

海南榴莲幼树高温灾害的初步研究

陈小敏^{1,2#}, 冯学杰^{1,3*}, 黄海杰^{1,3}, 邓会栋^{1,3}, 张京红², 黄海智⁴

(1. 农业农村部热带果蔬遗传资源评价利用重点实验室(部省共建)/海南省热带果树生物学重点实验室, 海口 571100 中国; 2. 海南省气候中心/海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203 中国; 3. 海南省农业科学院热带果树研究所/农业农村部海口热带果树科学观测实验站/海南省热带果树野外科学观测研究站, 海南 海口 571100 中国; 4. 三亚市气象局/三亚国家气候观象台, 海南 三亚 572000 中国)

摘要: 为有效利用气候资源并建立长期有效的灾害防御体系以促进海南榴莲产业良性发展, 本研究分析了高温日变化过程及其对榴莲幼树的影响。选取日最高气温为主, 14 时相对湿度为辅作为高温灾害的气象因子。采用百分位阈值法, 构建榴莲(*Durio zibethinus* Murr.) 幼树日高温灾害、过程高温灾害和年型高温灾害等级指标。结果表明, 2015—2024 年, 海南主要榴莲种植区幼树受高温灾害影响的日数在 7.2~81.7 d, 过程高温灾害总次数在 1.1~10.7 次, 年型高温灾害在轻度-重度以上均有出现。从高温总日数、重度以上灾害日数、过程总次数、重度以上过程次数、年型灾害等级等指标分析, 北部榴莲种植区高温灾害重于南部种植区, 分布为澄迈>三亚>乐东>保亭>陵水。海南榴莲幼树生长中遭遇高温灾害的概率很大, 种植中需要重点做好高温灾害防御措施, 改变榴莲园区局地小气候环境, 降低榴莲高温危害。

关键词: 榴莲; 幼树; 海南; 高温灾害; 百分位阈值法

中图分类号: S16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2026)04-0617-10

陈小敏, 冯学杰, 黄海杰, 等. 海南榴莲幼树高温灾害的初步研究[J]. 热带生物学报 (中英文), 2026, 17(4): 617–626. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20250170 CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswwb.20250170



榴莲(*Durio zibethinus* Murr.)系锦葵科榴莲属热带果树。中国广东、海南自 20 世纪 50 年代起便从东南亚引种试种, 但鲜有开花结果的报道。最近几年海南榴莲能正常开花结果的报道, 在国内外引起了轰动^[1]。中国市场对榴莲需求旺盛, 中国已经成为鲜榴莲最大的进口国和消费国^[2]。截至 2024 年底, 中国榴莲进口量创下历史新高, 达到 156.03 万 t, 进口总额约为 497.40 亿元^[3]。据 2024 年不完全统计, 海南岛榴莲种植面积已超 0.27 万 hm², 主要分布在三亚、乐东、陵水、保亭等市县^[4-6]。

榴莲作为典型热带果树, 常年生长在南亚热带地区。对气候条件要求高: 年平均气温 22 ℃ 以上, 最适宜的空气相对湿度在 75%~85%, 年平均降水量 1 000 mm 以上等^[7-10]。在干旱气候区或年

份, 空气相对湿度低、温度过高, 以及强风等原因, 榴莲幼树会出现枯叶或落叶现象, 造成其生长停止或缓慢, 开花期高温低湿也会导致榴莲花药干枯, 活性降低, 影响授粉, 增加畸形果^[9, 11-12]。因此, 明确海南榴莲幼树生长高温热害指标和分布特征, 及时采取预防高温热害措施, 对确保海南榴莲正常生长、提高其产量和品质具有重要意义。

每年春夏季节, 海南岛都将出现大范围日最高气温≥35 ℃ 的高温天气, 高温灾害是该地区主要的农业气象灾害之一^[13-15]。2020 年澄迈日极端最高气温高达 40 ℃ 以上, 高温日数高达 100 d, 持续时间长, 澄迈永发榴莲基地大部分榴莲幼树出现叶片焦枯落叶或干死, 成活率较低, 造成经济损失^[9, 11-12]。高温灾害对果树危害影响研究很多, 大多采用日平均气温、日最高气温及其持续日

© CC BY 4.0 收稿日期: 2025-11-17

修回日期: 2025-12-22

基金项目: 农业农村部热带果蔬遗传资源评价利用重点实验室(部省共建)/海南省热带果树生物学重点实验室 2025 年联合开放课题项目(ITFT2025PT0103); 2025 年海南省农业农村厅榴莲产业链项目; 海南省南海气象防灾减灾重点实验室项目(SCSF202507); 海南省农业科学院重点工作项目(HAAS2025ZDGZ03)

***第一作者:** 陈小敏(1984—), 女, 正高级工程师。研究方向: 农业气象灾害、热带农业气候资源分析与利用。E-mail: 10150242@qq.com

***通信作者:** 冯学杰(1971—), 男, 研究员。研究方向: 热带果树育种与栽培研究。E-mail: 13807680898@163.com

数^[16-17],或增加 14 时空气相对湿度和平均风速等综合指标分析高温灾害发生特征^[18-19],得出了温度越高、湿度越低落花落果率越高的结论。榴莲属于新引进果树,2018 年才开始在海南大面积种植^[4-6],针对榴莲幼树的高温热害强度、时空变化差异研究鲜见报道。因此,明确近 10 年榴莲幼树高温灾害的时空演变规律,对指导榴莲企业种植选址、针对性采取应对不良气候条件措施,规避自然灾害,促进产业高质量发展具有重要现实意义。

