气象因子对荔枝成花率的影响及预测模型探讨

姜泳如[1] 张劲梅[1,2*] 项倩[1] 饶小强[1] 尹淑娴[1] 陈楚梦[1]

（[1]广东省东莞市气象局 广东东莞 523086

[2]东莞市城市生态环境气象工程技术研究中心 广东东莞 523086）

摘 要：利用东莞近14年荔枝成花率和气象数据，构建荔枝成花率指数，运用相关分析和建立回归模型探讨了关键气象因子对荔枝成花率的影响及预测方法。结果表明：荔枝成花关键期（上年10月至当年2月）的气象因子存在显著“大小年”差异：“大年”上年10月气温日较差（DTR≥7℃）和日照时数（S≥220h）较高，12月至当年1月平均气温较低（T_m≤16℃），2月下旬气温较高（18℃≤Tm≤24℃），且关键期降水量与湿度较小；上年10月的日照时数（S）、气温日较差（DTR）、相对湿度（RH）和降水量（PR）以及12月上旬、当年2月下旬的气温与荔枝成花率显著相关；通过构建一元线性回归模型，确定了关键气象因子阈值（如：上年10月S≥182h、PR≤80mm、RH≤69%、DTR≥6.7℃，上年12月T_{min}≤13.3℃，当年2月下旬T_{max}≥21.3℃等），并构建多元逐步回归预测模型（R^2 = 0.8957），验证表明模型可有效预测成花率趋势。该研究结果为荔枝栽培管理及产量预测提供了科学依据。

关键词：荔枝；成花率；气象因子；线性回归；预测模型

Effects of Meteorological Factors on Litchi Flowering Rate and Development of a Predictive Model

JIANG Yongru[1], ZHANG Jinmei[1,2*], XIANG Qian[1], RAO Xiaoqiang[1], YIN Shuxian[1], CHEN Chumeng[1]

基金项目：广东省气象局科研项目（GRMC2023M64）；广东省荔枝特色农业气象服务中心成员单位东莞市气象局2023年科研项目（202306）。

作者简介：姜泳如（1998—），女，硕士，助理工程师，主要从事天气预报及应用气象工作。E-mail: 1009214156@qq.com

[*]**通信作者：**张劲梅（1969—），女，本科，高级工程师，主要从事天气报测及应用气象、服务等工作。E-mail: 156592752@qq.com

([1]Dongguan Meteorological Service, Dongguan 523086, Guangdong;
[2]Dongguan Engineering Technology Research Center of Urban Eco-Environmental Meteorology, Dongguan 523086, Guangdong)

Abstract: Based on 14 years of litchi flowering rate and meteorological data from Dongguan, this study constructed a flowering index and applied correlation analysis and regression modeling to investigate the influence of key meteorological factors on litchi flowering rate and to explore predictive methods. The results indicated that significant differences in meteorological conditions between "high-yield year" and "low-yield year" were observed during the critical flowering period (from October of previous year to February of current year). High-yield year were characterized by a higher diurnal temperature range (DTR ⩾ 7 °C) and increased sunshine hours (S ⩾ 220 h) in October, lower average temperature (Tm ⩽ 16 °C) from December to January, higher temperature in late February (18 °C ⩽ Tm ⩽ 24 °C), and reduced precipitation and humidity throughout the critical period. Significant correlations were observed between flowering rate and sunshine hours (S), diurnal temperature range (DTR), relative humidity (RH), and precipitation (PR) in October, as well as temperatures in early December and late February. Thresholds of key meteorological factors were established through univariate linear regression models (e.g., October S ⩾ 182 h, PR ⩽ 80 mm, RH ⩽ 69%, DTR ⩾ 6.7 °C; December T_{min} ⩽ 13.3 °C; late February T_{max} ⩾ 21.3 °C). A multivariate stepwise regression prediction model was then developed (R^2 = 0.8957), and validation results confirmed its effectiveness in predicting flowering rate trends. These findings provide a scientific basis for litchi cultivation management and yield prediction.

Keywords: litchi; flowering rate; meteorological factors; linear regression; predictive model

荔枝是我国特色水果，其产量受成花率影响显著。研究表明，气象条件是决定成花率的核心因素之一，光照、温度和降水等因子通过影响营养积累与花芽分化调控成花进程[1-3]。例如，低温促进休眠期花芽生理分化[4,5]，而充足光照和适度干旱有利于光合产物积累并抑制冬梢抽生[6-8]。然而，现有研究多聚焦于定性分析，气象因子与成花率的定量关系及预测模型尚不完善。

近年来，极端气候事件频发，荔枝成花率波动加剧。如2024年东莞因暖冬导致成花率不足30%[9]，产量创10年新低；而2018年、2023年寒潮适时入侵则使成花率超90%[10-12]。此类现象凸显气象因子动态阈值识别与预测模型构建的迫切需求。尽管已有学者尝试建立产量预测模型[13,14]，但针对成花率的关键气象阈值及多因子综合作用机制仍需深入探讨。本文以东莞为例，基于14年的气象与成花率数据，一是识别影响成花率的关键气象因子，二是量化气象因子与成花率的关系并确定阈值，三是构建多元回归预测模型，以期为优化荔枝栽培策略及应对气候变化提供理论支持。

一、材料和方法

（一）荔枝成花率资料与指数设定

据广东省农业农村厅和东莞市农业农村局多年荔枝生产数据显示，东莞2011—2024年荔枝成花率及年景如表1，荔枝产量大的年份（2014年、2015年、2018年、2020年、2021年、2023年，以下称“大年”），成花率普遍有80%～95%，而荔枝产量小的年份（2016年、2017年、2019年、2022年、2024年，以下称“小年”），成花率一般不到50%。由于荔枝成花率统计数据不够全面，难以进行量化计算。因此，为了方便定量研究荔枝成花率与气象因子的关系，将设定一个成花率指数（Flowering Index，FI）：成花率在50%以下定为“小年”，FI = 1；成花率在50%～80%之间定为平年，FI = 2；成花率在80%以上定为“大年”，FI = 3。

