, 除平均温度外, 极端高温和低温对柑桔全爪螨种群数量的影响较大。

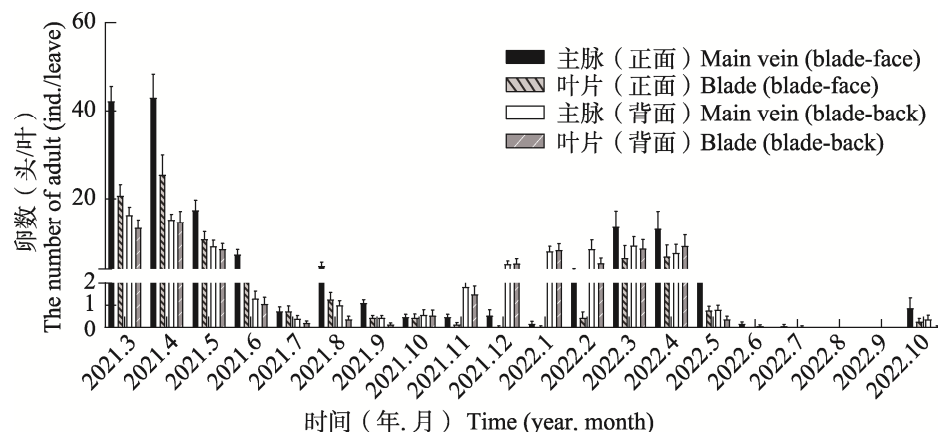


图 3 柑桔全爪螨卵年度消长动态

Fig. 3 The annual growth and decline dynamics of eggs of *Panonychus citri*

表 3 柑桔全爪螨卵年度消长动态显著性分析统计表
Table 3 Statistical analysis of annual growth and decline dynamics of eggs of *Panonychus citri*

时间 (年.月) Time (year. month)	平均卵量/叶 (正/背) The average number of egg per leaf (blade-face/ blade-back)	显著性 Significance
2021.3	63.0±8.3/29.7±5.3	a
2021.4	68.5±7.3/30.1±6.1	a
2021.5	28.2±7.9/17.7±5.0	ab
2021.6	10.2±5.3/2.4±1.3	b
2021.7	1.5±0.9/0.6±0.3	d
2021.8	6.0±2.3/1.4±0.4	bcd
2021.9	1.5±0.8/0.6±0.3	d
2021.10	0.9±0.5/1.1±0.7	d
2021.11	0.6±0.3/3.3±1.3	cd
2021.12	0.6±0.3/10.3±2.7	bc
2022.1	0.2±0.1/16.3±5.0	bc
2022.2	3.0±1.7/13.8±0.78	bc
2022.3	20.1±5.9/18.0±3.3	b
2022.4	19.9±4.9/16.9±3.9	b
2022.5	3.3±1.6/1.1±0.6	cd
2022.6	0.2±0.1/0.07±0.02	d
2022.7	0.1±0 /0.0±0.0	d
2022.8	0	d
2022.9	0	d
2022.10	1.1±0.5/0.4±0.2	d

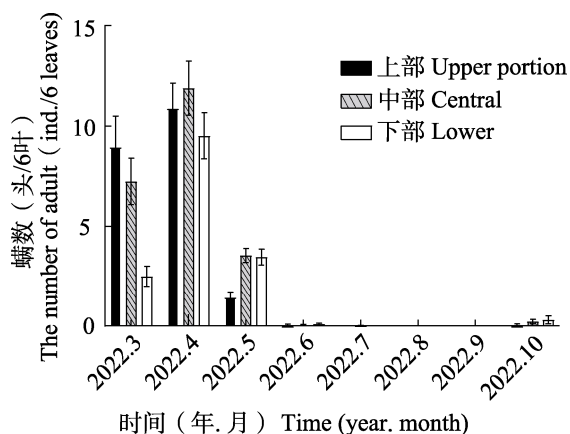


图 4 柑桔全爪螨成螨的空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of adult of *Panonychus citri*