1 研究数据与方法

1.1 研究数据 气象资料:选取海南 5 个主要榴莲种植市县,澄迈(19.733 3° N, 110° E)、保亭(18.65° N, 109.7° E)、乐东(18.75° N, 109.167° E)、三亚(18.248 9° N, 109.516 9° E)和陵水(18.8° N, 110.367° E)在 2015—2024 年逐日气象数据,及 2025 年乐东县山荣农场(18.836 4° N, 109.298 9° E)小气候站逐时气象数据。数据均来自海南省气象信息中心。

灾害资料:主要来自海南省农业科学院果树研究所,及本研究在 2025 年高温天气期间赴主要榴莲种植园进行灾后调查和数据统计。

1.2 研究方法 海南岛地理环境差异较大,榴莲树为新引种的果树种类。在海南岛已大规模种植未满 10 年,因此在高温灾害等气象灾害以及产量方面的观测数据尚不完善。为明确榴莲幼树的高温灾害指标,本研究采用百分位阈值法^[20]定义。

2 结果与分析

2.1 一次高温过程温湿度日变化和高温灾害指标选取 2025 年 4 月 15—24 日乐东县山荣农场受到西南干热气流影响,连续多日出现最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温天气,对该农场某榴莲种植园区的榴莲幼树生长造成一定程度的高温危害。分析此次高温过程期间的某日逐小时气象资料,可见小时温湿度变化情况(图 1):小时最低气温出现在 7 时,最高气温出现在 13~18 时,均在 35°C 以上;小时相对湿度变化则与温度相反,其在 4~7 时较大,均超过 90%,而 13~18 时较小,均在 40% 以下。可见,海南高温天气过程中,高温和低湿叠加的时间,均出现在午后 13~18 时。因此,结合前人对果树热害的研究^[16-18],选取日最高

气温和 14 时相对湿度作为监测榴莲高温灾害的主要气象因子和时段,较为科学合理。

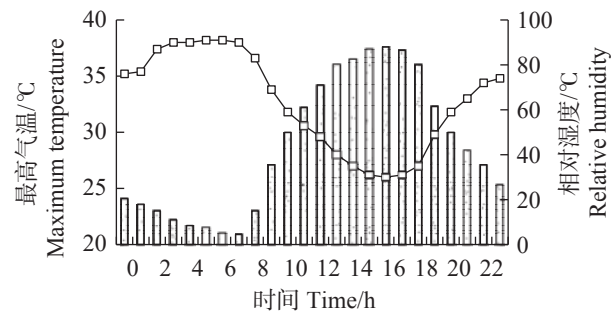


图 1 主要气象因子逐小时变化图

Fig. 1 Hourly variation chart of main meteorological factors

2.2 榴莲幼树受害性状 实地调研 2025 年 4 月 15—25 日海南岛一次高温过程期间,乐东、保亭等地区榴莲种植基地的幼树长势。由于持续 11 d 高温过程影响,乐东山荣某种植园区榴莲幼树叶片出现不同程度叶缘干焦,叶面积减少,甚至幼树植株枯死现象。同时查阅 2020 年澄迈永发榴莲种植基地记录,发现受 5—8 月长时间高温灾害影响,大部分榴莲幼树出现叶片焦枯落叶、枝条停止生长、枝梢干死或整株干枯死亡现象。

结合上述榴莲种植观测和调查结果,咨询相关种植户和专家,将榴莲幼树高温灾害指标分为一、二、三级,即轻度、中度、重度,对应的榴莲幼树受害症状见表 1。

2.3 榴莲幼树高温灾害指标研究

2.3.1 2020 年榴莲澄迈种植区高温日数分析 根据 2020 年澄迈榴莲种植基地观测,发现该年份榴莲幼树受高温灾害影响较为严重。冯学杰等^[4, 9, 12]的研究表明,气温高于 35°C 且空气湿度较低,易引起榴莲叶片焦叶甚至烧叶等症状,同时给出了榴莲种植最适宜的空气相对湿度为 75%~85%。2020 年澄迈日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$,不同月份高温日数、持续高温过程日数和极值情况(表 2),可见,2020 年高温日数总数高达 100 d,分布在 3—9 月,其中,5、6、7 月高温日数较多,极端最高气温达到 40.8°C ;高温天气过程的 14 时相对湿度均低于 70%,极端最低相对湿度低至 35%。2020 年最长高温过程持续时间为 43 d,发生在 5 月 4 日—6 月 15 日(5 日滑动平均 $\geq 35^{\circ}\text{C}$,下同),最高温度在 $36.3\sim 40.8^{\circ}\text{C}$,14 时相对湿度在 37%~69%;次长高温过程为 40 d,在 6 月 20 日—7 月 29 日,最

表 1 榴莲幼树高温灾害等级及对应受害症状

Tab. 1 Heat disaster and corresponding damage symptoms in young durian trees

高温灾害 Heat disaster	轻度灾害 Mild disaster	中度灾害 Moderate disaster	重度灾害 Severe disaster
榴莲幼树在高温灾害下不同程度受害症状 Different injury symptoms of young durian trees under heat disaster	生长停滞, 叶片叶缘出现焦枯, 小部分枝梢干枯。	生长接近停止, 部分叶片出现焦枯, 部分枝梢干枯。	生长停止, 大部分叶片干枯、大部分枝梢干枯, 弱树枯死。
榴莲幼树高温受害性状的表型照片 Phenotypic photos of heat disaster in young durian trees			

表 2 2020 年澄迈高温分布情况

Tab. 2 Distribution of high temperatures (HTs) in Chengmai in 2020

时间 Times	因子 Factors							最长高温过程 Longest HT event	次长高温过程 Secondary long HT event
	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug	9月 Sept.		
高温日数/d Number of HT days	6	4	23	26	24	10	7	43	40
最高气温/℃ Maximum temperature	35.3 ~ 38.2	35.1 ~ 36.6	35.3 ~ 40.8	35.5 ~ 39.2	35.5 ~ 38.8	35.4 ~ 36.9	35.1 ~ 36.2	35.3 ~ 40.8	35.5 ~ 39.2
14时相对湿度/% Relative humidity at 14:00	35 ~ 47	40 ~ 57	37 ~ 69	38 ~ 56	42 ~ 60	47 ~ 58	48 ~ 57	37 ~ 69	38 ~ 58