（二）成花关键期确定

荔枝成花率是决定荔枝产量的核心因素，有花

表1　东莞2011—2024年荔枝成花率、年景和成花率指数

年份	成花率/%	年景	成花率指数（FI）	年份	成花率/%	年景	成花率指数（FI）
2011年	60～80	平年	2	2018年	90	大年	3
2012年	65	平年	2	2019年	50	小年	1
2013年	70～80	平年	2	2020年	80～95	大年	3
2014年	90	大年	3	2021年	80	大年	3
2015年	80	大年	3	2022年	40～50	小年	1
2016年	10	小年	1	2023年	90	大年	3
2017年	40～60	小年	1	2024年	10～50	小年	1

才有果，有果才有量。东莞市每年的上年10月至当年2月是荔枝母枝营养生长到生殖生长的过渡期，是能否完成花芽分化、进入开花期的关键期，这时期的气象条件对荔枝成花有重要的作用[6,7]。因此，将上年10月至当年2月定为荔枝成花关键期。

（三）气象资料

气象数据的来源是东莞国家基本气象站，研究时段为2010/2011年至2023/2024年10月至翌年2月（10—12月均指上年的10—12月，1—2月均指当年的1—2月，下同）。通过前期的调研、分析，选取了气温（平均气温T_m、最高气温T_{max}、最低气温T_{min}、气温日较差DTR）、光照（日照时数S）、水分（降水量PR、相对湿度RH）等气象因子进行分析。这些数据具有较高的代表性和稳定性。

二、结果与分析

（一）成花关键期“大小”年景气象因子差异

从气温、光照、水分3个方面分析“大小”年景气象因子的差异，探讨其对荔枝成花率的影响。

1. 气温

从逐日气温、日温差因子分析可见，10月、12月至1月和2月下旬，气温日较差DTR（图1）、日平均气温T_m（图2）、日最低气温T_{min}（图3）和日最高气温T_{max}（图4）4个因子在“大小”年景的差异较大。

（1）“大年”的10月、12月下旬至1月DTR普遍高于“小年”：10月、12月下旬至1月“大年”的DTR大多超过7℃，而“小年”则通常低于6℃（图1）。10月DTR大有利于荔枝末次梢母枝净光合营养物质的积累、老熟，为进入下一阶段花芽生理分化静止休眠期储备足够的热量、能量，有利于提高成花率及丰产。这与肖秋生“荔枝成花与末次梢叶片成熟度和温度等内外因子密切相关”[15]、梁立峰“荔枝获得良好收成的前提条件，首先是具备充足的树体营养”的研究结论一致[12]。12月下旬至1月是花芽分化诱导期，DTR大，净光合营养物质积累充足，有利于花芽分化。

（2）12月至1月是静止休眠期、花芽生理分化期，“大年”与“小年”比较，“大年”普遍$T_m \leqslant 16$℃，低于同期本市气候值16.4℃，而“小年”$T_m \geqslant 17$℃（图2）；“大年”多次出现持续7d以上$T_{min} \leqslant 14$℃，甚至某些年份常有$T_{min} \leqslant 8$℃，而小年的降温过程较短，通常不超过5d，且$T_{min} \leqslant 8$℃的天数较少；“大年”降温时间出现较早，普遍在12月上旬开始，且$T_{min} \leqslant 14$℃，而“小年”12月上旬$T_{min} \geqslant 14$℃，12月中旬才出现较强降温（图3）。可见，此期间“大年”气温低、低温持续时间长、降温出现时间早。气温低能抑制营养生长，促使其迅速进入静止休眠状态，完成生理分化的过渡，避免因气温高、结果母枝营养生长旺盛而抽发冬梢，无法进入生殖生长。

（3）“大年”的2月下旬T_m、T_{max}和DTR均高于“小年”，这时段正是荔枝进入抽穗、孕蕾期。“大年”T_m介于18～24℃之间，$T_{min} \geqslant 14$℃，T_{max}介于22～25℃之间，DTR ≥ 7℃，天气逐日回暖；“小年”则仍有阶段性低温过程，$T_{min} \leqslant 14$℃，

DTR ≤ 7℃。可见，该时期温度回升、阳光充足有利于花芽萌动、抽穗、提高成花率，气温过低则不利于花芽萌动或容易冻伤花芽，影响成花。

2. 光照

如图5所示，“大年”与“小年”在日照时数（S）上存在明显差异。从10月至2月，“大年”S超过6h的天数更多，远高于“小年”，其中“大年”与“小年”在10月的对比更加明显，“大年”累计S普遍超过同期气候值，S常常超过8h，而“小年”累计S低于气候值，经常处于寡照的状态，大多天数的S小于6h。据统计，“大年”10月累计S均超过220h，高于气候值203.1h，日均7.1h，而小年则均低于180h，日均5.8h。因此，认为在荔枝末次梢老熟期，也就是母枝即将进入休眠前夕，日照多寡将影响荔枝成花。充足的日照有利于增强光合作用，制造大量有机物，培养健壮的母枝，有利于成花，提高产量[11]。

3. 水分

在10月至2月，“大年”的水分条件较“小年”差（图6和图7）。“大年”的RH总体低于“小年”（图6），特别是在10月，“大年”的RH几乎都在70%以下，而“小年”的RH几乎都超过70%，而在12月下旬至1月也出现“大年”的RH明显低于“小年”（“大年”只有50%～70%，而“小年”则有70%～85%）。在降水方面，“大年”的强降水过程、降水次数和雨量明显少于“小年”（图7）。在秋季（10—11月），“大年”几乎未出现强降水（图7A），每年仅有1～2次降水过程，且日降雨量几乎都在30mm以下，而“小年”则常伴随暴雨或持续降水过程（图7B）。例如：“小年”年景的2017年、2022年10月都出现了1次强降水过程，PR可达80～90mm；2015年10月及12

