

张柳红, 张羽, 柳晔, 向淳, 陈达强. 2024年广东省中晚熟荔枝成花差异气候成因分析 [J]. 广东农业科学, 2025, 52 (1): 95–107.

ZHANG Liuhong, ZHANG Yu, LIU Ye, XIANG Ting, CHEN Daqiang. Analysis on the climatic causes of the differences in floral formation of mid-late maturing litchi in Guangdong Province in 2024 [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2025, 52 (1): 95–107.

2024年广东省中晚熟荔枝成花差异气候成因分析

张柳红¹, 张羽¹, 柳晔¹, 向淳², 陈达强¹

(1. 广东省气候中心, 广东 广州 510641; 2. 湛江市气象局, 广东 湛江 524499)

摘要:【目的】荔枝成花与否是决定荔枝产量高低的关键环节。2024年广东省荔枝产区中晚熟荔枝出现花质差、少花甚至无花的现象, 导致荔枝产量出现超级小年。探明气候条件对中晚熟荔枝成花的影响和制约作用, 可为荔枝生产有效规避风险提供科学依据, 推动荔枝产业在复杂多变的气候环境下实现可持续发展。【方法】利用2023年11月至2024年2月广东省6个国家气象站逐日观测资料和荔枝成花率数据, 从气温、光照、水分3个方面分析广东省粤西廉江和高州、珠三角增城和东莞、粤东惠来和饶平共6个典型荔枝产区中晚熟荔枝花芽分化期气候条件, 对比分析其成花率差别与气候条件的关系。【结果】在广东省中晚熟荔枝成花关键期, 典型荔枝产区出现气温偏高且变率大、低温迟且间隔长、热积累量过高、日照偏少且寡照突出、成花后期降水不足等情况, 导致荔枝无花少花。6个典型荔枝产区水分条件总体差别不大, 但温度和光照条件差异明显, 表明温光条件对2024年广东省中晚熟荔枝无花少花的制约大于水分条件。饶平‘桂味’‘糯米糍’等传统优质中晚熟荔枝成花率超7成, 其余区域不足2成, 与其气候条件较好有关。具体指标为日平均气温低于19.0℃的天数最多、达92 d, 日平均气温低于14.0℃的天数次多、为30 d, 日最高气温高于25.0℃的天数最少、仅29 d, 极端低温3.0~4.0℃且持续不超过3 d, 日最低气温高于22.0℃的热积累量最少、仅22.2℃, 日照时数较近5年同期偏多、占2成以上, 且寡照天气最少、仅13 d, 12月下旬至次年1月下旬降水量少于15 mm、2月上旬和中旬降水量超过15 mm。未来在开展荔枝产量与气候条件的关系研究、荔枝果园生产管理等工作时可考虑上述因素。同等气候条件下, 东莞、惠来等地‘桂味’‘糯米糍’等需冷量高的品种成花率不足2成, 而‘观音绿’‘岭丰糯’等需冷量较低品种可达5成以上。【结论】温光条件是制约广东省中晚熟荔枝花芽分化的主导气候因子, 全球气候变暖大背景下, 暖冬、持续阴雨寡照等灾害不容忽视, 建议荔农适时调整种植品种, 助力荔枝产业持续、高质量发展。

关键词: 荔枝; 花芽分化; 中晚熟; 气温; 光照; 水分; 广东

中图分类号: S667.1; P49

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2025) 01-0095-13

Analysis on the Climatic Causes of the Differences in Floral Formation of Mid-late Maturing Litchi in Guangdong Province in 2024

ZHANG Liuhong¹, ZHANG Yu¹, LIU Ye¹, XIANG Ting², CHEN Daqiang¹

(1. Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510641, China;

2. Zhanjiang Meteorological Service, Zhanjiang 524499, China)

Abstract: 【Objective】Whether the litchi trees form flowers is a key determinant of litchi yield. In 2024, in the litchi-

收稿日期: 2024-10-25

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金气象联合基金 (2024A1515510034); 广东省气象局科技项目 (GRMC2023M15); 广东省气候中心科研项目 (QH202413)

作者简介: 张柳红 (1991—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为农业气象, E-mail: 838012150@qq.com

通信作者: 张羽 (1968—), 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向为应用气象, E-mail: 2497409093@qq.com

producing areas of Guangdong Province, phenomena such as poor flower quality, reduced flowers or even complete absence of blossoms occurred in mid-late maturing litchi, resulting in an extremely low-yield year for litchi, marking a “super off-year” for lychee production. Exploring the influence and restriction of climate condition on the floral initiation of mid-late maturing litchi can furnish a scientific basis for effectively circumventing risks in litchi production, thereby promoting the sustainable development of litchi industry within the context of a complex and changeable climate environment. 【Method】The daily observation data from six national meteorological stations in Guangdong Province from November 2023 to February 2024 and the data on the floral formation rate of litchi were used in this study. The climate conditions during the flower differentiation period of mid-late maturing litchi in six typical regions in the litchi-producing areas of Guangdong Province, namely, Lianjiang and Gaozhou in western Guangdong, Zengcheng and Dongguan in the Pearl River Delta, and Huilai and Raoping in eastern Guangdong, were analyzed from three aspects: temperature, sunlight, and moisture. The relationship between the differences in the floral formation rate of litchi and the climate conditions was compared and analyzed. 【Result】During the critical period for the floral formation of mid-late maturing litchi in the litchi-producing areas of Guangdong Province, there were situations such as relatively high temperatures with large variability, late occurrence of low temperatures and long intervals between them, excessive accumulated heat, less sunlight with prominent periods of low light intensity, and insufficient precipitation in the later stage of floral formation, which led to few or no flowers on litchi. There was generally little difference in moisture conditions, but significant differences in temperature and sunlight conditions in the six typical regions, indicating that temperature and sunlight conditions had a greater restrictive effect on the few or no flowers of mid-late maturing litchi in Guangdong Province in 2024 compared with moisture conditions. The traditional high-quality mid-late maturing litchi varieties such as ‘Guiwei’ and ‘Nuomici’ in Raoping had a floral formation rate of over 70%, while it was less than 20% in the other regions. This was related to the relatively good climate conditions in Raoping. The specific indicators were as follows: the maximum number of days with an average daily temperature below 19.0℃ was 92 days, the second highest number of days with an average daily temperature below 14.0℃ was 30 days, the minimum number of days with the maximum daily temperature $\geq 25.0^{\circ}\text{C}$ was only 29 days, the extremely low temperature was 3.0–4.0℃ and lasted for no more than 3 days, the amount of heat accumulation at hot day with the minimum daily temperature $\geq 22^{\circ}\text{C}$ was only 22.2℃, the sunshine hours were over 20% higher than those in the same period of the past five years and the minimum number of days with a daily cumulative sunshine hours ≤ 2 h was only 13 days, and the precipitation from late December 2023 to late January 2024 was less than 15 mm while the precipitation in early and mid-February 2024 exceeded 15 mm. In the future, the above factors can be considered in the study of the relationship between litchi yield and climate conditions, and the production management of litchi orchards. Under the same climate conditions, the floral formation rate of varieties with high chilling requirements such as ‘Guiwei’ and ‘Nuomici’ in Dongguan and Huilai was less than 20%, while that of varieties with lower chilling requirements such as ‘Guanyinlv’ and ‘Lingfengnuo’ reached more than 50%. 【Conclusion】Temperature and sunlight conditions are the dominant climatic factors that restrict the floral differentiation of mid-late maturing litchi in Guangdong Province. Against the backdrop of global warming, disasters such as warm winters, continuous overcast and rainy conditions with insufficient sunlight should not be overlooked. It is recommended that litchi farmers adjust the planted varieties in a timely manner, thereby promoting the sustainable and high-quality development of the litchi industry.