高温度在 35.5 ~ 39.2 ℃, 14 时相对湿度在 38% ~ 58%。

分析 2020 年澄迈高温过程最高气温和相对湿度分布(图 2), 可见, 日最高温度在 35.0 ~ 38.5 ℃ 占全年高温日数的 89%; 14 时相对湿度在 40% ~ 60% 的占比 84%; 观测数据也显示最高温度在 39 ℃

以上时, 相对湿度绝大部分在 40% 以下, 即气温越高, 相对湿度越小。对两者进行线性相关回归, 发现两者呈负相关关系, R 为 0.590, 相关性达到极显著水平。

澄迈 2020 年出现 100 d 高温天气过程, 尤其是 5—7 月期间出现两次高达 40 d 以上的持续高温, 极端最高气温高达 40.8 ℃。高温天气通常伴随较低的空气相对湿度, 均在 70% 以下。高温低湿对澄迈榴莲幼树种植造成了较大的危害, 榴莲幼树出现叶片焦枯落叶、枝条停止生长、枝梢干死或整株干枯死亡现象。

2.3.2 榴莲幼树高温灾害日指标研究 通过上述初步分析结果, 以高温为主, 相对湿度为辅, 研究榴莲幼树高温灾害。在缺乏榴莲幼树详细高温灾害和榴莲产量记录的基础上, 本研究采用数学统计方法中的百分位阈值法^[20], 将高温灾害日等级指标轻度、中度和重度, 对应为 60 分位和 90 分位进

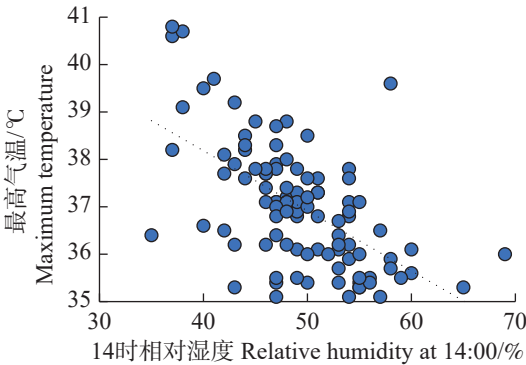


图 2 2020 年澄迈气温和相对湿度分布图
Fig. 2 Map of temperature and relative humidity distribution in Chengmai in 2020

行指标阈值划分。步骤如下: 第一步对 2015—2024 年全省日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 气温数据进行升序排列, 第二步取排序第 60 分位和第 90 分位所对应日最高气温, 作为榴莲轻度灾害、中度灾害和重度高温灾害指标温度阈值。海南最近 10 年 18 个市县日最高气温百分位图(图 3)显示, 高温日数为 7 121 d, 其中第 60 分位对应最高气温为 36.3°C 、第 90 分位对应最高气温为 37.7°C 。同理, 高温灾害对应的 14 时相对湿度, 也对数据进行降序排列, 取第 90 分位划分中度和重度指标, 第 90 分位对应的相对湿度为 42%。

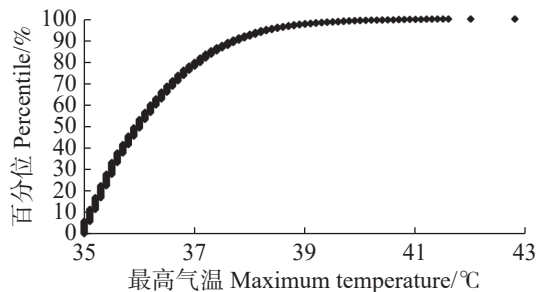


图 3 海南 2015—2024 年 18 市县日最高气温百分位图
Fig. 3 Percentage map of daily highest temperatures in 18 counties in Hainan from 2015–2024

参照气象行业标准 QX/T 82—2019《小麦干热风灾害等级》^[21], 构建榴莲幼树高温灾害日指标, 采用日最高气温为主、14 时相对湿度为辅, 确定日指标如下表 3。

表 3 榴莲幼树日高温灾害等级指标			
Tab. 3 Daily heat disaster index for young durian trees			
日高温灾害		日最高气温/ $^{\circ}\text{C}$	14 时相对湿度/%
Daily heat		Daily maximum	Relative humidity
disasters		temperature	at 14:00
等级	轻度日	$35.0 \leq T_m \leq 36.2$	不限
	Mild days		
	中度日	$36.2 < T_m \leq 37.7$	≥ 42
	Moderate days		
Grade	重度日	$36.2 < T_m \leq 37.7$	< 42
	Severe days		
		$T_m > 37.7$	不限

2.3.3 榴莲幼树高温灾害过程指标和年灾害指标
海南岛每年 3—9 月均会出现多次高温灾害天气过程, 因此评价某一次高温过程对榴莲幼树灾害的影响, 需要构建榴莲幼树高温灾害过程指标。根据达到榴莲幼树高温灾害日等级指标, 根据不同日灾害等级日数, 确定高温灾害过程等级指标(表 4)。

表 4 榴莲幼树高温灾害过程等级指标
Tab. 4 Indicators of heat disaster process in young durian trees

过程灾害	高温灾害日等级天数/d		
	Number of days with heat		
	disaster level		
Heat disaster events	轻度日	中度日	重度日
	Mild days	Moderate days	Severe days
轻度过程	≥ 3	≥ 1	—
Mild events			
中度过程	—	≥ 3	≥ 1
Moderate events			
重度过程	—	—	≥ 3
Severe events			
特重度过程	—	—	≥ 9
Extremely severe events			

注: 连续 3 个轻度日以上记为 1 个轻度过程, 3 个中度日以上记为 1 个中度过程..., 3 个轻度过程以上记为 1 个中度过程..., 以此类推计算。9 个重度数计为 1 个特重度过程。

Note: A consecutive period of 3 or more mild days is equivalent to 1 mild event; a consecutive period of 3 or more moderate days is equivalent to 1 moderate event... Similarly, a consecutive period of 3 or more mild events is equivalent to 1 moderate event, and so on for calculation purposes. In addition, 9 severe days are equivalent to 1 extremely severe event.