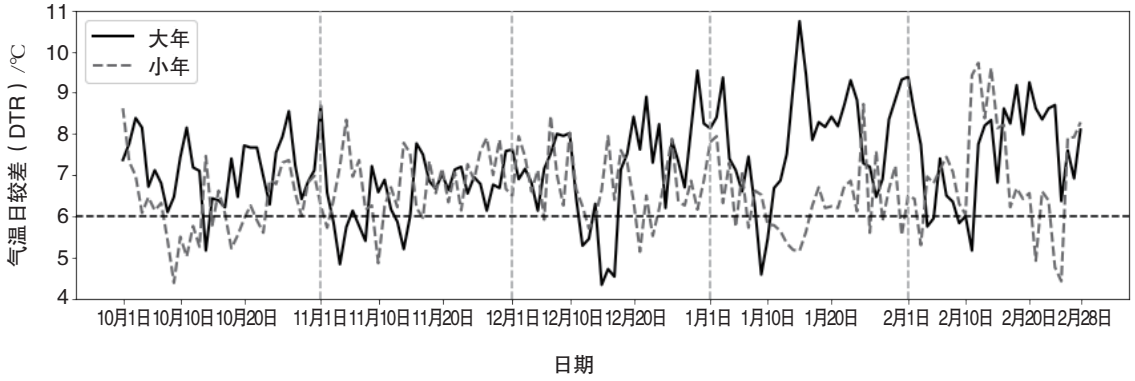


图1 东莞荔枝成花率“大年”和“小年”在上年10月至当年2月的DTR合成图

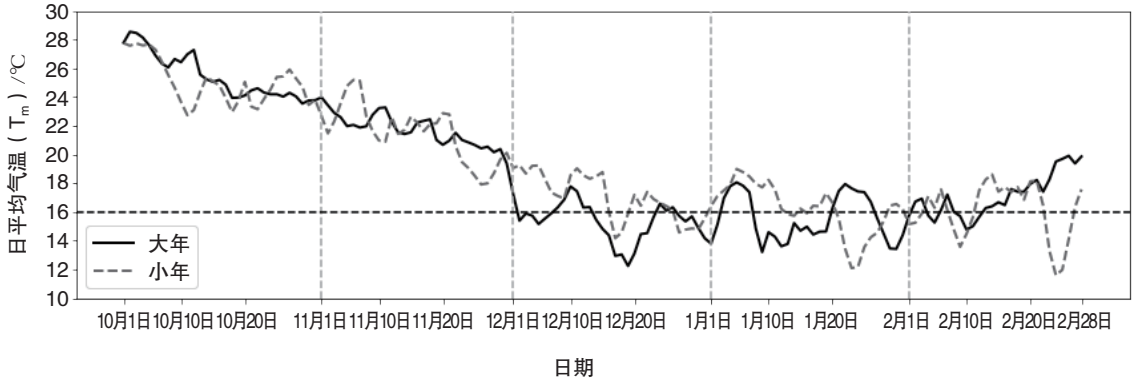


图2 东莞荔枝成花率“大年”和“小年”在上年10月至当年2月的T_m合成图

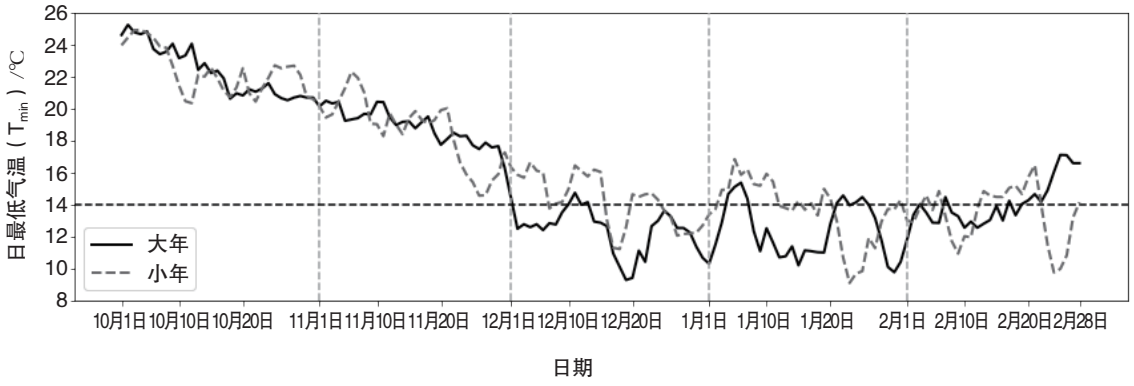


图3　东莞荔枝成花率“大年”和“小年”在上年10月至当年2月的T_{min}合成图

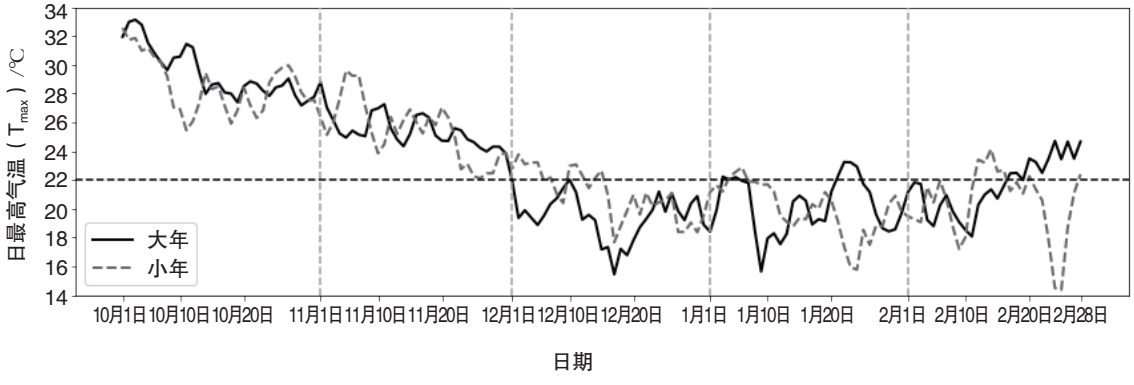


图4　东莞荔枝成花率“大年”和“小年”在上年10月至当年2月的T_{max}合成图

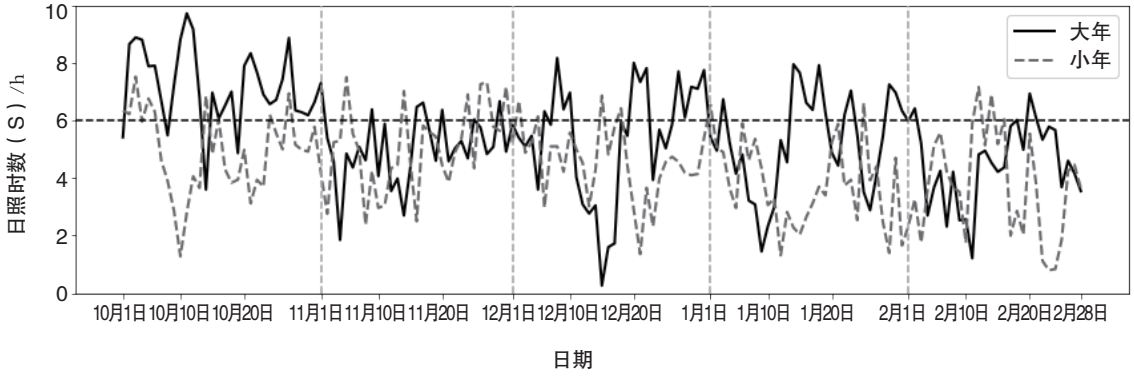


图5　东莞荔枝成花率“大年”和“小年”在上年10月至当年2月的S合成图

月至2016年1月则是出现了4次强降水过程，且每次最大PR都超过50mm。可见，少雨干燥天气有利于成花、丰产。

（二）成花关键期影响显著的气象因子

通过计算2011—2024年成花关键期逐旬、逐月气象因子与成花率指数的相关性，得到对荔枝成花率影响显著的气象因子。根据相关性计算结果（表2），与荔枝成花率指数呈较强相关的气象因子集中在10月、12月和2月，其中：10月S（r = 0.76）、DTR（r = 0.67）与荔枝成花率指数呈强正相关，水