Key words: *Litchi chinensis* Sonn.; floral differentiation; mid-late maturing; temperature; sunshine; precipitation; Guangdong

【研究意义】荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 起源于我国, 2024 年我国荔枝面积 52.3 万 hm^2 、产量 178.1 万 t, 均居世界首位。目前其主要分布在广东、广西、海南、福建、云南、四川等地, 已成为民生作物和特色经济作物, 研究气候条件对荔枝生产的影响具有重要意义^[1]。荔枝是典型的南亚热带果树, 也是唯一树龄能达上千年的

水果类型, 其产量“大小年”现象在所有水果中最为明显, 备受学界关注^[2-3]。【前人研究进展】造成荔枝“大小年”的原因较多, 主要为无花少花、花而不实或落果掉果, 除涉及品种特性、树势强弱、栽培管理水平、病虫害情况、土壤条件等因素外, 尤其与气候条件密切相关^[3-29]。“冬寒春早迟花, 荔枝丰收; 冬暖春雨早花, 荔枝歉

收”,冬季低温、适度干旱和阳光充足等适宜的气候条件能够促进荔枝成花,为丰产奠定基础;而暖冬、降水过多等不利的气候条件则可能导致荔枝成花不良,进而引发荔枝产量大幅波动,出现“大小年”情况。

荔枝“大小年”现象因品种而不同,中、晚熟品种较早熟品种更为明显,主要原因是中、晚熟荔枝成花所需低温要求高,大年结果后树体营养消耗较多、树体恢复慢,再叠加中晚熟荔枝采收时间晚、培养秋梢结果母枝的时间较短,导致中晚熟荔枝“小年”成花难^[16]。2018—2019年、2023—2024年是荔枝产量“大小年”的典型年份^[14,30-31],其中2024年是广东省荔枝产量的“超级小年”,全省荔枝减产幅度超5成,“小年无果卖”的现象尤为突出。此次减产主要由中晚熟荔枝品种少花、花质差甚至无花的现象所致,而在诸多影响因素中,气候影响是主因^[14,32]。因此占据主导地位的气候因素及各地情况的区别值得深入分析。

【本研究切入点】随着全球气候变暖趋势加重,荔枝“大小年”现象有增无减,荔枝生产的不确定性和风险持续加大,已成为制约荔枝产业健康发展的主要瓶颈^[30,33-34],亟需探明全球气候变化下荔枝“大小年”结果的综合形成机制。广东省荔枝种植面积稳定在26.7万hm²左右,种植面积和产量均超过全国的1/2、全球的1/3,荔枝种植遍及97个县(市、区),已成为广东水果业及农业的支柱产业,经济效益和社会效益显著。研究气候条件对广东省荔枝生产的影响,对全国乃至全球荔枝产业的持续、高质量发展举足轻重。【拟解决的关键问题】本文从气候条件角度出发,分析2024年广东省中晚熟荔枝无花少花的成因,可为未来荔枝生产向天而作、趋利避害,从而减少“大小年”结果现象提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 气象资料和统计标准

本研究应用了广东省国家气象观测站2023年11月至2024年2月逐日气温、日照时数、降水等气象资料,来源于广东省气候中心。根据广

东省不同荔枝产区分布情况,选取粤西湛江的廉江和茂名的高州、珠三角东莞和广州的增城、粤东揭阳的惠来和潮州的饶平为典型区域,采用对应的6个国家气象观测站作为代表站点进行资料分析,代表站点详见表1。

根据广东省强冷空气和寒潮业务服务规定^[35],寒潮统计指标为:日平均气温24h内下降8.0℃及以上或48h内下降10.0℃及以上,同时过程最低气温降至5.0℃及以下。出现下述其中一种情形即称为强冷空气:日平均气温24h内下降8.0℃及以上或48h内下降10.0℃及以上,但过程最低气温未能降至5.0℃及以下;日平均气温24h内下降6.0~7.9℃或48h内下降8.0~9.9℃,同时过程最低气温降至7.0℃及以下。

1.2 荔枝成花情况调查资料

根据国家荔枝龙眼产业技术体系和广东省现代农业产业技术体系荔枝创新团队调研汇报资料,广东省荔枝产区典型区域特早熟和早熟荔枝成花相对正常,但中晚熟荔枝出现少花、花质差甚至无花的现象(表1),尤其是‘桂味’‘糯米糍’等传统中晚熟荔枝品种预测成花率极低,其中粤西普遍低于10%,珠三角低于20%,粤东相对较好,部分区域可达70%。

2 结果与分析

2.1 荔枝成花期气候条件

荔枝成花一般在冬季低温阶段完成,是树体从营养生长向生殖生长过渡的关键时点,也是决定翌年成花质量、能否开花挂果,进而形成产量和经济效益的关键。花芽分化形成的时期因品种、地区、结果母枝成熟的迟早而有差异。对于‘桂味’‘糯米糍’‘仙进奉’等中晚熟荔枝品种而言,每年11月至次年2月是花芽分化的关键时期。因此,对气温、光照、降水等气候因素的分析时段统一为2023年11月至2024年2月,研究典型区域温、光、水条件与近5年(2019—2023年)同期平均值对比情况详见表2。由表2可知,典型区域荔枝成花期平均气温16.5~18.4℃,除饶平较近5年同期偏低0.4℃外,其余地区与近5年同期持平或略偏高0.1~0.3℃;累积日照时数方面,饶平达887.6h,较近5年同期偏多20%,其余

表 1 广东省荔枝产区典型区域气象代表站点和中晚熟荔枝成花情况

Table 1 Representative meteorological stations and floral formation status of mid-late maturing litchi in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province

产区 Producing area	典型区域 Typical area	气象代表站点 (站号) Representative meteorological station (station number)		中晚熟荔枝主要品种 Main variety of mid-late maturing litchi	预测成花率 Predicted floral formation rate (%)
粤西 Western Guangdong	湛江	廉江 (59654)		桂味、糯米糍、仙进奉	≤ 10
				黑叶	≤ 30
珠三角 The Pearl River Delta	茂名	高州 (59653)		桂味、糯米糍、仙进奉	≤ 10
				黑叶	≤ 20
	广州	增城 (59294)		桂味、糯米糍、仙进奉、北园绿、挂绿	≤ 10
				黑叶	≤ 20
东莞	东莞 (59289)		桂味、糯米糍、仙进奉、北园绿、挂绿 观音绿、冰荔、御金球	≤ 20 ≥ 50	
粤东 Eastern Guangdong	揭阳	惠来 (59317)		桂味、糯米糍、 仙进奉、红胞糯、岭丰糯、井岗红糯	≤ 20 ≥ 60
		潮州		饶平 (59313)	桂味、糯米糍、玲珑

表 2 广东省荔枝产区典型区域气候条件统计情况

Table 2 Statistics on climate conditions in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province

站点 Station	气温 Temperature (°C)		日照时数 Sunshine hour		降水量 Precipitation	
	平均值	距平	累积值	距平百分率	累积值	距平百分率
	Average	Anomaly	Cumulative value (h)	Percentage of anomaly (%)	Cumulative value (mm)	Percentage of anomaly (%)
59654	18.4	0.0	446.2	-13.9	69.1	-47.6
59653	18.3	0.1	505.4	-13.6	54.2	-61.6
59294	16.9	0.3	604.9	-3.7	86.2	-48.8
59289	18.2	0.3	591.7	-5.0	65.7	-60.1
59317	18.0	0.3	693.7	-0.9	27.4	-77.5
59313	16.5	-0.4	887.6	21.3	33.1	-75.7

地区不足 700.0 h, 均较近 5 年同期偏少, 其中廉江和高州分别偏少 13.9% 和 13.6%, 增城、东莞、惠来略偏少 0.9%~5.0%; 累积降水量 27.4~86.2 mm, 均比近 5 年同期偏少 50%~80%。