评价一整年榴莲幼树高温灾害综合情况, 则根据当年榴莲幼树高温灾害过程发生的次数和等级进行综合评价, 确定榴莲幼树高温灾害年型指标(表 5)。

2.3.4 榴莲幼树高温灾害验证 分析 2025 年 4 月中下旬一次高温过程, 并根据上述表 3 和表 4 的榴莲幼树指标标准, 对部分榴莲主栽区的日高温灾害和过程灾害进行划分(表 6), 可见 2025 年 4 月中下旬高温过程, 乐东山荣出现长达 11 d 的高温灾害过程, 其中日灾害达到重度有 4 d, 中度 2 d, 轻度 5 d, 过程高温灾害等级为重度灾害; 澄迈出现 8 d, 其中重度 4 d, 中度 3 d, 轻度 1 d, 过程灾害为重度灾害; 保亭有 3 d 达到日灾害等级标准, 但因为没连续 3 d 及以上, 因此达不到高温灾害过程指标, 为无高温灾害。

经过实地调研上述 3 个地区榴莲种植园, 大部分园区 2022 年开始定植, 榴莲属于幼树阶段, 乐东山荣某种植园榴莲幼树叶片出现不同程度叶缘干焦、叶面积减少, 甚至出现幼树植株枯死现象(图 4), 而保亭种植园则长势良好, 叶片正常, 无高温影响痕迹(图 5)。

表 5 榴莲幼树高温灾害年型指标

Tab. 5 Annual index of heat disaster in young durian trees

年型灾害 Annual disasters	过程高温灾害 Process-based heat disaster/times			
	轻度过程 Mild events	中度过程 Moderate events	重度过程 Severe events	特重度过程 Extremely severe events
轻度年型 Mild annual type	≥3	≥1	—	—
中度年型 Moderate annual type	-	≥3	≥1	—
重度年型 Severe annual type	-	-	≥3	≥1
特重度年型 Extremely severe annual type	-	-	-	≥3

注: 3次轻度过程记为1个轻度年型, 3次中度过程记为1个中度年型..., 3个轻度年型记为1个中度年型..., 以此类推计算。

Note: Three mild events are equivalent to one mild annual type; three moderate events are equivalent to one moderate annual type... Similarly, three mild annual types are equivalent to one moderate annual type, and so on for calculation purposes.

表 6 2025 年 4 月 15—25 日榴莲幼树高温灾害分析

Tab. 6 Analysis of heat disaster in young durian trees from April 15–25, 2025

日期 Date		04.15	04.16	04.17	04.18	04.19	04.20	04.21	04.22	04.23	04.24	04.25
乐东山荣 Rong shan, Ledong	日最高气温/℃ Daily maximum temperature	35.4	36.0	35.0	36.6	35.9	37.3	37.6	37.8	36.6	37.2	35.0
	14时相对湿度/% Relative humidity at 14:00	36	19	55	50	47	41	38	42	44	47	57
	日高温灾害等级 Daily heat disaster Grade	轻	轻	轻	中	轻	重	重	重	重	中	轻
	过程灾害 Heat disaster events	重度高温灾害										
	日最高气温/℃ Daily maximum temperature	32.5	33.4	36.6	37.0	36.2	37.6	38.5	39.1	38.1	37.1	31.9
澄迈 Cheng mai	14时相对湿度/% Relative humidity at 14:00	27	22	48	44	56	42	39	36	40	49	57
	日高温灾害等级 Daily heat disaster Grade	无	无	中	中	中	重	重	重	重	中	无
	过程灾害 Heat disaster events	重度高温灾害										
	日最高气温/℃ Daily maximum temperature	32.7	31.9	32.9	35.1	34.9	33.4	34.9	36.2	35.3	33.7	32.3
	14时相对湿度/% Relative humidity at 14:00	49	47	63	62	60	61	59	45	56	65	77
保亭 Bao ting	日高温灾害等级 Daily heat disaster Grade	无	无	无	轻	无	无	无	中	轻	无	无
	过程灾害 Heat disaster events	无高温灾害										

2.4 2015-2024 年榴莲幼树高温灾害特征

2.4.1 2015-2024 年榴莲幼树日高温灾害特征

根据上述榴莲幼树日高温灾害指标, 统计海南不同主栽区近 10 年榴莲幼树日高温灾害特征(图 6), 可见北部澄迈出现的日数、重度灾害日数均高于南部榴莲种植区的乐东、保亭、三亚和陵水等地。

1)澄迈榴莲幼树受害日数为 47~102 d, 2019、2020、2021、2023、2024 年重度灾害日数在 21~30 d; 近 10 年年平均受害日数为 81.7 d, 轻、中、重度灾害日数分别占总日数的 42.8%、36.4%和

20.8%。

2)乐东榴莲幼树受害日数为 17~60 d, 重度日数在 0~6 d; 近 10 年年平均受害日数为 38.4 d, 轻、中、重度灾害日数分别占总日数的 71.3%、21.9%和 6.8%。

3)保亭榴莲幼树受害日数为 21~57 d, 重度日数在 0~7 d; 近 10 年年平均受害日数为 35.4 d, 轻、中、重度灾害日数分别占总日数的 74.8%、21.5%和 3.7%。