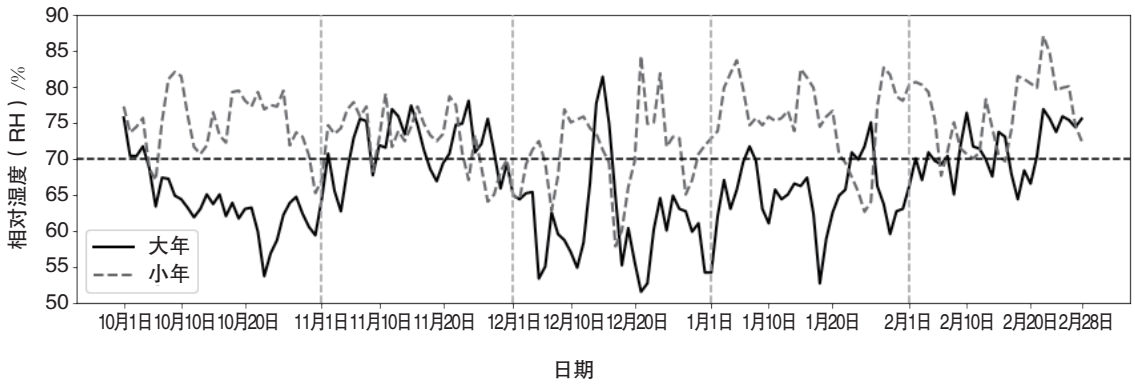


图6　东莞荔枝成花率“大年”和“小年”在上年10月至当年2月的RH合成图

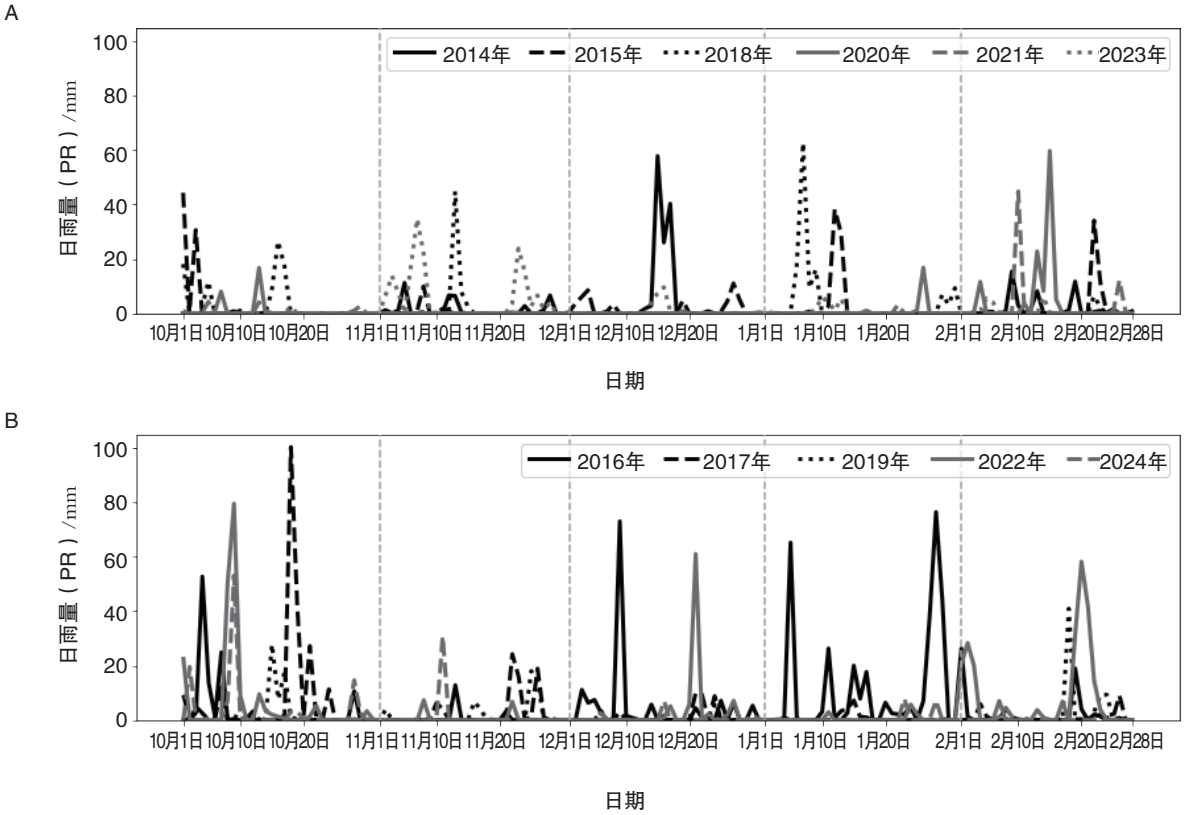


图7　东莞荔枝成花率“大年”（A）和“小年”（B）在上年10月至当年2月的PR逐日变化图

分因子RH（r = –0.75）和PR（r = –0.68）与荔枝成花率指数呈强负相关，均通过95%显著性检验，这表明10月是荔枝末次梢、结果母枝老熟期，这时较大的日温差、充足的阳光以及相对干燥天气，有利于增强光合作用，促进营养物质的累积，为进行休眠期储备充足的能量；12月T_{min}、上旬的T_m及T_{min}与荔枝成花指数呈较强负相关（r = –0.62、r = –0.62和r = –0.66），通过90%显著性检验，12月下旬DTR（r = 0.58）及S（r = 0.57）则呈较强的正相关，而RH（r = –0.53）呈较强负相关，说明在12月初期需要较低气温迅速进入休眠，后期要充足光合物质补充进行花芽分化；2月的温度、光照与荔

枝成花率指数呈显著正相关，其中，下旬T_{max}（r = 0.74）和T_m（r = 0.71）通过95%显著性检验，气温回升、阳光充足有利于花芽萌动、露白、抽穗，完成花芽分化。

（三）荔枝成花率指数与显著气象因子建模

1. 一元线性回归模型

为揭示气象因子与荔枝成花率之间的定量关系，挑选出相关系数大于0.6的气象因子与荔枝成花率指数进行一元线性回归，并评估模型的拟合度，结果如图8所示。

表2 东莞荔枝成花率指数与气象因子的相关性

气象因子	相关系数r
10月S	0.76^{**}
10月RH	-0.75^{**}
2月下旬T_{max}	0.74^{**}
2月下旬T_m	0.71^{**}