表 4 柑桔全爪螨成螨空间统计表
Table 4 The spatial distribution of adult of *Panonychus citri*

时间(年.月) Time (year. month)	分布 Distribution	平均螨数/6 叶 The average number of adult/6 leaves (blade-face/ blade-back)	显著性 Signifi- cance
2022.3	上部 Upper portion	9.0±3.3	b
	中部 Central	7.2±2.1	b
	下部 Lower	2.5±1.3	d
2022.4	上部 Upper portion	10.9±2.4	ab
	中部 Central	11.9±3.9	a
	下部 Lower	9.5±4.1	ab
2022.5	上部 Upper portion	1.5±0.6	d
	中部 Central	3.5±1.0	bc
	下部 Lower	3.5±1.8	bc
2022.6	上部 Upper portion	0.1±0.0	e
	中部 Central	0.1±0.01	e
	下部 Lower	0.1±0.02	e
2022.7	上部 Upper portion	0	e
	中部 Central	0	e
	下部 Lower	0	e
2022.8	上部 Upper portion	0	e
	中部 Central	0	e
	下部 Lower	0	e
2022.9	上部 Upper portion	0	e
	中部 Central	0	e
	下部 Lower	0	e
2022.10	上部 Upper portion	0.1±0.0	e
	中部 Central	0.2±0.1	e
	下部 Lower	0.3±0.2	e

2.4 田间不同季节的柑桔全爪螨对极端温度胁迫的耐受性

在柑桔全爪螨存活率方面，如图 5（A-C）所示，不同季节采集的柑桔全爪螨，在低于 0℃ 时均不能存活；0℃ 时，冬季螨的存活率为 96%，春季螨存活率为 93%，而夏季螨的存活率仅有

表 5 柑桔全爪螨消长动态与主要气象因子的相关分析
Table 5 Correlation analysis between growth and growth dynamics of *Panonychus citri* and main meteorological factors

参数 Parameters	平均气温 Mean temperature	最高气温 Maximum temperature	最低气温 Minimum temperature	降水量 Precipitation	日照时数 Sunshine hours	相对湿度 Relative humidity
最高气温 Maximum temperature	0.962**					
最低气温 Minimum temperature	0.966**	0.949**				
降水量 Precipitation	0.547**	0.477*	0.569**			
日照时数 Sunshine hours	0.846**	0.782**	0.781**	0.471*		
相对湿度 Relative humidity	- 0.543**	- 0.524*	- 0.475*	- 0.11	- 0.745**	
总螨数 Total mites	- 0.533*	- 0.544**	- 0.549**	- 0.076	- 0.448*	0.402

*表示在 0.05 水平上显著相关, **表示在 0.01 水平上显著相关 (Pearson 检验)。
* indicates significantly correlated at the level of 0.05 and ** indicate significantly correlated at 0.01 level (Pearson test).