2.2 荔枝成花期气温条件分析

2.2.1 平均气温分析

荔枝生长对气温条件要求严格, 在荔枝成花阶段, 适宜的气温至关重要, 特别是对于中晚熟荔枝品种的花芽分化。前人研究指出, 日平均气温 11.0~14.0 °C 利于形成有经济价值的花穗; 14.0 °C 以上花穗发育不良而利于小叶发育; 18.0~19.0 °C 条件下虽可形成带叶小花穗, 但极少能结果, 无经济价

值; 高于 19.0 °C 时小叶生长旺盛但花的原始体消失, 不再发育成花穗。因此, 19.0 °C 是中晚熟荔枝品种能否成花的临界温度^[25,27-28]。统计 2023 年 11 月至 2024 年 2 月 6 个气象代表站点平均气温 (表 2), 发现饶平平均气温较近 5 年同期偏低 0.4 °C, 廉江持平, 其余 4 个站点均偏高 0.1~0.3 °C。统计日平均气温低于 19.0 °C 的出现天数及其在研究时段的出现占比 (表 3), 由多到少依次为: 饶平 92 d (76.0%) > 增城 79 d (65.3%) > 惠来 71 d (58.7%) > 高州 58 d (47.9%) > 东莞 57 d (47.1%) > 廉江 52 d (43.0%)。日平均气温低于 14.0 °C 的出现天数

表3 广东省荔枝产区典型区域气温条件统计情况

Table 3 Statistics on temperature conditions in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province

站点 Station	日平均气温 \leq 14.0℃出现天数	日平均气温 \leq 19.0℃出现天数	日最高气温 \geq 25.0℃出现天数	日最低气温 \geq 22.0℃的热积累	日最低气温 \leq 6.0℃的冷积累量
	Number of days with the average daily temperature \leq 14.0℃ (d)	Number of days with the average daily temperature \leq 19.0℃ (d)	Number of days with the maximum daily temperature \geq 25.0℃ (d)	Amount of heat accumulation at hot day with the minimum daily temperature \geq 22℃ (℃)	Amount of cold accumulation at cold day with the minimum daily temperature \leq 6℃ (℃)
	59654	26	52	57	386.0
59653	27	58	63	181.0	9.9
59294	32	79	49	89.8	42.0
59289	27	57	48	208.4	17.7
59317	19	71	45	90.5	8.7
59313	30	92	29	22.2	29.9

(表3)中,惠来不足20 d,廉江、高州、东莞为26~27 d,饶平和增城分别为30、32 d。

2.2.2 高温过程分析 高温会导致荔枝冲梢,对其成花极为不利。若气温持续高于25.0℃,荔枝树可能会更多地进行营养生长,长出新梢、不形成花芽。据此定义每年11月至次年2月期间出现日最高气温 \geq 25.0℃且持续3 d及以上的天气为荔枝成花高温热害。统计2023年11月至2024年2月各气象代表站点高温出现天数(表3),由多到少依次为:高州63 d>廉江57 d>增城49 d>东莞48 d>惠来45 d>饶平29 d。高温热害过程出现情况(表4)的对比分析如下:饶平出现次数最少、仅4次,极端最高气温32.0℃;其次是东莞,出现5次,极端最高气温31.3℃;廉江、增城和惠来均出现6次,极端最高气温分别为31.8、30.8和33.0℃;高州出现次数最多、达7次,极端最高气温31.3℃。由此可见,饶平高温天数和高温热害过程次数均最少,廉江、增城、东莞、惠来高温天数和高温热害过程次数分别在45~57 d和5~6次,高州高温天数和高温热害过程次数均最多。

2.2.3 降温天气过程分析 华南地区荔枝成花需要适时适度的降温天气过程^[19],以诱导荔枝树进入休眠状态,从而启动花芽分化的生理过程。统计6个气象代表站点在2023年11月至2024年2月的强冷空气和寒潮发生情况,结果(表5)显示,从明显降温天气过程发生次数来看,东莞发生次数最多、有4次,其次为廉江、高州和增

表4 广东省荔枝产区典型区域高温热害过程统计情况

Table 4 Statistics on high temperature damage process in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province

站点 Station	过程次数 Number of processes (times)	起止日期 Beginning and ending dates	持续天数 Continuous days (d)	过程最高气温
				Maximum temperature during the process (℃)
59654	6	2023-11-01~2023-11-12	12	31.8
		2023-11-18~2023-11-28	11	28.8
		2023-12-07~2023-12-15	9	29.0
		2024-01-17~2024-01-19	3	26.5
		2024-02-02~2024-02-04	3	27.1
		2024-02-14~2024-02-22	9	27.8
59653	7	2023-11-01~2023-11-12	12	31.3
		2023-11-18~2023-11-28	11	28.6
		2023-12-07~2023-12-15	9	29.8
		2023-12-31~2024-01-02	3	28.8
		2024-01-17~2024-01-20	4	26.6
		2024-02-02~2024-02-04	3	25.9
59294	6	2023-11-01~2023-11-12	12	30.8
		2023-11-20~2023-11-28	9	28.1
		2023-12-08~2023-12-11	4	29.8
		2024-02-01~2024-02-03	3	28.3
		2024-02-14~2024-02-16	3	26.4
		2024-02-18~2024-02-22	5	30.0
59289	5	2023-11-01~2023-11-12	12	31.3
		2023-11-21~2023-11-28	8	26.9

(续表 4)

站点 Station	过程次数 Number of processes (times)	起止日期 Beginning and ending dates	持续天数 Continuous days (d)	过程最高气温
				Maximum temperature during the process (°C)
59289		2023-12-08~2023-12-12	5	30.2
		2024-02-13~2024-02-16	4	26.8
		2024-02-18~2024-02-22	5	29.0
59317	6	2023-11-01~2023-11-12	12	33.0
		2023-11-14~2023-11-16	3	25.5
		2023-11-20~2023-11-23	4	27.6
		2023-11-27~2023-11-30	4	27.8
		2023-12-08~2023-12-12	5	29.0
		2024-02-20~2024-02-22	3	27.0
59313	4	2023-11-01~2023-11-11	11	32.0
		2023-11-21~2023-11-23	3	26.1
		2023-12-09~2023-12-11	3	28.6
		2024-02-19~2024-02-22	4	28.4

城、均为 3 次，饶平 2 次，惠来仅 1 次。从发生时段和过程强度等级来看，明显降温天气过程主要集中在 2023 年 12 月中旬、2024 年 1 月中旬

末至下旬初、2024 年 2 月下旬初，其中 2024 年 1 月中旬末至下旬初除惠来外的 5 个气象站点均达到寒潮等级，其余时段各气象站点的明显降温天气过程均为强冷空气等级。从过程持续时间来看，惠来和饶平历次明显降温天气过程持续时间在 2~3 d，廉江和高州该过程持续时间在 2~4 d，增城和东莞则在 2~5 d，其中 2023 年 12 月中旬过程各站点均持续 2 d，2024 年 1 月中旬末至下旬初过程增城和东莞持续 5 d、廉江和高州持续 4 d、惠来和饶平持续 3 d，2024 年 2 月下旬初过程增城和东莞持续 4 d、廉江和高州持续 3 d、惠来和饶平未出现。从过程极端最低气温来看，2024 年 1 月中旬末至下旬初过程各气象代表站点最低气温除惠来 5.7℃外，其余 5 个站点均在 3.3~4.6℃；2023 年 12 月中旬、2024 年 1 月中旬末至下旬初两次过程各气象代表站点最低气温均介于 6.0~9.0℃。

在荔枝成花阶段，广东省荔枝产区典型区域普遍在 2023 年 12 月中旬才出现首次强冷空气过程。第 2 轮冷空气过程出现在 2024 年 1 月中旬末至下旬初，虽然达到寒潮级别，强度较大，

表 5 广东省荔枝产区典型区域明显降温过程统计情况

Table 5 Statistics on obvious cooling process in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province