10月PR	-0.68^{**}
10月DTR	0.67^{**}
10月下旬RH	-0.67^{**}
12月上旬T_{min}	-0.66^{*}
12月上旬T_m	-0.62^{*}
12月T_{min}	-0.62^{*}
12月下旬DTR	0.58^{*}
12月下旬S	0.57^{*}
12月下旬RH	-0.53^{*}

注：*与**分别代表通过90%和95%显著性检验

10月日照时数：10月S与荔枝成花率指数呈现强正相关（图8A）。回归方程$y = 0.0158x - 0.8739$表明，S的增加有助于提高荔枝成花率。若要达到中高成花率（$y \geq 2$），则10月S ≥ 182h。R^2值为0.57，说明模型解释了57%的荔枝成花率变化。这强调了10月的光照在植物光合作用中的重要性，为荔枝母枝进入休眠期储备充足营养。

10月水分因子：10月PR、RH及下旬RH都与荔枝成花率指数呈现强负相关。回归方程分别为$y = -0.0093x + 2.7464$（图8B）、$y = -0.1079x + 9.4716$（图8C）和$y = -0.0637x + 6.3220$（图8D），R^2值分别为0.47、0.57和0.45，说明水分的增加会降低荔枝成花量。若要达到中高成花率（$y \geq 2$），则10月的PR ≤ 80 mm、RH ≤ 69%，下旬RH ≤ 68%。降水量偏少，有利于抑制冬梢抽生，减少树体营养消耗；空气相对湿度偏少，在一定程度上降低病虫害发生的风险。

10月DTR：10月DTR与荔枝成花率指数呈现强正相关（图8E）。回归方程$y = 0.9169x - 4.1175$，R^2值为0.54，日夜温差大有利于养分积累、成花量的提高。若要达到中高成花率（$y \geq 2$），则10月的DTR ≥ 6.7℃。