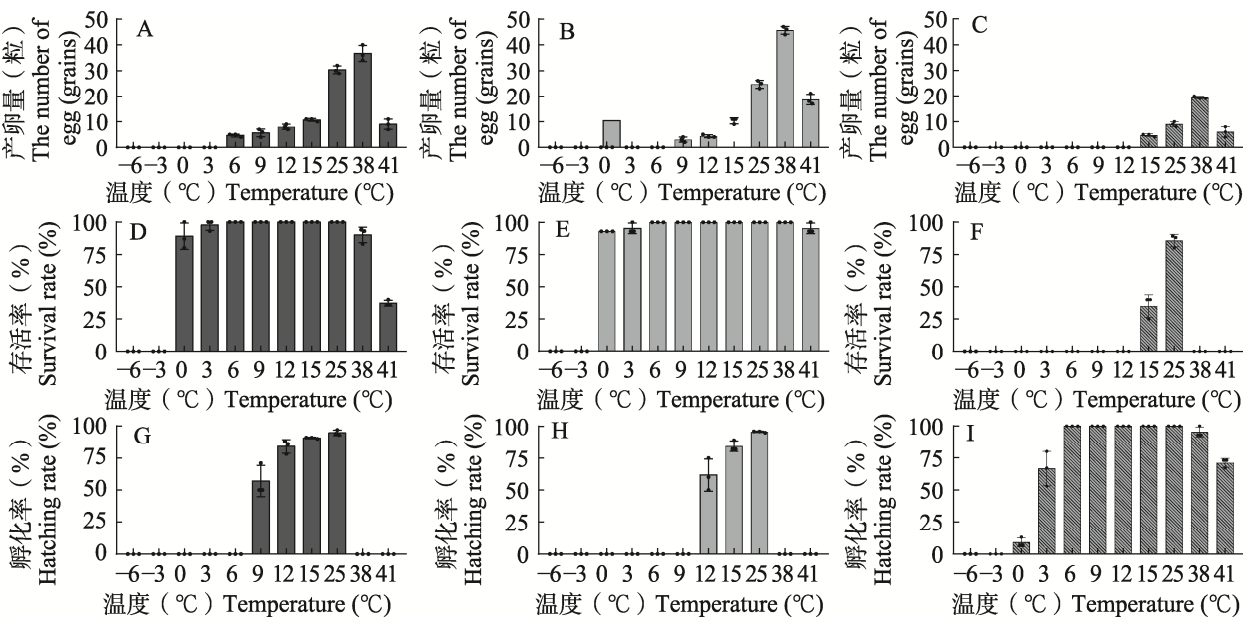


图 5 温度处理对不同季节采集的柑桔全爪螨的影响
Fig. 5 Various temperature treatments induced effects to *Panonychus citri* collected from different seasons

A, D 和 G 为冬季螨; B, E 和 H 为春季螨; C, F 和 I 为夏季螨;
A, B 和 C 为产卵量; D, E 和 F 为存活率; G, H 和 I 为卵孵化率。
A, D and G represent the winter mite; B, E and H represent the spring mite; C, F and I represent the summer mite;
A, B and C represent number of eggs; D, E and F represent survival rate; G, H and I represent hatching rate of eggs.

9%; 25 ℃时, 不同季节的螨存活率均达到了 100%; 38 ℃时, 冬季螨、春季螨和夏季螨的存活率分别为 91%、100%和 96%; 而高温 41 ℃时, 冬季螨的存活率仅为 38%, 春季螨和夏季螨的存活率为 96%和 71%。由此可见, 春季螨较冬季和夏季采集螨, 耐高、低温胁迫的能力更强,

夏季螨的耐高温的能力更强,冬季螨耐低温的能力更强。

在柑桔全爪螨产卵量方面,如图 5(D-F)所示,低于 6 °C 时,所有季节采集的螨均不能产卵;6 °C 时,冬季螨 45 头共产卵 14 粒,而春季和夏季的螨均不能产卵;9 °C 时,春季螨开始产卵,45 头螨产卵 9 粒;夏季螨在 15 °C 时开始产卵,45 头螨产卵 10 粒;25 °C 时,45 头冬季螨、春季螨和夏季螨的产卵量分别是 91、74 和 26 粒;春季螨在 38 °C 和 41 °C 条件下分别产卵 137 和 56 粒,产卵均多于其他两个季节采集的螨。在 38 °C 下,3 个季节采集的螨产卵量均最多。总体而言,相比于其他季节采集的螨,春季螨的生殖力更强。

在柑桔全爪螨卵的孵化率方面,如图 5(G-I)所示,冬季螨在 9 °C 时开始孵化,孵化率为 59%;春季螨在 12 °C 时开始孵化,孵化率为 62%;夏季螨 15 °C 时开始孵化,孵化率为 40%;25 °C 下,冬季螨、春季螨和夏季螨的孵化率分别为 95%、96% 和 85%,于其他温度处理;而在高温 38 和 41 °C 下,均不能孵化。以上结果表明,高低温对柑桔全爪螨卵的孵化影响较大。