4)陵水榴莲幼树受害日数为 2~21 d, 无重度灾害; 近 10 年年平均受害日数为 7.2 d, 轻、中度灾害日数分别占总日数的 95.8%和 4.2%。

5)三亚榴莲幼树受害日数为 48~90 d, 其中 2017、2018、



图4 2025年4月乐东某榴莲幼树高温灾害现象

Fig. 4 The phenomenon of heat disaster in young durian trees in Ledong in April 2025



图5 2025年4月保亭榴莲幼树长势良好

Fig. 5 Good growth of young durian trees in Baoting in April 2025

2021年重度日数在2~5 d;近10年年平均受害日数为70.6 d,轻、中、重度灾害日数分别占总日数的78.5%、20.2%和1.3%。

2.4.2 2015~2024年榴莲幼树过程高温灾害特征

根据上述榴莲幼树过程高温灾害指标,统计海南不同主栽区最近10年榴莲幼树过程高温灾害特征(图7),可见过程高温等级和次数与日高温灾害较为一致,北部澄迈均多于南部榴莲种植区的乐东、保亭、三亚和陵水等地。其中:1)澄迈榴莲幼树过程高温灾害为8~16次,除2016、2018年,其余年份均出现1~4次特重度高温灾害过程;近10年过程高温灾害年平均次数为10.7次,轻、中、重、特重度分别为3.4次、3次、2.4次和1.7次。2)乐东榴莲幼树过程高温灾害为3~9次,仅2015、2019年出现重度高温灾害过程;近10年过程高温灾害年平均次数为4.3次,轻、中、重、特重度分别为1.9次、1.6次、0.5次和0.3次。3)保亭榴莲幼树过程高温灾害为1~6次,仅2015、

2020、2021年出现1次特重度高温灾害过程;近10年过程高温灾害年平均次数为5.6次,轻、中、重度分别为3.1次、2.1次和0.4次。4)陵水榴莲幼树过程高温灾害为0~4次,仅2015年出现1次中度高温灾害过程,其余为轻度或无;近10年过程高温灾害年平均次数为1.1次,轻、中度分别为1次和0.1次。5)三亚榴莲幼树过程高温灾害为6~14次,仅2018年出现一次特重度高温灾害过程;近10年过程高温灾害年平均次数为10.1次,轻、中、重、特重度分别为6.2次、3.4次、0.4次和0.1次。

2.4.3 2015~2024年榴莲幼树年高温灾害特征

根据上述榴莲幼树年高温灾害指标,统计海南不同主栽区最近10年灾害特征(表7)。1)澄迈年型高温灾害除2018年为中度,其余年份均为重度~特重灾害;近10年高温灾害评价为重度偏特重度。2)乐东近10年有3年重度、5年中度、1年轻度、1年无高温灾害;年高温灾害评价为中度。3)保亭近10年有1年重度、5年中度、4年轻度;年高温灾害评价为轻度偏中度。4)陵水近10年有2年轻度,其余无高温灾害;年高温灾害评价为无高温灾害。5)三亚近10年有4年重度、6年中度灾害;年高温灾害评价为中度偏重度。

3 讨论

榴莲作为典型热带果树,原产地在东南亚热带地区,该地区属热带季风气候或热带雨林气候。一年内各月平均气温在24~28℃之间,年温差一般不超过5℃,尤其在海洋区域,通常不超过1℃。气温日变化大于年变化,日较差可达10~15℃,但日最高气温很少超过35℃,日最低气温很少低于20℃^[22]。榴莲近年大规模引种至海南种植,与原产地气候条件存在一定差异^[5]。海南地处热带地区北缘,长夏无冬,年平均气温高;干季、雨季明显,冬春干旱,夏秋多雨,多热带气旋;台风、暴雨、干旱等气象灾害频繁;海南岛各地年平均气温22.8~25.8℃,年平均降水量1 819.1 mm^[13]。榴莲种植过程中可能遇到高温干旱、低温阴雨、大风等气象灾害的影响,限制榴莲大面积种植生产。尤其是每年3~10月,海南都会出现较长时间的高温天气过程,其中,澄迈、临高、儋州、昌江、白沙等西北部地区出现日最高气温在40℃以上,对