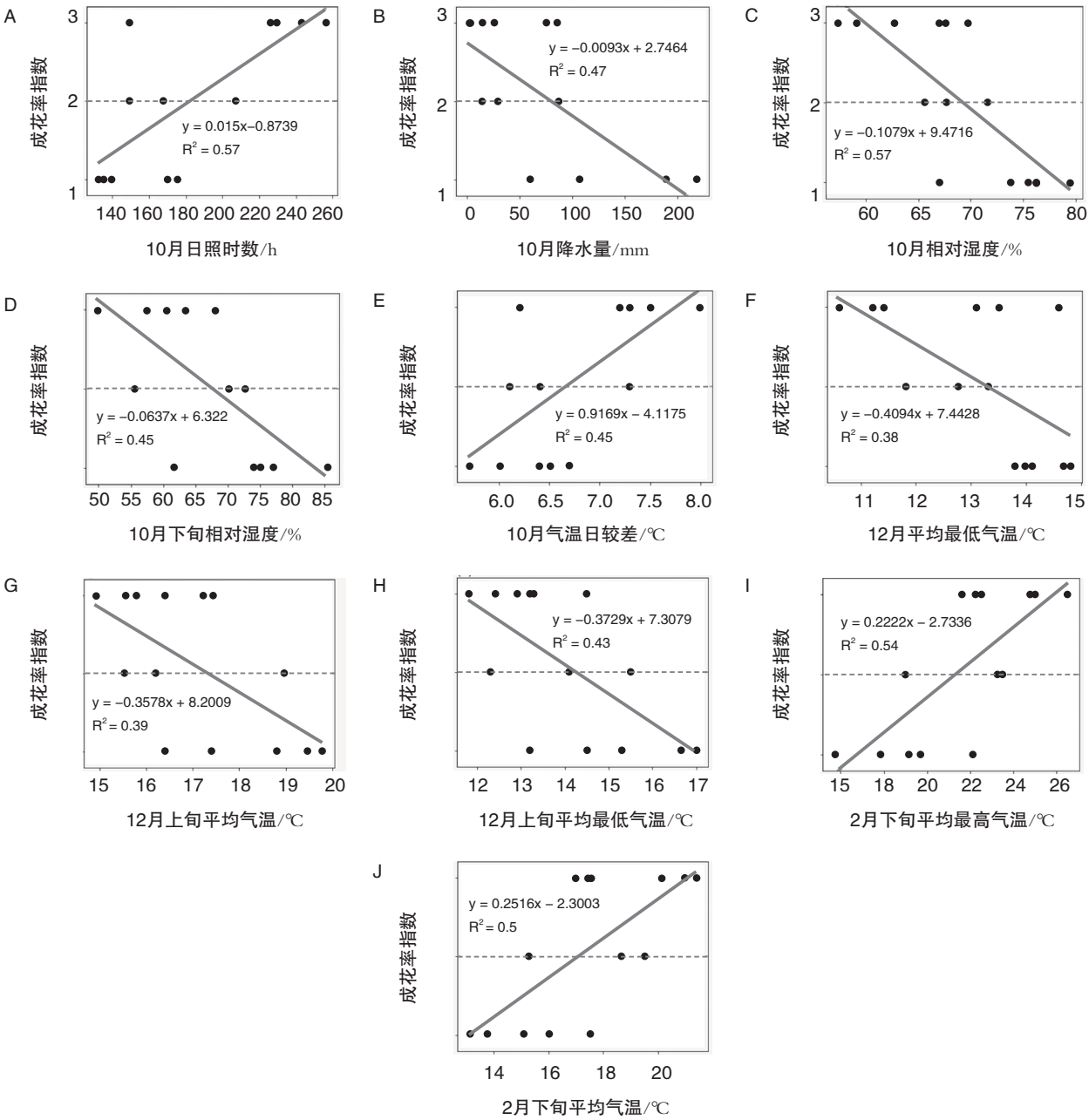
12月气温：12月的平均T_{min}、上旬T_m及平均T_{min}与荔枝成花率指数呈现较强负相关。回归方程分别为$y = -0.4094x + 7.4428$（图8F）、$y = -0.3578x + 8.2009$（图8G）和$y = -0.3729x + 7.3079$（图8H）。R^2值分别为0.38、0.39和0.43，3个回归方程都表明气温的升高会导致荔枝成花率的减小，过高的温度促进营养生长，抑制荔枝向生殖生长的转化，影响成花。若要达到中高成花率（$y \geq 2$），则12月的平均T_{min} ≤ 13.3℃、上旬的T_m ≤ 17.3℃和上旬的平均T_{min} ≤ 14.2℃。

2月气温：与12月的情况相反，2月下旬的平均T_{max}及T_m与荔枝成花率指数呈现较强正相关。回归方程分别为$y = 0.2222x - 2.7336$（图8I）和$y = 0.2516x - 2.3003$（图8J），R^2值分别为0.54和0.50，这表明，气温的升高有助于荔枝花芽萌动、花序形成，完成花芽分化。若要达到中高成花率（$y \geq 2$），则2月下旬的平均T_{max} ≥ 21.3℃和T_m ≥ 17.1℃。

值得注意的是，所有模型的R^2值都低于0.6，这意味着还有相当一部分的荔枝成花率变化未被模型捕捉，上述仅是从气象因素方面分析，人工技术等的干预也会对荔枝成花率有积极的影响。

2. 多元线性回归模型

气象因子对荔枝成花率有显著影响，其中10月日照时数、气温日较差以及2月下旬的气温与荔枝成花率呈正相关，而12月上旬的气温以及10月相对湿度、降水量与荔枝成花率呈负相关。这表明荔枝成花率不仅受单一气象因子的影响，而且受多种气象因子综合作用。因此，下面运用多元逐步线性回归方法进一步分析荔枝成花指数与关键气象因子之



A：10月日照时数；B：10月降水量；C：10月相对湿度；D：10月下旬相对湿度；E：10月气温日较差；F：12月平均最低气温；G：12月上旬平均气温；H：12月上旬平均最低气温；I：2月下旬平均最高气温；J：2月下旬平均气温

图8　成花率指数与气象因子的一元线性回归模型

间的关系，建立多元回归方程。

将2011年至2022年的数据作为训练集，建立气象因子对荔枝成花率指数的预测模型，将2023年与2024年的数据作为检验集，用2023年和2024年的预测数据，来检验预测模型的预测效果，建立的预测模型如下：

$$FI = 7.7613 + 0.0244 \times S_Oct - 0.0004 \times PR_Oct - 0.2527 \times T_{min}_Early - Dec + 0.1320 \times T_{max}_Late - Feb -$$

$1.4106 \times DTR_Oct$

其中*FI*为成花率指数（Flowering Index），*S_Oct*为10月日照时数，*PR_Oct*为10月降水量，T_{min}_*Early-Dec*为12月上旬平均最低气温，T_{max}_*Late-Feb*为2月下旬平均最高气温，*DTR_Oct*为10月气温日较差，日照时数单位为小时（h），降水量单位为毫米（mm），气温和气温日较差单位为摄氏度（℃）。该方程$R^2 = 0.8957$，$F = 4.9053$，回归模型的*F*检验在0.05水平上显著。

回归模型与荔枝成花率指数原始数据（黑线）的预测值（灰线）之间的比较（图9），提供了模型拟合度的直观评估。在多数年份中，黑线和灰线很接近，两条曲线的相关系数也高达0.93，表明所采用的回归模型能够有效捕捉荔枝成花率的长期趋势。通过此预测模型得出的2023年与2024年成花率指数分别为2.58和1.48，即2023年和2024年分别为荔枝成花“大年”和“小年”，与实际情况相符，这证明了该模型能有效地通过上年10月至当年2月的关键气象因子来预测成花率的大小。然而，对于某些年份出现的偏差，这可能暗示了模型在解释特定年份成花率波动方面的局限性，提示可能需要进一步考虑其他影响因素或改进模型。