3 结论与讨论

重庆市潼南区地处 30° N,年平均气温 17 °C,热量丰富、雨量充沛,适宜柠檬生长,是世界三大柠檬产地之一(梅子, 2022)。规模化种植导致柠檬品种均一化、田间作物单一化导致农业景观格局均质化和破碎化逐年加剧,农业生态系统稳定性与田间生物多样性下降,引起天敌昆虫的转移与扩散(Zheng, 2007; 林世滔等, 2017; Campbell *et al.*, 2022),进而影响果园害虫的发生规律和暴发成灾过程。同时,随着近年来高温等极端天气的增多,气候变化速度,快变化幅度大。(Lloret *et al.*, 2012),导致害虫发生规律也发生了新的变化(梁菲菲, 2017)。本研究调查发现柠檬园中柑桔全爪螨在 3-4 月和 9-11 月出现 2 次盛发期。根据种群动态规律,可在发生盛期前施药,将害螨种群数量控制在较低的水

平。同时,柑桔全爪螨冬春季主要集中分布在树中上部为害,夏秋季主要集中分布在树中下部为害,这表明害螨可根据季节变化调整自身的空间分布。春冬季气温较低且柠檬处于春梢期,害螨更偏向于取食嫩叶,在树中上部危害;夏秋季节温度升高,害螨会躲避阳光直射从而转移至中下部危害。因此,根据柑桔全爪螨的种群空间分布进行精准施药,春季时,施药重点在树冠,夏秋季时,可将施药重点在树的中下部。

重庆地区柠檬主产区的夏季温度常高达 35 °C 以上,冬季温度又常逼近 0 °C,而柑橘全爪螨发育和繁殖的适宜温度为 20-28 °C,当温度超过 30 °C 时,螨的死亡率开始增加。3-4 月和 9-11 月是柠檬春梢、秋梢时期,温度适宜且嫩叶发出,为柑桔全爪螨的发生提供了良好的环境(马礼华等, 2016)。然而,当 6-8 月温度 >40 °C, 12-1 月温度接近 0 °C 时,柑桔全爪螨的种群发展受到严重抑制。通过 2020 年 11 月-2022 年 10 月定点调查与主要气象因子分析,虽然平均温度和极端温度对柑桔全爪螨的种群发生影响很大,且有大量研究表明昆虫和螨类作为变温动物,对温度变化极为敏感,高温环境可使其存活率下降、寿命缩短以及生殖力下降甚至消失(陈瑜和马春森, 2010; Mironidis *et al.*, 2010),但本研究发现,不同季节的害螨对温度适应性表现出很强的可塑性。其中,春季螨在存活、产卵以及卵孵化方面的可塑性最强,夏冬季螨则分别对高低温有较强的耐受性,这可能与柑桔全爪螨种群可快速适应温度的变化有关(孙绪良, 1992, 1994; 杨丽红, 2014)。同时研究表明,柑橘全爪螨在低温胁迫下,抗氧化酶活性增强,热激蛋白表达量增加(杨丽红, 2014);而在高温胁迫下通过调整免疫调节途径或一些酶类来应对逆境胁迫,包括热激蛋白的上调表达以及过氧化氢酶、超氧化物歧化酶、过氧化物酶和谷胱甘肽 S-转移酶等抗氧化酶含量的变化来适应季节高温变化(王常清等, 2021)。同时,本研究为柑桔全爪螨温度可塑性与新栽培管理模式下发生提供理论依据,但柑桔全爪螨对极端温度适应的可塑性机制,尚

需进一步地深入研究。

参考文献 (References)