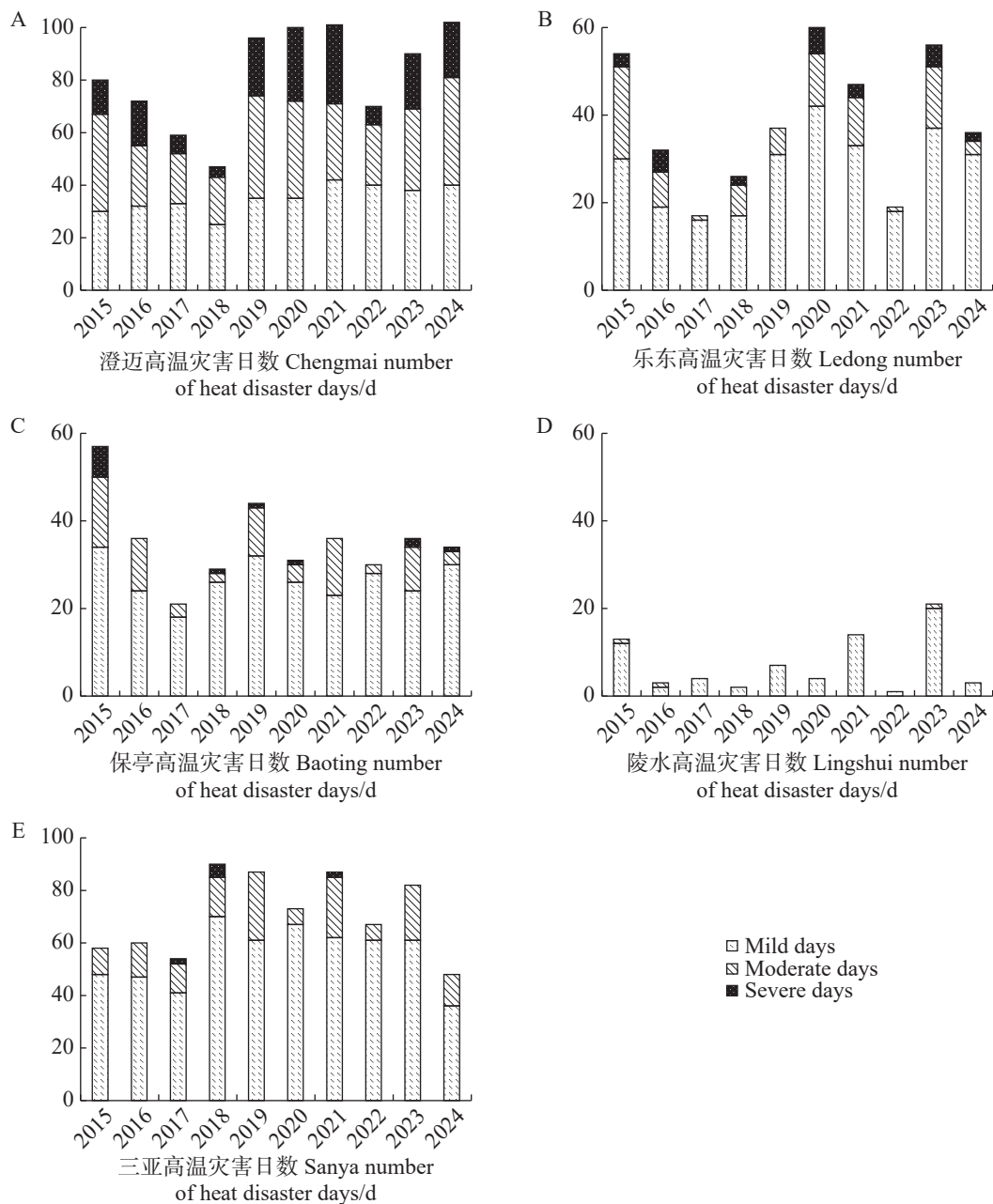


图6 海南主栽区榴莲幼树日高温灾害

Fig. 6 Daily heat disaster on young durian trees in the main planting area of Hainan

农业造成很大影响和损害^[14-15]。研究海南榴莲幼树高温灾害指标和时空分布特征,对海南榴莲种植选址、榴莲灾害防御、榴莲气象灾害保险理赔等均有较大的参考意义。

在缺乏榴莲幼树高温灾害观测资料、产量和品质等测定数据前提下,采用百分位阈值法对榴莲幼树高温灾害指标进行划分,具有一定的科学性和实用性。在现行的气候预测技术指导下,可以用于指导榴莲幼树种植管理实践。但是本研究结果也存在一定的不足,比如不同高温胁迫是如何影响榴莲幼树内在激素和养分变化,从而影响

生长量、枝条、开花和挂果、产量和品质^[23-24]的形成等,并没有涉及。下一步工作可以根据目前的研究成果,针对不同栽培地区,不同榴莲品种、不同生育期,对榴莲生长量、果实品质等进行高温胁迫研究;同时也需要对高温、低湿、干旱等复合气象灾害影响进行研究。