三、结论与讨论

（一）结论

东莞市荔枝成花率“大小”年景在成花关键期气象因子的差异的分析结果表明：（1）气温对成花的影响具有阶段性：10月的温差大有利于成花；12月至1月的低温天气有利于花芽分化和成花，若低温积累不够则不利于成花；2月下旬适宜的温度和温差大有助于成花，低温和温差小则不利于成花。（2）日照时数在整个关键期为显著正影响，其中10月最强，充足的日照有利于成花。（3）水分在整个关键期为显著负影响，其中10月影响最强，10月雨水少、相对湿度小，有利于成花。

将成花率指数与气象因子进行相关性分析，找出了影响荔枝成花的显著气象因子：10月的日照时数和气温日较差与成花率呈显著正相关，10月的相对湿度和降水量与成花率呈显著负相关；12月上旬的气温（平均最低气温和平均气温）和2月下旬的气温（平均最高气温和平均气温）分别与荔枝成花率呈显著负相关和显著正相关，相关性的结果进一步强调及细化了影响因子及时段。

荔枝成花率指数与成花关键期关键气象因子回归模型的构建，量化了荔枝成花与气象要素的关系。通过一元线性回归，得到了荔枝中高成花率的气象阈值：10月日照时数S ≥ 182h、10月降水量PR ≤ 80mm、10月相对湿度RH ≤ 69%、10月气温日较差DTR ≥ 6.7℃、12月平均最低气温T_{min} ≤ 13.3℃、2月下旬平均最高气温T_{max} ≥ 21.3℃等等。通过多元线性回归，弥补了一元线性回归拟合度较低的局限性，有效地通过多个气象因子（10月日照时数、10月降水量、12月上旬平均最低气温、12月下旬平均最高气温和10月气温日较差）预测出荔枝

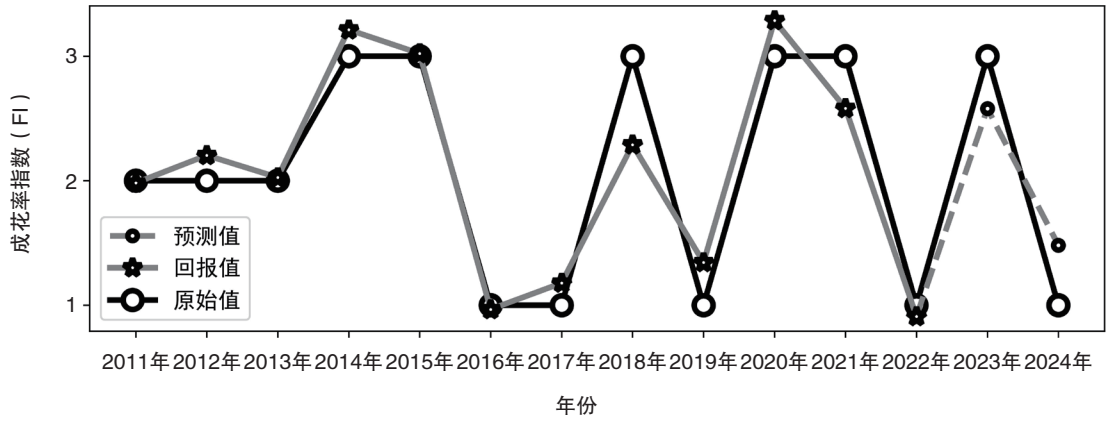


图9　荔枝成花率指数原始数据及回归模型的回报和预测曲线

成花率。

（二）讨论

本文强调了气温在荔枝成花中的重要性，荔枝花芽分化需要低温的条件，这与周碧燕等的研究结果吻合[16]。但值得关注的是，2020年花芽分化期的气温不低，此年成花率高，年景为“大年”，与前人研究的需要一段低于10℃低温诱导不一致[17]。分析其他因子发现，2020年10—12月的日温差、日照时数为近14年最大、最长，日平均气温起伏小，少雨，这些因子对该年成花是否起决定性作用，值得进一步探讨。本研究指出气温影响关键时间节点在12月上旬、2月下旬，并非整个冬季低温都有利于成花，12月上旬的平均气温T_m ≤ 17℃和最低气温T_{min} ≤ 14 ℃有利于成花，这与刘鹏旭的“没有足够的低温积累则未能成花”的研究结果一致[18]。然而，极端寒冷天气对荔枝成花有负面影响，如陈国保指出的低温寒积量过大会导致花芽发生寒害[19]，在本研究并未体现，这是由于本研究的时段未达到冻害的极端低温。

日照时数在本研究中被证实对荔枝有显著影响，这与前人的研究一致。例如：周琳耀等发现遮阴处理会显著抑制新梢伸长，导致叶片净光合速率下降[20]；闫笑晴发现光照强度对荔枝萌芽的影响可能依赖光照的直接信号[21]。本研究表明，日照时数与荔枝成花率之间有显著的正相关关系，进一步证实了光照在荔枝生长周期的重要性。值得一提的是，比起其他时段，10月充足的日照对荔枝成花有关键作用，这可能是因为10月是结果母秋梢成熟过渡到花芽分化的关键时期，充足的日照有利于光合产物的积累。

水分条件对荔枝的影响是复杂的，前人的观点是有分歧的。潘柱等发现荔枝生长季降水偏多不利于荔枝单产增加[13]；陈厚彬等研究表明干旱时间过长，也可能对成花产生不利影响[4]；王泽槐等则认为秋冬干旱并不是荔枝成花的必要条件[22]。本研究指出了上年10月至当年2月的水分偏干有利于成花（相对湿度50%～70%），而10月降水量、相对湿度与荔枝成花率呈现强负相关，是荔枝成花的关键。