- Campbell JW, Milne M, Dinh BT, Daniels JC, Ellis JD, 2020. Spider (Araneae) abundance and species richness comparison between native wildflower plantings and fallow controls in intensively managed agricultural areas. *Arthropod-Plant Interactions*, 14(2): 263–274.
- Chen Y, Ma CS, 2010. Research progress on the effects of climate warming on insects. *Acta Ecologica Sinica*, 30(8): 2159–2172. [陈瑜, 马春森, 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 30(8): 2159–2172.]
- Cheng XN, Hu WY, 2014. A preliminary study on the occurrence rule and control technology of *Panonychus citri* (red spider). *Agricultural Development and Equipment*, 2014(12): 135–136. [程晓娜, 胡务义, 2014. 柑桔全爪螨(红蜘蛛)发生规律及防治技术研究初报. 农业开发与装备, 2014(12): 135–136.]
- Gan ZY, Wang ST, 1994. Population dynamics of citrus red mite (*Panonychus citri*) and its natural enemies in Xianning area. *Journal of Ecology*, 13(1): 9–12, 20. [甘宗义, 王盛桃, 1994. 咸宁地区桔全爪螨与天敌种群动态的初步研究. 生态学杂志, 13(1): 9–12, 20.]
- Hu SQ, Xu B, Gan M, Wu F, Zhu XD, Hu SH, Zhu XC, 2000. Investigation on dynamics of populatin of mites from varieties of citrus orchards of different areas in Jiangxi. *Journal of Nanchang University: Science Edition*, 24(1): 4. [胡思勤, 徐波, 甘明, 吴非, 朱晓东, 胡世海, 朱学春, 2000. 江西不同品种柑桔园螨类自然种群消长动态调查. 南昌大学学报: 理科版, 24(1): 4.]
- Huang LL, Zhang GC, Wang DW, Yu ZR, 1964. Study on occurrence and control of *Panonychus citri* (McGregor). *Entomological Knowledge*, 8(6): 28–32. [黄良炉, 张格成, 王代武, 余志仁, 1964. 柑桔红蜘蛛发生规律及其防治研究. 昆虫知识, 8(6): 28–32.]
- Li DY, He YF, 1993. Investigation on damage of major pests of citrus in the middle area of Guizhou. *Guizhou Agricultural Science*, 21(4): 20–22. [李德友, 何永福, 1993. 黔中地区柑桔主要害虫为害情况调查. 贵州农业科学, 21(4): 20–22.]
- Li LS, Zhu WB, Hu GW, 1980. A preliminary study of the bionomics of citrus red mite *Panonychus citri* (McGregor). *Journal of Plant Protection*, 7(1): 17–26. [李隆术, 朱文炳, 胡国文, 1980. 桔全爪螨发生规律的初步研究. 植物保护学报, 7(1): 17–26.]
- Li RL, Li GH, Xu ZP, 1986. Investigation on the overwintering entomic stages of *Panonychus citri* and its short-term forecast. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 8(2): 57–60. [李仁烈, 李广宏, 许子平, 1986. 柑桔全爪螨越冬虫态调查及短期预测. 江西农业大学学报, 8(2): 57–60.]
- Liang FF, 2017. Effects of short-term high temperature exposure on the biological characteristics and antioxidant enzyme activities of *Spodoptera exigua*. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [梁菲菲, 2017. 短时高温暴露对二点委夜蛾生物学特性及体内抗氧化酶活性的影响. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Lin ST, Xie DB, Liu YL, Chen WB, 2017. Research on the relationship between landscape pattern characteristics and regional biodiversity. *Ecology and Environmental Sciences*, 26(10): 1681–1688. [林世滔, 谢弟炳, 刘郁林, 陈文波, 2017. 景观格局特征与区域生物多样性的关系研究. 生态环境学报, 26(10): 1681–1688.]
- Lloret F, Escudero A, Iriondo JM, Martínez-Vilalta J, Valladares F, 2012. Extreme climatic events and vegetation: The role of stabilizing processes. *Global Change Biology*, 18(3): 797–805.
- Ma LH, Chen YQ, Xia L, 2016. Occurrence and control of *Panonychus citri* (McGregor). *Agricultural Technology Service*, 33(7): 65. [马礼华, 陈阳琴, 夏莉, 2016. 柑桔全爪螨的发生与防治. 农技服务, 33(7): 65.]
- Mei Z, 2022. Development path of lemon industry in Chongqing Tongnan. *China's National Conditions and National Strength*, 2020(7): 72–73. [梅子, 2022. 重庆潼南柠檬产业发展路径探析. 中国国情国力, 2020(7): 72–73.]
- Mironidis GK, Savopoulou-Soultani M, 2010. Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. *Journal of Thermal Biology*, 35(2): 59–69.
- Sun XG, 1992. Differences and similarities between diapause and non-diapause of *Panonychus citri*. *Entomological Knowledge*, 29(2): 94–96. [孙绪良, 1992. 柑桔全爪螨滞育性与非滞育性的异同. 昆虫知识, 29(2): 94–96.]
- Sun XG, Zhou CG, Liu YM, Zhang XD, 1994. Progress in studying leaf mites diapause. *Journal of Shandong Agricultural University*, 25(4): 496–500. [孙绪良, 周成刚, 刘玉美, 张小娣, 1994. 叶螨滞育的研究进展. 山东农业大学学报, 25(4): 496–500.]
- Wang CQ, Han YJ, Cao JG, Zang J, Sang SQ, 2021. Physiological response of female adult mites to high temperature stress. *Journal of Environmental Entomology*, 2021(1): 181–190. [王常清, 韩永金, 曹进刚, 张洁, 尚素琴, 2021. 二斑叶螨雌成螨对高温胁迫的生理响应. 环境昆虫学报, 2021(1): 181–190.]