站点 Station	过程次数 Number of processes (times)	起止日期 Beginning and ending dates	强度等级 Intensity level	持续天数 Continuous days (d)	过程最低气温 Minimum temperature during the process (°C)
59654	3	2023-12-16~2023-12-17	强冷空气	2	8.1
		2024-01-20~2024-01-23	寒潮	4	4.6
		2024-02-23~2024-02-25	强冷空气	3	8.9
59653	3	2023-12-16~2023-12-17	强冷空气	2	8.4
		2024-01-20~2024-01-23	寒潮	4	4.4
		2024-02-23~2024-02-25	强冷空气	3	8.6
59294	3	2023-12-16~2023-12-17	强冷空气	2	6.1
		2024-01-19~2024-01-23	寒潮	5	3.3
		2024-02-22~2024-02-25	强冷空气	4	7.9
59289	4	2023-12-16~2023-12-17	强冷空气	2	7.7
		2024-01-19~2024-01-23	寒潮	5	3.6
		2024-02-07~2024-02-08	强冷空气	2	8.1
		2024-02-22~2024-02-25	强冷空气	4	8.9
59317	1	2024-01-21~2024-01-23	强冷空气	3	5.7
59313	2	2023-12-16~2023-12-17	强冷空气	2	8.8
		2024-01-21~2024-01-23	寒潮	3	3.9

但前后两次明显降温天气过程间隔时间长达 1 个月。第 3 轮冷空气过程出现在 2024 年 2 月下旬, 间隔时间长且相隔时段中还出现了日最高气温超过 25.0℃ 的高温, 气温冷暖变化大 (图 1), 加大了荔枝果园管理难度, 即低温时忙于促萌、高温时忙于杀“冲梢”或补充微量元素营养。

2.2.4 冷热积累量分析 花诱导期时长对荔枝开花时间和成花质量起决定性作用。Su 等^[36]研究

表明, 日最低气温高于 22.0℃ 的热积累量、日最低气温低于 6.0℃ 的冷积累量对荔枝成花诱导期时长分别产生负向、正向的影响。统计 2023 年 11 月至 2024 年 2 月 6 个气象代表站点日最低气温高于 22.0℃ 的热积累量, 结果 (表 3) 显示, 饶平地区仅达 22.2℃, 为 6 个站点最少; 紧接着是增城和惠来, 分别为 89.8、90.5℃; 高州、东莞和廉江分别高达 181.0、208.4 和 386.0℃。日

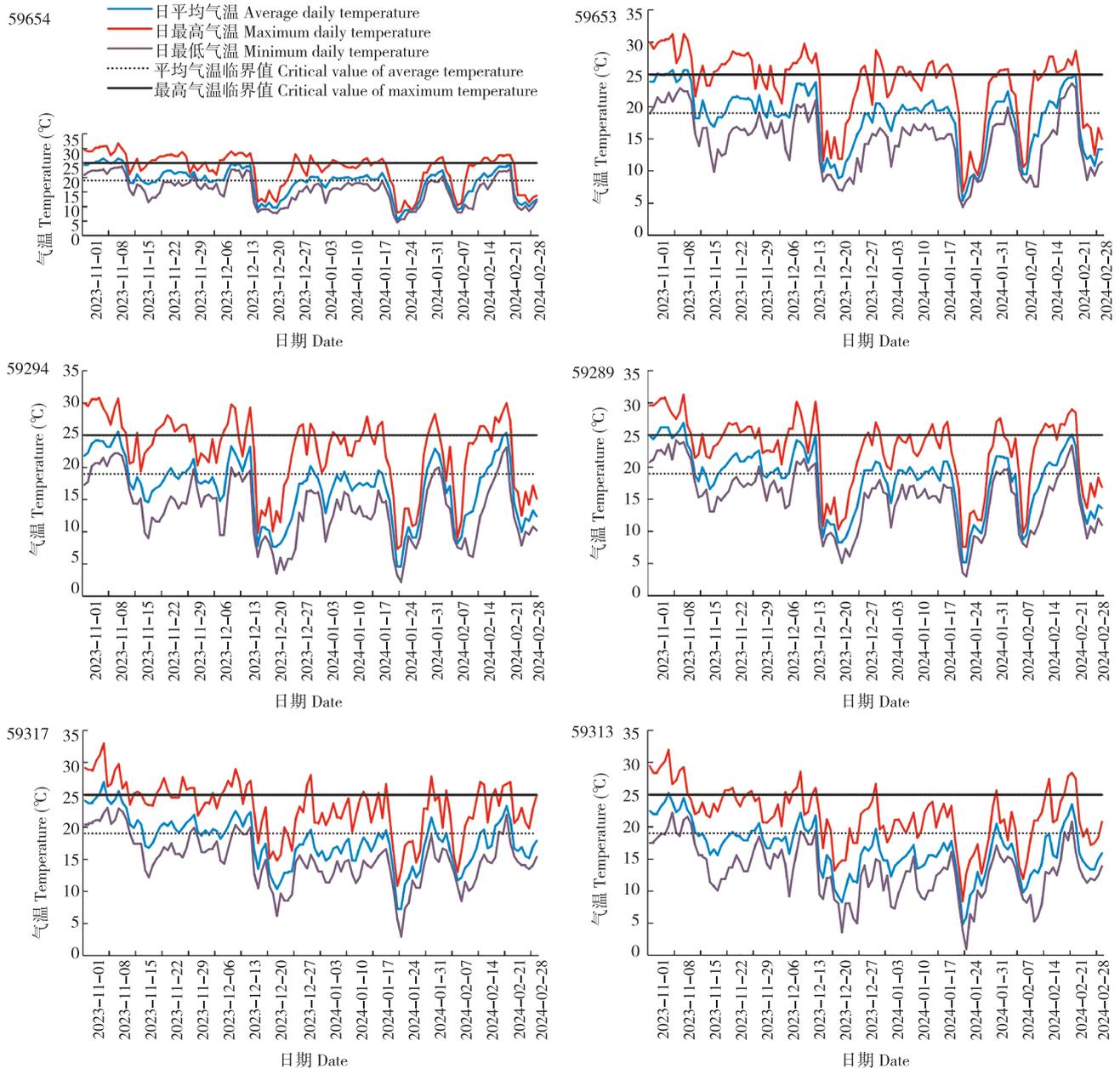


图 1 广东省荔枝产区典型区域 2023 年 11 月至 2024 年 2 月气温逐日变化

Fig. 1 Daily variation of temperature in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province from November 2023 to February 2024

最低气温低于 6.0℃的冷积累量统计结果(表 3)表明,增城最多、达 42.0℃,其次是饶平、为 29.9℃,其余 4 个站点均低于 20.0℃。由此可见,热量过高对荔枝成花的负向影响巨大,冷积累量也是荔枝成花需要考量的重要因素。

2.3 荔枝成花期光照条件分析

荔枝花芽分化期,充足的光照可促进其光合作用,增加有机质的积累,利于花芽分化。从各气象站点总日照时数与近 5 年同期平均的对比情

况(表 2)来看,饶平偏多、为 21.3%,其余 5 个站点均偏少,其中惠来、东莞、增城略偏少,为 0.9%~5.0%。参考低温阴雨相关定义^[37],选取每日日照时数少于或等于 2 h 作为荔枝花芽分化期间的寡照灾害。2023 年 11 月至 2024 年 2 月,广东省荔枝产区典型区域气象代表站点寡照灾害的出现率(出现天数)按照由低到高的排序为:饶平 10.7%(13 d) < 惠来 25.6%(31 d) < 东莞 31.4%(38 d) < 增城 33.1%(40 d) < 高州