本文在气象因子与荔枝成花关系方面进行了定量、精细探讨。前人的研究强调了气候条件对荔枝成花的重要性，但多未提供具体的气象因子与成花率之间的定量关系。近几年，在荔枝产量与关键气象因子之间建立模型方面，一些学者也进行了初探，例如：彭晓丹等的研究强调了趋势产量的分离和关键气象因子的分析，建立了基于线性回归的荔枝产量预测模型，预测精度较高，为荔枝产量的预测提供了一种有效方法[14]；赖自力等的研究则从晚熟荔枝品种的角度出发，揭示了荔枝花果发育的物候期期长与一些气象因子之间的曲线关系[17]。本研究则通过一元和多元线性回归模型，量化了气象因子与荔枝成花率之间的关系，并建立了预测模型。这种模型的应用为荔枝成花的预测提供了一种科学方法，有助于果农和农业管理者更好地规划和应对气候变化。

尽管本研究在荔枝成花建立气象模型方面取得了进展，但仍存在一些局限性。首先，受观测资料的局限，本文的样本量较小，稳定性和可靠性不够，难以捕捉到所有潜在的变异性，可能会导致统计的误差较大。其次，本研究的一元线性回归模型的R^2值均低于0.6，表明单个变量的作用较小，可能存在非线性关系；而多元线性回归模型的R^2值为0.8957，离1还有一定的距离，预测的准确率有待提高。因此，未来的研究需要综合考虑多种因素，建立更为全面的预测模型。

参考文献

[1] 刘荣光,彭宏祥,刘安阜,等.气象因子对荔枝中迟熟品种花芽分化的影响[J].广西农业科学,1994(2):60-62.

[2] 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(1):17-22.

[3] 陈立松,刘星辉.水分胁迫下荔枝叶片过氧化物酶和IAA氧化酶活性的变化[J].武汉植物学研究,2002(2):131-136.

[4] 陈厚彬,苏钻贤,张荣,等.荔枝花芽分化研究进展[J].中国农业科学,2014,47(9):1774-1783.

[5] 陈国保,李莲英.2008年初极端寒冷天气对荔枝龙眼成花的利弊分析[J].气象研究与应用,2008(2):57-59,65.

[6] 邓英毅,刘淑仪,万海英,等.荔枝成花坐果影响因素研究[J].安徽农业科学,2010,38(32):18116-18118.

››（下转第55页）

性能的影响[J].高分子通报,2019(12):26-33.

[24] Zhai DL, Xu JC. The legacy effects of rubber defoliation period on the refoliation phenology, leaf disease, and latex yield[J]. Plant Diversity,2023,45(1):98-103.

[25] 白薇,李宁,陈汇林,等.大气环流指数和地面气象要素对海南省橡胶树白粉病的影响[J].植物保护学报,2019,46(4):770-778.

[26] Zhai DL, Yu H, Chen SC, et al. Responses of rubber leaf phenology to climatic variations in Southwest China[J]. International Journal of Biometeorology,2019,63(5):607-616.

[27] Zhai DL, Wang J, Thaler P, et al. Contrasted effects of temperature during defoliation vs. refoliation periods on the infection of rubber powdery mildew (*Oidium heveae*) in Xishuangbanna, China[J]. International Journal of Biometeorology,2020,64(11):1835-1845.

[28] Karim MJ, Goni MOF, Nahiduzzaman M. et al. Enhancing agriculture through real-time grape leaf disease classification via an edge device with a lightweight CNN architecture and Grad-CAM[J]. Scienfic Reports,2024,14(1):16022.

[29] Karthickmanoj R, Sasilatha T, Lakshmi D, et al. Revolutionizing agricultural productivity with automated early leaf disease detection system for smart agriculture applications using IoT platform[J]. Environment, Development and Sustainability, 2024(prepublish):1-17.

[30] 杨泽芬,陈泽历,袁宝怡,等.病毒病害对滇黄精生理生化特性、产量及品质的影响[J].西北植物学报,2024,44(7):1028-1036.

[31] 朱勇,瞿玮,黄光速.天然橡胶的相对分子质量及其分布[J].合成橡胶工业,2017,40(5):361-366.

（上接第72页）

[7] 李志强,袁沛元,邱燕萍,李建光,凡超.冬季灌溉与桂味荔枝成花率的关系初探[J].热带作物学报,2012,33(3):402-407.

[8] 尹金华,罗诗,赖永超,等.冬季温度和降雨对荔枝大小年的影响[J].中国南方果树,2002(1):28-29.

[9] 陈厚彬,杨胜男,苏钻贤,等.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.

[10] 黄艳.2018年广东东莞荔枝收成看好[J].世界热带农业信息,2018,491(5):34.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 潘柱,李书桂,于文杰,等.信宜市气候变化及其对荔枝单产的影响[J].安徽农业科学,2009,37(3):1071-1074.

[14] 彭晓丹,欧善国.广东增城荔枝产量预报方法研究[J].农业工程,2021,11(1):119-122.

[15] 肖秋生.荔枝末次梢叶片成熟度影响成花的机理研究[D].广州:华南农业大学,2016.

[16] 周碧燕,陈厚彬,向炽华,等.‘三月红’荔枝不同温度处理的成花效应[J].园艺学报,2010,37(7):1041-1046.

[17] 赖自力, 丁晓波, 李小孟, 等.浅析气象条件对泸州‘带绿’荔枝花果发育的影响[J].中国热带农业,2020(4):66-73,65.

[18] 刘鹏旭.荔枝成花与低温积累量的关系及调控研究[D].广州:华南农业大学,2017.

[19] 陈国保.极端寒冷天气对荔枝和龙眼成花的影响[J].作物杂志,2008,126(5):70-73.

[20] 周琳耀,莫伟平,张静逸,等.遮阴对荔枝光合特征及矿质营养积累的影响[J].果树学报,2014,31(2):270-275.

[21] 闫笑晴.光照对荔枝芽萌动的影响及其机理研究[D].广州:华南农业大学,2019.

[22] 王泽槐,宋世文,李建国,等.水分胁迫对成年糯米糍荔枝末次秋梢发育和成花的影响[J].果树学报,2007(3):319-323.