4 结 论

1)通过分析 2025 年一次高温过程气温和相对湿度日变化,选取日最高气温和 14 时相对湿度作为监测榴莲高温灾害的主要气象因子和关键时段。

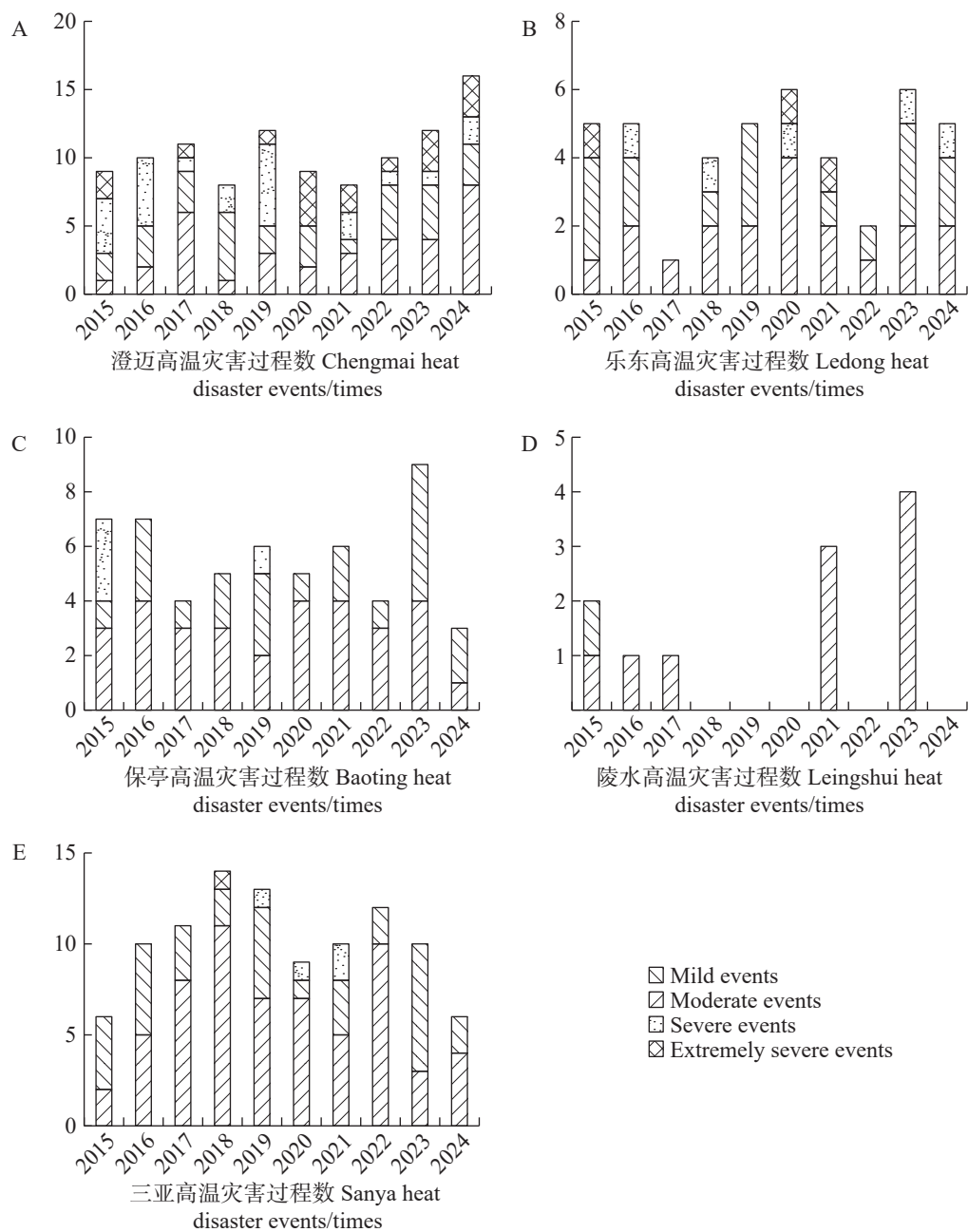


图 7 海南主栽区榴莲幼树高温灾害
Fig. 7 Heat disaster processes of young durian trees in the main planting area of Hainan

表 7 海南主栽区榴莲幼树年高温灾害等级

Tab. 7 Annual heat disaster of young durian trees in the main planting area of Hainan

主栽区 Main planting area	年份 Year									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
澄迈 Chengmai	特重度	重度	重度	中度	特重度	特重度	重度	重度	特重度	特重度
乐东 Ledong	重度	中度	无	中度	中度	重度	重度	轻度	中度	中度
保亭 Baoting	重度	中度	轻度	中度	中度	轻度	中度	轻度	中度	轻度
陵水 Lingshui	无	无	无	无	无	无	轻度	无	轻度	无
三亚 Sanya	中度	中度	中度	重度	重度	中度	重度	中度	重度	中度

2)在缺乏榴莲受害数据的基础上,采用百分位阈值法,即取日最高气温升序排序第60分位(36.3℃)和第90分位(37.7℃),以及14时相对湿度降序排序第90分位(42%)作为阈值,构建榴莲幼树高温灾害日指标;根据高温灾害过程的等级和对应日数,构建榴莲幼树过程灾害指标;根据过程灾害等级和对应次数,构建榴莲幼树高温灾害年型指标。

3)海南省2015—2024年主栽区榴莲幼树高温灾害日数在7.2~81.7 d,过程高温灾害总次数在1.1~10.7次,年型在轻度-重度以上均有出现。榴莲幼树生长过程中遭遇高温灾害的概率很大。

4)最近10年,澄迈榴莲幼树高温灾害日数为47~102 d,过程高温灾害为8~16次,年型灾害为重度偏特重灾害;其次是三亚为48~90 d,过程高温灾害为6~14次,年型灾害为中度偏重灾害;第三是乐东为17~60 d,过程高温灾害为3~9次,年型灾害为中度灾害;保亭和陵水,受害日数相对较少,过程也较轻,年型灾害为无害或轻度偏中灾害。总体而言,北部榴莲种植区高温灾害重于南部,分别为澄迈>三亚>乐东>保亭>陵水。

5)经过实地调查,近年来各地榴莲种植户均反映,由于夏秋季节高温,幼树均出现不同程度的热害症状。澄迈、三亚和乐东幼树受害程度均重于保亭、陵水地区,这与本研究结果相符。海南榴莲种植栽培中,建议做好高温灾害防御措施,例如建遮阳网、喷灌/喷雾系统以及间种套种其他作物,改变榴莲园区局地小气候环境,降低榴莲高温危害。

参考文献:

- [1] 赵玉山. 海南: 首批国产榴莲在三亚上市[J]. 中国果业信息, 2024, 41(1): 59–60. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-1514.2024.01.059>
- [2] 辛曙丽, 刘永华, 陈庆河. 中国榴梿产业发展现状·研究进展及展望[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(24): 21–26. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2025.24.004>
- [3] 中国日报网. 从一颗榴莲的“数字进化论”看50载中泰贸易开启智慧新篇章[EB/OL]. (2025-07-02)[2025-11-01]. https://news.cnr.cn/native/gd/20250702/t20250702_527240299.shtml
- [4] 冯学杰, 华敏, 郭利军, 等. 海南榴莲产业的培育对策与发展建议[J]. 中国热带农业, 2019(6): 12–14. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0658.2019.06.005>
- [5] 张海东, 汪全伟, 吴伟怀, 等. 海南榴莲产业发展对策[J]. 热带农业工程, 2024, 48(5): 40–42.
- [6] 来泽森, 荣渝虹, 李紫玉, 等. 国内榴莲产业发展现状、挑战与建议[J]. 热带农业科技, 2025, 48(3): 27–31. <https://doi.org/10.16005/j.cnki.tast.20250212>
- [7] Sangpong L, Khaksar G, Pinsorn P, et al. Assessing dynamic changes of taste-related primary metabolism during ripening of durian pulp using metabolomic and transcriptomic analyses[J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 687799. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.687799>
- [8] 乔阳, 邓会栋, 郭利军, 等. 环境因子对海南主栽榴莲品种幼树生长的影响[J]. 中国果树, 2025(2): 84–91. <https://doi.org/10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2025.02.012>
- [9] 冯学杰, 郭利军, 邓会栋, 等. 槟榔园套种榴莲管理技术[J]. 中国果树, 2023(5): 120–122. <https://doi.org/10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2023.05.023>
- [10] 何红照, 周兆禧, 李新国, 等. 低温胁迫下不同品种榴莲幼苗叶片解剖结构及光合特性分析[J]. 中国南方果树, 2026, 55(2): 113–120. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.20240623>
- [11] 邓会栋, 郭利军, 华敏, 等. 不同种植模式对海南榴莲幼树生长的影响[J]. 中国热带农业, 2023(1): 56–61. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0658.2023.01.008>
- [12] 冯学杰, 罗志文, 郭利军, 等. 榴莲幼树栽培关键技术[J]. 中国热带农业, 2022(5): 77–80, 76. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-0658.2022.05.013>
- [13] 王春乙. 海南气候[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 200.
- [14] 陈小敏, 李伟光, 梁彩红, 等. 海南岛主要农业气象灾害特征及防御措施分析[J]. 热带生物学报, 2022, 13(4): 416–421. <https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.04.014>
- [15] 邢彩盈, 张京红, 吴胜安. 近50年海南岛高温日数和热浪的气候特征[J]. 中国农学通报, 2017, 33(22): 107–112. <https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.casb16070015>
- [16] 刘云鹏. 长江中下游气候变化与柑桔花期高温热害[J]. 中国南方果树, 1997, 26(1): 25. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.1997.01.015>
- [17] 谢远玉, 刘云香, 黄莹. 江西脐橙高温低湿灾害气候特征及原因分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(30): 144–150. <https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.casb16050124>
- [18] 廖红玲, 黄伟, 廖书红, 等. 近30a龙南脐橙高温低湿影响期的气候变化特征[J]. 农业与技术, 2013, 33(12): 116–117. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-962X.2013.12.092>
- [19] 何寿仁. 江西南丰县南丰蜜桔主要气象灾害变化趋势[J]. 中国南方果树, 2013, 42(6): 42–45. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.2013.06.004>
- [20] 张秋锦, 黄一民, 郝丽婷, 等. 基于百分位阈值法的洞庭湖流域高温热浪时空特征[J]. 气象与环境学报, 2025, 41(1): 66–73. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-503X.2025.01.008>
- [21] 中国气象局. QX/T 82—2019 小麦干热风灾害等级[S]. 北京: 气象出版社, 2019.

- [22] 周淑贞. 气象学与气候学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1997: 210. [20230637](#)
- [23] 朱振忠, 周兆禧, 陈妹姑, 等. 榴莲果实品质与矿质元素的灰色关联度和通径分析[J]. *中国南方果树*, 2024, 53(6): 76–82. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431>.
- [24] 吴晓慧, 邓会栋, 李斯宇, 等. 榴莲果实主要成分及分子标记研究进展[J]. *热带农业科学*, 2023, 43(4): 22–28. <https://doi.org/10.12008/j.issn.1009-2196.2023.04.005>

Heat disaster of young durian trees in Hainan

Chen Xiaomin^{1,2#}, Feng Xuejie^{1,3*}, Huang Haijie^{1,3}, Deng Huidong^{1,3},
Zhang Jinghong², Huang Haizhi⁴

(1. Key Laboratory of Genetic Resources Evaluation and Utilization of Tropical Fruits and Vegetables (Co-construction by Ministry and Province) Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Tropical Fruit Tree Biology of Hainan Province, Haikou, Hainan 571100, China; 2. Hainan Climate Center/Hainan Key Laboratory for Prevention and Mitigation of South China Sea Meteorological Disaster, Haikou, Hainan 570203, China; 3. Institute of Tropical Fruit Trees, Hainan Academy of Agricultural Sciences/Haikou Tropical Fruit Tree Scientific Observation and Experimental Station, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Hainan Field Scientific Observation and Research Station for Tropical Fruit Trees, Haikou, Hainan 571100, China; 4. Sanya Meteorological Bureau/Sanya National Climate Observatory, Sanya, Hainan 572000, China)

Abstract: To effectively utilize climate resources and establish a long-term effective disaster prevention system to promote the healthy development of the durian industry in Hainan, the diurnal variation process of high temperatures was analyzed. The daily maximum temperature, supplemented by relative humidity at 14:00 was selected as the key meteorological indicator for high temperature disasters. The percentile threshold method was used to construct classification indices for daily high temperature disasters, process-based high temperature disasters, and annual high temperature disaster types for young durian trees. The results showed that from 2015 to 2024, the number of days affected by high temperature disasters for young durian trees in major durian cultivation areas of Hainan ranged from 7.2 to 81.7 days, that the total frequency of process-based high temperature disasters ranged from 1.1 to 10.7 times, and that annual high temperature disaster types ranged from mild to severe and above. Based on comprehensive analysis of indicators including total high temperature days, days with severe and above disasters, total frequency of disaster processes, frequency of severe and above processes, and annual disaster classification, high temperature disasters were more severe in northern durian cultivation areas than in southern areas, with the distribution pattern being in the order of Chengmai > Sanya > Ledong > Baoting > Lingshui. The probability of young durian trees encountering high temperature disasters during growth in Hainan is substantial; therefore, priority should be given to implementing high temperature disaster prevention measures in cultivation practices, modifying local microclimate conditions in durian orchards, and reducing high temperature damage to durian trees.

Keywords: *Durio zibethinus* Murr.; Hainan; young trees; heat disasters; percentile threshold method

(责任编辑: 邹游兴)