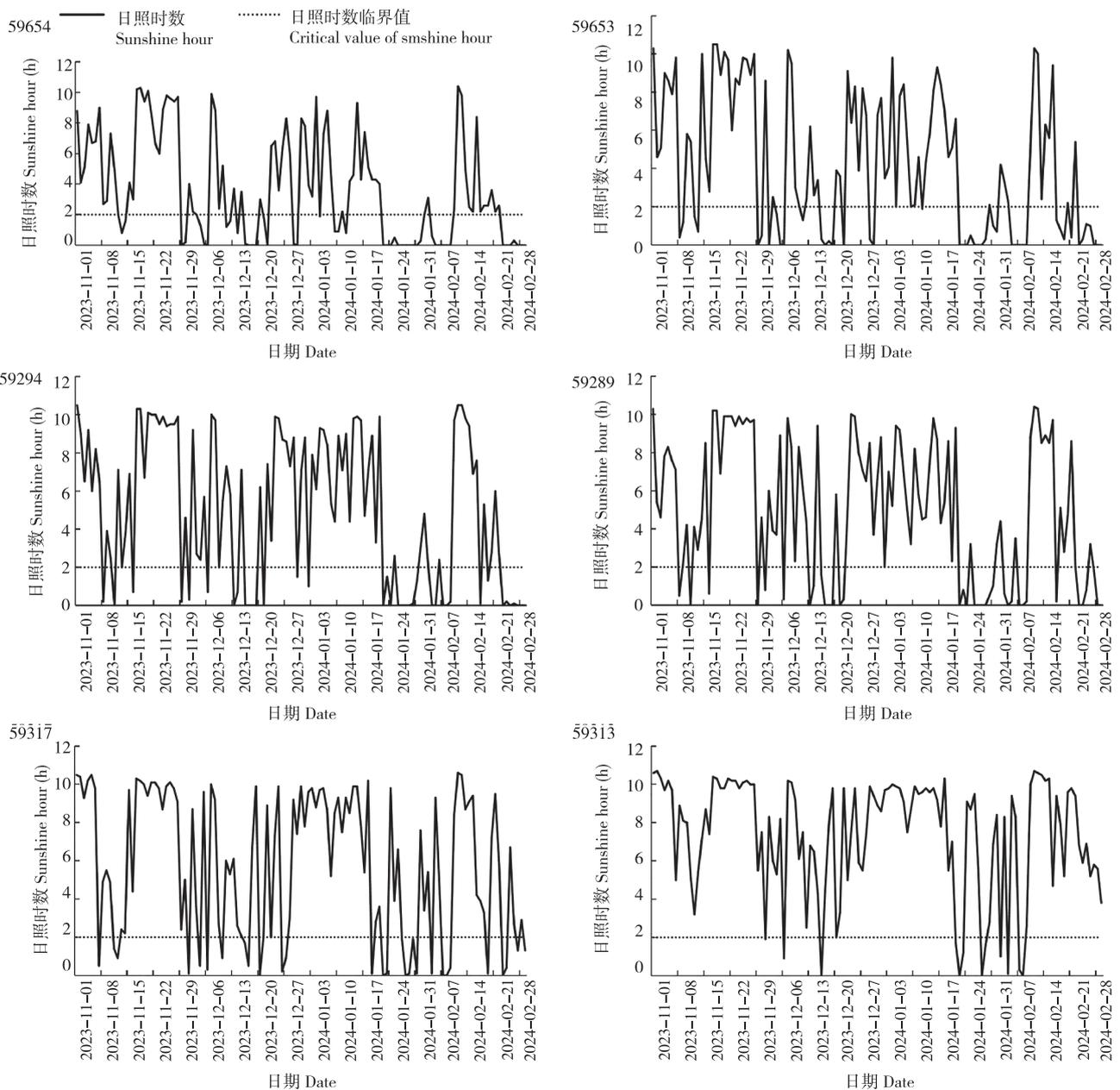


图 2 广东省荔枝产区典型区域 2023 年 11 月至 2024 年 2 月日照时数逐日变化

Fig. 2 Daily variation of sunshine hours in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province from November 2023 to February 2024

38.8% (47 d) < 廉江 40.5% (49 d)。由图 2 可知, 2023 年 11 月上旬、11 月下旬末至 12 月上旬初、12 月中旬、2024 年 1 月下旬至 2 月上旬以及 2 月下旬, 廉江、高州、增城、东莞和惠来 5 个气象代表站点均出现明显且持续的寡照天气, 饶平只在 2024 年 1 月下旬至 2 月上旬间断出现寡照天气。从不同产区荔枝成花率的调查结果来看, 饶平产区的‘桂味’‘糯米糍’等传统优质荔枝中晚熟品种成花率超过 7 成, 其余地区均不足 2 成, 其中廉江、高州和增城产区甚至不足 1 成,

表明寡照天气对中晚熟荔枝成花的影响巨大。

2.4 荔枝成花期水分条件分析

干湿条件对荔枝成花也有较大影响, 适度干旱可抑制冬梢抽发, 使其生长较早停止, 提高生长点细胞浓度, 利于花芽形成。从降水总量(表 2)来看, 6 个气象代表站点 2023 年 11 月至 2024 年 2 月的降水总体较少, 均较近 5 年同期偏少 50%~80%, 其中廉江、高州、增城和东莞 4 个气象代表站点降水主要集中在 2023 年 11 月上旬、2024 年 1 月下旬至 2 月上旬, 惠来和饶平站则