- Xiang L, Wang JH, 2014. A preliminary study on the population dynamics of *Panonychus citri* (McGregor) in Baojing County. *Hunan Agricultural Sciences*, 2014(12): 50–51, 59. [向玲, 王建华, 2014. 保靖县柑桔红蜘蛛种群动态的初步研究. 湖南农业科学, 2014(12): 50–51, 59.]
- Xuan JY, Xin KB, Zhou JH, Wei YJ, Zhao L, 1988. Dynamic observation of the growth and decline of *C. tangerine* on Wenzhou mandarins. *Journal of Southwest Agricultural University*, 10(2): 238–239. [轩静渊, 辛开斌, 周建华, 魏玉阶, 赵玲, 1988. 桔全爪螨在温州蜜桔上的消长动态观察. 西南农业大学学报, 10(2): 238–239.]
- Yang LH, Huang H, Wang JJ, 2014. Effect of exposure to heat stress on survival and fecundity of *Panonychus citri*. *Chinese Agricultural Sciences*, 47(4): 693–701. [杨丽红, 黄海, 王进军, 2014. 高温胁迫对柑桔全爪螨存活及生殖的影响. 中国农业科学, 47(4): 693–701.]
- Yue BS, Lei HD, Huang LL, 1991. Study on fecundity of *Panonychus citri*. *Journal of Plant Protection*, 18(1): 28–34. [岳碧松, 雷慧德, 黄良炉, 1991. 桔全爪螨生殖力研究. 植物保护学报, 18(1): 28–34.]
- Yue BS, Lei HD, Huang LL, 1992. Effects of temperature on the growth and development of *Panonychus citri*. *Journal of Plant Protection*, 18(3): 6–7. [岳碧松, 雷慧德, 黄良炉, 1992. 温度对桔全爪螨生长发育的影响研究. 植物保护学报, 18(3): 6–7.]
- Zhang YY, Wu SY, Zhao ZM, Wang JJ, Deng XP, 1999. The relationship between the occurrence peak of *Panonychus citri* (McGregor) in spring and the climatic factors. *Entomological Knowledge*, 36(5): 283–285. [张永毅, 吴仕源, 赵志模, 王进军, 邓新平, 1999. 橘全爪螨春季高峰发生程度与气象因素的关系. 昆虫知识, 36(5): 283–285.]
- Zheng CL, 2007. Studies on the host specificity and formation machanism of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover. Master dissertation. Nanjing Agricultural University. [郑彩玲, 2007. 棉蚜寄主专化性及其形成机制的研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Zheng LS, 1992. Occurrence and control of *C. citrus* in Huangshan. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 20(1): 84–86. [郑六三, 1992. 黄山地区柑桔全爪螨发生规律及其防治. 安徽农业科学, 20(1): 84–86.]