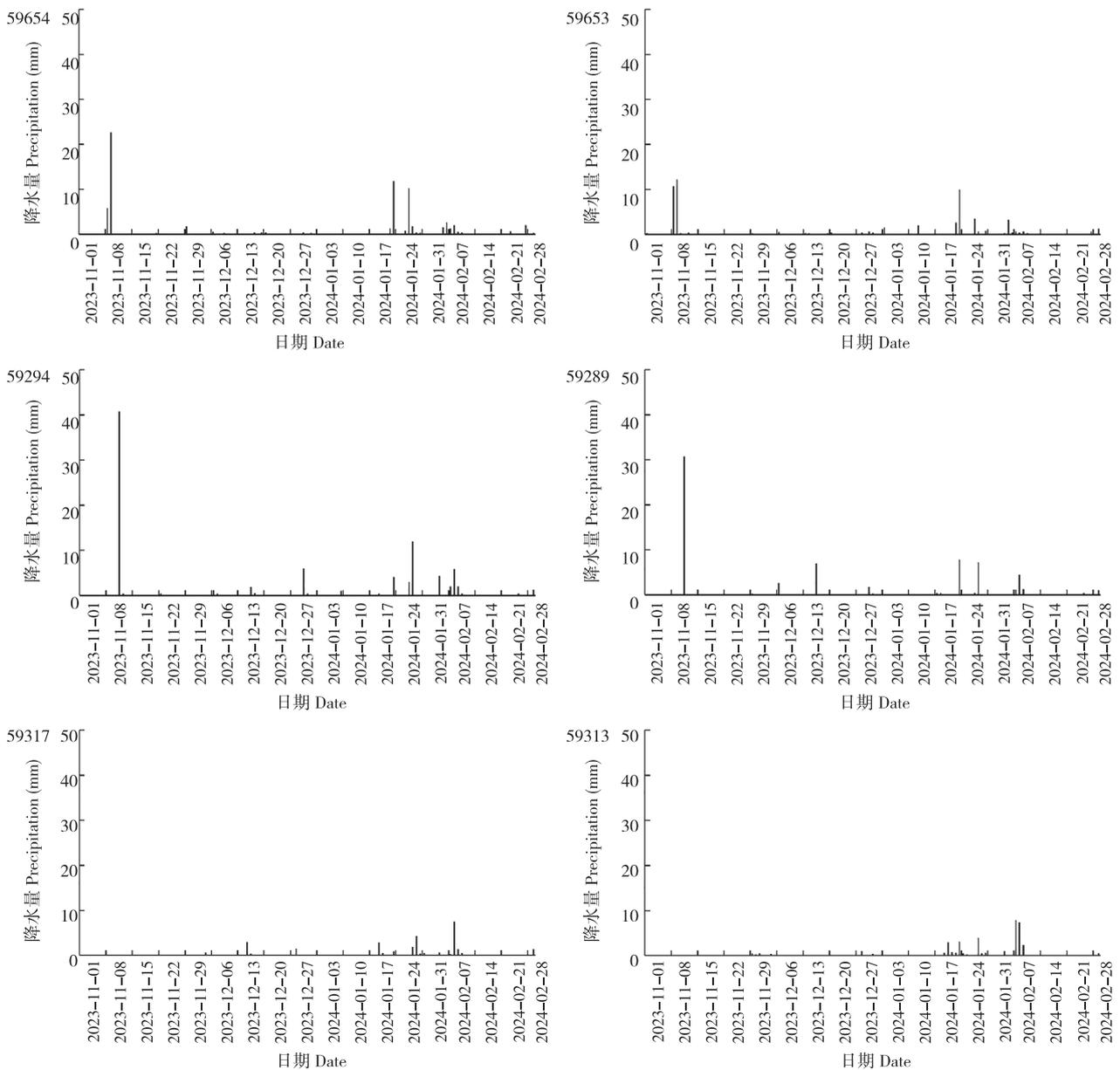


图 3 广东省荔枝产区典型区域 2023 年 11 月至 2024 年 2 月降水量逐日变化

Fig. 3 Daily variation of precipitation in the typical regions of litchi-producing areas of Guangdong Province from November 2023 to February 2024

在 2024 年 1 月下旬至 2 月上旬出现降水 (图 3), 基本可满足荔枝成花需要适度干旱的条件。

尹金华等^[26]研究认为, 荔枝花芽分化前期和后期对水分的需求不同: 在荔枝花芽分化关键前期的 12 月下旬至次年 1 月下旬, 雨水太多会导致根系分布的土层降温过多, 影响根系的正常生长与吸收, 进而影响荔枝花序发育; 而在荔枝花芽分化后期则需要适当水分, 荔枝产量大年的 2 月上旬、中旬雨量多于小年。为此, 统计 2023 年 12 月下旬至 2024 年 1 月下旬 6 个气象代表站点的总降水量, 由多到少排序为: 廉江 26.6 mm > 增城 26.3 mm > 高州 22.3 mm > 东莞 17.5 mm > 饶平 13.0 mm > 惠来 12.2 mm; 2024 年 2 月上旬和中旬累积降水量由多到少排序为: 饶平 18.7 mm > 增城 14.1 mm > 惠来 10.1 mm > 廉江 8.1 mm > 东莞 6.9 mm > 高州 5.5 mm; 2024 年 2 月降水量各站点均不足 20.0 mm, 由多到少排序为: 饶平 19.2 mm > 增城 15.5 mm > 惠来 11.5 mm > 廉江 10.9 mm > 东莞 7.9 mm > 高州 7.5 mm。

3 讨论

荔枝成花需要适时适度的温度条件。本研究统计结果表明, 饶平出现低于荔枝成花临界温度的天数最多, 近 8 成的天数处于 19.0℃ 临界值以下, 而廉江、东莞和高州有超过一半的时间未处于荔枝成花的临界温度范围内, 可以解释饶平地区荔枝成花率为 6 个典型区域最好的情况。对比同处粤东地区的饶平和惠来利于荔枝形成有经济价值花穗的平均气温条件, 发现惠来仅 19 d, 而饶平有 30 d, 饶平‘桂味’‘糯米糍’等品种成花率超过 70%, 明显高于惠来 (不足 20%), 可能与日平均气温低于 14.0℃ 的出现天数有关。根据本研究定义的荔枝成花高温热害统计结果, 饶平高温天数和高温热害次数均为 6 个典型区域中最少, 故荔枝成花率最好。在冬季低温条件方面, 对于广东省荔枝主产区而言, 低温出现的时间比低温程度更为重要^[26]。广东省荔枝产区典型区域 2023 年低温来得迟, 虽然出现了明显降温天气过程, 但间隔时间太长且间中出现 25.0℃ 以上高温, 反复无常的气温波动影响荔枝生长节

奏, 荔枝成花的低温需求难以满足, 前期 (2023 年 11 月和 12 月) 高温造成荔枝花芽分化不良, 后期 (2024 年 1 月和 2 月) 高温导致严重“冲梢”。从 6 个气象代表站点的对比来看, 各站点明显降温天气过程出现时间、强度等级差别不大, 但发生次数、持续天数和最低气温有所差别, 特别是 2024 年 1 月中旬末至下旬初寒潮过程的持续时间明显不同: 饶平和惠来过程持续时间为 3 d, 廉江、高州、增城和东莞 4 个站点过程持续天数达 4~5 d。有研究认为, 极端最低气温 3.0~4.0℃ 是中晚熟荔枝品种成花的有利条件之一^[19]。本研究中, 2023 年 11 月至 2024 年 2 月惠来出现极端最低气温 5.7℃, 廉江和高州分别为 4.6℃ 和 4.4℃, 饶平、增城和东莞 3 个站点均出现了 3.0~4.0℃ 的极端低温。按理论来说, 上述 3 个站点极端低温对刺激荔枝成花有利, 但增城和东莞在 2024 年 1 月中旬末至下旬初出现持续时间长达 5 d 的寒潮过程, 而饶平只持续了 3 d。此外, 从 6 个气象代表站站点热积累量的对比来看, 饶平日最低气温高于 22.0℃ 的热积累量仅为增城和惠来的 1/4、高州的 1/8、东莞的 1/9、廉江的 1/17, 表明日最低气温高于 22.0℃ 的热积累量对荔枝成花的负向影响显著, 这与 Su 等^[36]的研究结论相符, 但与其研究认为日最低气温低于 6.0℃ 的冷积累量对荔枝成花有正向作用的结论并不完全相符, 可能是荔枝成花低温条件需要出现时间、极端情况、持续时长等多方面的配合。因此, 荔枝成花需要适度、持续时间适宜的低温刺激, 极端低温持续天数太长会导致荔枝花芽形态分化、抽花穗进程受阻。

阳光充足的天气对于荔枝成花也不可或缺。2023 年 11 月至 2024 年 2 月, 尤其是正值荔枝花穗发育期的 1 月和 2 月, 典型区域以寡照天气居多。其中, 1 月下旬、2 月上旬和下旬期间的每天日照时数普遍少于 2 h, 光照不足影响荔枝的光合作用, 导致荔枝树体营养成分积累不够, 不利于荔枝顶芽的萌动, 花穗发育不良, 从而造成荔枝少花、花质差甚至无花。不同典型区域荔枝成花有差异, 其中饶平产区明显较好, 其 2023 年 11 月至 2024 年 2 月期间的累积日照时数较近 5 年同期平均偏多 20% 以上, 而其他

产区均偏少,表明光照条件对荔枝成花极其重要,这与陈厚彬等^[14]分析认为日照时数差异是各地荔枝成花率有所区别的重要原因的结论较为一致。

水分条件方面,各气象代表站点在2023年11月至2024年2月的降水总量均比近5年同期平均降水量偏少50%~80%,可以满足荔枝末次秋梢后的冬梢控制阶段需要干旱少水的环境,但干旱持续时间太长反而会制约荔枝碳水化合物积累。此外,荔枝成花后期需要适量降水,傅汝强^[29]研究发现,荔枝产量“大年”的2月降水量均超过29.0 mm,而各气象代表站点2024年2月降水量均不足20.0 mm,这一条件是否制约荔枝成花仍需后期验证。

对比分析6个典型区域的‘桂味’和‘糯米糍’品种成花率发现,饶平成花率远超其他5个区域,为各典型区域最好。该地区2023年11月至2024年2月的气候条件统计对比情况为:日平均气温低于19.0℃的出现天数最多(92 d),日平均气温低于14.0℃的出现天数次多(30 d),日最高气温 $\geq 25.0^\circ\text{C}$ 的高温天数最少(29 d)且高温热害过程最少(4次),极端低温3.0~4.0℃且持续时间不超过3 d,日最低气温高于22.0℃的热积累量最少、仅22.2℃,日照时数较近5年同期偏多20%以上且寡照灾害最少、仅出现13 d,12月下旬至次年1月下旬的累积降水量少于15.0 mm、2月上旬和中旬的降水量超过15.0 mm。上述指标与前人研究^[19]认为中晚熟荔枝品种成花需要极端低温3.0~4.0℃的刺激结论相符,也与人^[26]认为荔枝成花对水分的需求前期少后期多一致,但是否可以上述指标作为‘桂味’和‘糯米糍’等传统优质中晚熟荔枝品种成花有利气候条件的临界值,有待进一步的田间观察或试验验证。在荔枝种植过程中,应基于气候条件采取合理的栽培管理措施,以提高荔枝的产量和品质。

对比不同中晚熟品种,‘桂味’‘糯米糍’等传统优质品种需冷量更高,‘观音绿’‘冰荔’等品种对温度条件要求较低。因此,在同等气候条件下,‘观音绿’‘冰荔’等需冷量相对较低的品种成花情况相对较好,其中东莞、惠来

2024年成花率超过50%,而‘桂味’‘糯米糍’等品种不足20%。气候变暖背景下,暖害呈频发、重发态势,对荔枝成花挑战越来越大。建议荔枝果农因地制宜适时更换‘冰荔’‘观音绿’‘岭丰糯’等需冷量相对较低的品种,优化品种布局,减轻灾害影响,确保稳产丰产。

4 结论

研究选取廉江、高州、增城、东莞、惠来和饶平6个典型区域进行温、光、水等气候成因分析,发现在温度条件方面,荔枝产区气温偏高且变率大、高温天数多、低温出现迟且间隔时间过长、极端低温不足或持续时间过长、日最低气温高于22.0℃的热积累量过高;光照条件方面,荔枝产区日照时数总体偏少且寡照灾害突出,荔枝成花阶段各典型区域每日日照时数少于2 h的出现率粤东10%~20%,粤西和珠三角产区30%~40%;水分条件方面,研究选取的荔枝产区典型区域降水条件基本可以满足荔枝成花适度干旱的需求,但成花前期和后期的降水量有所差别。不同典型区域‘桂味’‘糯米糍’等传统优质中晚熟荔枝成花率方面,饶平可达70%,其余5个产区不足20%,饶平与其余产区的水分条件差别不大,但温、光条件有显著区别,表明温度和光照条件对荔枝成花的制约程度高于水分条件。

参考文献(References):

- [1] 李茜茵,孙浩爽,庞学群,张昭其.荔枝裂果研究评述与展望[J].广东农业科学,2024,51(11):136-148. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2024.11.013.
LI X W, SUN H S, PANG X Q, ZHANG Z Q. Review and prospects of research on litchi fruit cracking [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*. 2024,51(11):136-148. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2024.11.013.
- [2] 陈厚彬,苏钻贤,陈浩磊.荔枝“大小年”结果现象及秋冬季关键技术对策建议[J].中国热带农业,2020(5):10-16.
CHEN H B, SU Z X, CHEN H L. The biennial bearing in litchi and key management in autumn and winter [J]. *China Tropical Agriculture*, 2020(5):10-16.
- [3] HOBLYN T N, GRUBB N H, PAINTER A C, WATSE B L. Studies in biennial bearing [J]. *Journal of the American Pomological Society*, 1937,14:39-76. DOI:10.1080/03683621.1937.11513464.
- [4] LAL N, RANGARE N R, JAYSWAL D K, CHANDOLA J C, LAKRA J, CHACK S, KUMAR B, CHHIGARHA J, TANDON K, SAHU K. Eco physiology of litchi in relation to variable climatic factors [J].

- Agricultural Mechanization in Asia*, 2022,53(9):9683–9693.
- [5] LAL N, SAHU N, KUMAR A, PANDEY S D. Effect of rainfall and temperature on sun burn and fruit cracking in litchi [J]. *Journal of Agrometeorology*, 2022, 24(2):169–171. DOI: 10.54386/jam.v24i2.1153.
- [6] LAL N, KUMAR A, PANDEY S D. Sunburn and fruit cracking in Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cv. 'Rose Scented' [J]. *Emergent Life Sciences Research*, 2023, 9(2):260–264. DOI:10.31783/elrs.2023.92260264.
- [7] SAHNI R K, KUMARI S, KUMAR M, KUMAR M, KUMAR A. Status of litchi cultivation in India [J]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, 9(4):1827–1840. DOI: 10.20546/ijemas.2020.904.214.
- [8] LAL N, NATH V. Aberrant weather influencing the productivity and quality of litchi under changing climatic condition [C]// National Conference on CLIMATE CONCLAVE 2020: Scientific & Environmental Innovation and Implementation of Sustainable Development Goals. 2020.
- [9] SOLO N R, RAMANANANKIERANA H P, MIAASA E, DONNO D, BAOHANTA R H, RAKOTONIAINA E N, SOIFOINI T, GIACOMA C, BECCARO G L. Effects of seasonal climatic variations on physiology and phenology of *Litchi chinensis* Sonn. in Madagascar [J]. *Fruits*, 2019, 74(3):97–109. DOI:10.17660/th2019/74.3.1.
- [10] FARINA V, GIANGUZZI G, D'ASARO A, MAZZAGLIA A, PALAZZOLO E. Fruit production and quality evaluation of four litchi cultivars (*Litchi chinensis* Sonn.) grown in Mediterranean climate [J]. *Fruits*, 2017, 72(4):203–211. DOI:10.17660/th2017/72.4.2.
- [11] SHEN J Y, XIAO Q S, QIU H J, CHEN C, CHEN H. Integrative effect of drought and low temperature on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) floral initiation revealed by dynamic genome-wide transcriptome analysis [J]. *Scientific Reports*, 2016,6:32005. DOI:10.1038/srep.32005.
- [12] KUMAR R. Effect of climate change and climate variable conditions on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) productivity and quality [J]. *Acta horticulturae*, 2014,1029:145–154. DOI:10.17660/ActaHortic.2014.1029.16.
- [13] CHEN H B, HUANG H B. Low temperature requirements for floral induction in lychee [J]. *Acta Horticulturae*, 2004,665:195–202. DOI:10.17660/ActaHortic.2005.665.21.
- [14] 陈厚彬, 杨胜男, 苏钻贤, 欧善国, 潘蔚娟, 彭晓丹. 2024 年全国荔枝生产形势分析与管理建议 [J]. *中国热带农业*, 2024(3):8–20. CHEN H B, YANG S N, SU Z X, OU S G, PAN W J, PENG X D. Analysis of the national litchi production in 2024 and management suggestions [J]. *China Tropical Agriculture*, 2024(3):8–20.
- [15] 黄汝红, 李云昌, 包文雯, 符兆欢, 匡昭敏, 黄艳霞. 气候变化背景下广西钦州荔枝气象灾害演变特征及应对策略 [J]. *中国热带农业*, 2024(1):58–65. HUANG R H, LI Y C, BAO W W, FU Z H, KUANG Z M, HUANG Y X. Evolutionary characteristics and countermeasures of meteorological disasters for litchi in Qinzhou of Guangxi under the background of climate change [J]. *China Tropical Agriculture*, 2024(1):58–65.
- [16] 郭栋梁, 黄石连, 向旭. 2022 年广东荔枝生产形势分析 [J]. *广东农业科学*, 2022,49(6):130–137. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2022.06.016.
- GUO D L, HUANG S L, XIANG X. Analysis of Guangdong litchi production situation in 2022 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2022,49(6):130–137. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2022.06.016.
- [17] 侯显达, 侯彦林, 王铄今, 贾书刚, 潘桂颖, 杜潇, 朱艳梅, 刘书田. 荔枝产量大小年年型等级与气象条件关系研究 [J/OL]. *吉林农业大学学报*, 1–14 [2025–01–06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20220711.1722.005.html>.
- HOU X D, HOU Y L, WANG S J, JIA S G, PAN G Y, DU X, ZHU Y M, LIU S T. Study on the relationship between the grade of litchi yield and meteorological conditions [J/OL]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1–14 [2025–01–06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20220711.1722.005.html>.
- [18] 谢仁忠, 李云昌, 符兆欢, 黄汝红, 陶功庆. 广西钦州 2022 年春季异常天气对荔枝成花的影响分析及应对措施建议 [J]. *中国热带农业*, 2022(3):60–66. XIE R Z, LI Y C, FU Z H, HUANG R H, TAO G Q. Effects and response measures of abnormal weather on flowering of litchi in spring 2022 in Qinzhou, Guangxi [J]. *China Tropical Agriculture*, 2022(3):60–66.
- [19] 梁立峰. 荔枝成花过程及其重要制约因子 [J]. *广东农业科学*, 2021,48(4):37–46. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2021.04.006. LIANG L F. Floral formation processes of litchi and the important restrictive factors [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2021, 48(4):37–46. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2021.04.006.
- [20] 苏钻贤. 影响荔枝成花的物候气象因子模型以及特征代谢物研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2020. SU Z X. Studies on the phenological or meteorological factor models and characteristic metabolites affecting litchi flowering [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020.
- [21] 齐文娥, 欧阳曦. 气象条件对荔枝单产的影响 [J]. *中国南方果树*, 2019,48(3):47–49. DOI:10.13938/j.issn.1007–1431.20180431. QI W E, OUYANG X. Impacts of climate variations on litchi yield in China [J]. *South China Fruits*, 2019,48(3):47–49. DOI:10.13938/j.issn.1007–1431.20180431.
- [22] 鲁勇, 王春会, 武竞超. 荔枝大小年现象原因探析 [J]. *世界热带农业信息*, 2019(8):21–22. DOI:10.3969/j.issn.1009–1726.2019.08.022. LU Y, WANG C H, WU J C. Analysis on the reasons for the phenomenon of big and small years for litchi [J]. *World Tropical Agriculture Information*, 2019(8):21–22. DOI:10.3969/j.issn.1009–1726.2019.08.022.
- [23] 赖旭辉. 荔枝隔年交替结果技术调研与分析 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017. LAI X H. The preliminary survey and study on the alternate bearing technology in litchi [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [24] 林文城. 荔枝大小年现象成因及克服技术 [J]. *湖北林业科技*, 2016,45(6):89–90. DOI: 10.3969/j.issn.1004–3020.2016.06.029. LIN W C. Causes and overcoming techniques of the phenomenon of big and small years for litchi [J]. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2016,45(6):89–90. DOI: 10.3969/j.issn.1004–3020.2016.06.029.

- [25] 邓万刚, 张黎明, 唐树梅. 环境因子对荔枝花芽分化的影响研究进展[J]. 华南热带农业大学学报, 2004,10(1):17-22. DOI:10.3969/j.issn.1674-7054. 2004.01.005.
DENG W G, ZHANG L M, TANG S M. Progress in the study of effects of environmental factors on floral bud differentiation in litchi [J]. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2004,10(1):17-22. DOI:10.3969/j.issn.1674-7054. 2004.01.005.
- [26] 尹金华, 罗诗, 赖永超, 李早文, 罗华建, 陈怀深. 冬季温度和降雨对荔枝大小年的影响[J]. 中国南方果树, 2002,31(1):28-29. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.2002.01.014.
YIN J H, LUO S, LAI Y C, LI Z W, LUO H J, CHEN H S. The effects of temperature and rainfall on the on and off year trees of litchi [J]. *South China Fruits*, 2002,31(1):28-29. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.2002.01.014.
- [27] 植石群, 周世怀, 张羽. 广东省荔枝生产的气象条件分析和区划[J]. 中国农业气象, 2002,23(1):21-25,45. DOI:10.3969/j.issn.1000-6362.2002.01.006.
ZHI S Q, ZOHU S H, ZHANG Y. Analysis of meteorological conditions and production regionalization of litchi for Guangdong Province [J]. *China Agricultural Meteorology*, 2002,23(1):21-25,45. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2002.01.006.
- [28] 陶忠良, 高爱平, 周兆德. 气象条件对荔枝产量的影响研究综述[J]. 中国南方果树, 2001,30(4):29-31. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431. 2001.04.020.
TAO Z L, GAO A P, ZHOU Z D. Review of the influence of meteorological conditions on litchi yield [J]. *South China Fruits*, 2001,30(4):29-31. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.2001.04.020.
- [29] 傅汝强. 冬季气候变化对荔枝大小年的影响[J]. 广西农业科学, 1982(9):23-25.
FU R Q. The effects of climatic changing in winter on the on and off year trees of litchi [J]. *Guangxi Agricultural Sciences*, 1982(9): 23-25.
- [30] 向旭. 广东荔枝产业发展瓶颈与产业技术研发进展[J]. 广东农业科学, 2020,47(12):32-41. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874X.2020. 12.004.
XIANG X. Bottleneck of litchi industry development in Guangdong and progress of technology research and development [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(12):32-41. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.12.004.
- [31] 陈厚彬, 苏钻贤, 杨胜男. 2023年全国荔枝生产调查与形势分析[J]. 中国热带农业, 2023(3):13-22.
CHEN H B, SU Z X, YANG S N. Investigation and analysis of the litchi production in China in 2023 [J]. *China Tropical Agriculture*, 2023(3):13-22.
- [32] 张湛辉, 冯延聪, 陆杰英, 张航, 廖美敬, 赵明磊, 李建国. 2024年增城荔枝晚熟品种成花率低原因分析[J]. 中国热带农业, 2024(6):46-54.
ZHANG Z H, FENG Y C, LU J Y, ZHANG H, LIAO M J, ZHAO M L, LI J G. Analysis of the reasons for the low flowering rate of late-maturing litchi varieties in Zengcheng in 2024 [J]. *China Tropical Agriculture*, 2024(6):46-54. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0658.2024.06.009.
- [33] YUBOLSAI C, MIKHAMA K. The adaptation of lychee farmers to the climate changes: A case study of farmers in Bancha-ngom-Nadon, Khamtao Subdistrict, Muang Nakhon Phanom District, Nakhon Phanom Province [J]. *Journal of Social Science and Humanities*, 2019,40(1):114-127.
- [34] 齐文娥, 陈厚彬, 李洁欣. 2022年中国大陆荔枝产业发展状况、趋势与对策[J]. 广东农业科学, 2023,50(2):147-155. DOI:10.16768/j.issn. 1004-874X.2023.02.016.
QI W E, CHEN H B, LI J X. Status, trend and countermeasures of development of litchi industry in the Mainland of China in 2022 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2023,50(2):147-155. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2023.02.016.
- [35] 伍红雨, 杜尧东. 1961—2008年华南区域寒潮变化的气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2010,6(3):192-197. DOI:10.3969/j.issn.1673-1719.2010.03.007.
WU H Y, DU Y D. Climatic characteristics of cold waves in South China in the period 1961-2008 [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2010,6(3):192-197. DOI:10.3969/j.issn.1673-1719.2010.03.007.
- [36] SU Z X, LIU L Y, LI Y Q, CHEN H B. Predicting flower induction of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) with machine learning techniques [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2023,205:107572. DOI:10.1016/j.compag.2022.107572.
- [37] 纪忠萍, 高晓容, 谷德军, 吴秀兰, 舒锋敏. 广东低温阴雨的低频振荡及环流特征[J]. 应用气象学报, 2013,24(1):32-42..
JI Z P, GAO X R, GU D J, WU X L, SHU F M. The low frequency oscillation and circulation characteristics of cold rainy weather in Guangdong [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2013,24(1):32-42.

【责任编辑 马春敏】