

姜永华, 刘海伦, 严倩, 陈洁珍, 史发超, 文英杰, 蔡长河, 欧良喜. 拉枝对仙进奉荔枝枝梢生长和成花坐果的影响 [J]. 广东农业科学, 2023, 50 (3): 30–38.

拉枝对仙进奉荔枝枝梢生长和成花坐果的影响

姜永华, 刘海伦, 严倩, 陈洁珍, 史发超, 文英杰, 蔡长河, 欧良喜
(广东省农业科学院果树研究所 / 农业农村部南亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室 /
广东省热带亚热带果树研究重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:【目的】仙进奉荔枝是近年推出的优质晚熟新品种, 在中晚熟荔枝产区经济效益和社会效益显著, 其高效丰产栽培技术有待研发。拉枝是一种重要的果树整形修剪手段, 能有效削弱顶端优势, 利于开花结果。探究不同拉枝处理对仙进奉荔枝的影响, 为仙进奉荔枝拉枝技术的应用和稳产丰产技术建立提供参考。【方法】以4年生仙进奉荔枝为材料, 设置直立(不拉枝, CK)、水平(90°)和下垂(110°)3个处理, 统计处理后枝梢生长量、成花率和座果率等指标。【结果】与直立处理(CK)相比, 下垂和水平拉枝处理对第1次、第2次梢营养生长影响有限, 但能延迟第3次梢(末次秋梢)萌芽7 d以上, 同时显著减少末次秋梢萌芽数目, 且以下垂处理的抑制效果最强。末次秋梢老熟时, 拉枝处理枝条直径略低于直立处理(CK), 各处理间差异不显著; 下垂和水平拉枝处理均可有效将末次秋梢长度控制在15 cm左右, 促生中短枝, 利于开花坐果。翌年春季, 下垂和水平处理枝组的成花率和座果率显著高于直立处理(CK), 其中下垂处理枝组成花率达到100%, 且全部为纯花穗、花穗质量高; 直立处理(CK)枝组产生较多带叶花穗。各处理枝组的花穗长度无显著差异, 但拉枝处理可显著降低花穗基部直径、抑制花穗旺长。雌花盛开后50 d, 下垂和水平处理枝组座果率分别为9.81%和7.61%, 显著高于直立处理(CK, 5.54%)。【结论】下垂和水平拉枝可有效控制仙进奉荔枝结果母枝徒长, 改善成花质量, 显著提高座果率, 以110°下垂拉枝效果最佳。

关键词: 仙进奉; 荔枝; 拉枝; 成花率; 座果率; 控梢促花

中图分类号: S667.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2023) 03-0030-09

Effect of Bending on Shoot Growth, Flowering and Fruiting of Xianjinfeng Litchi

JIANG Yonghua, LIU Hailun, YAN Qian, CHEN Jiezheng, SHI Fachao,

WEN Yingjie, CAI Changhe, OU Liangxi

(Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Guangdong Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fruit Tree Research, Guangzhou 510640, China)

Abstract:【Objective】Xianjinfeng litchi is a new variety introduced in recent years. It is characterized by high quality and late ripening and has significant economic and social benefits in the middle and late ripening litchi producing areas, however, its efficient and high-yield cultivation technology needs to be studied. Shoot bending is an important shaping and pruning method in orchard management, which can effectively reduce the apex dominance and facilitate flowering and

收稿日期: 2022-12-07

基金项目: 广东省乡村振兴战略专项〔403-2018-XMZC-0002-90(TS-1-3)〕; 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-32-01); 广东省荔枝产业技术体系专项(2023-JK107-1); 国家科技资源共享服务平台项目(NHGR2023-NH17)

作者简介: 姜永华(1986—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向为荔枝遗传育种, E-mail: jiangyonghua@gdaas.cn

通信作者: 欧良喜(1964—), 男, 硕士, 研究员, 研究方向为荔枝遗传育种, E-mail: gdgs_litchi@outlook.com

fruiting. Here, the effects of different bending treatments on Xianjinfeng litchi were explored in order to provide references for the application of shoot bending technology as well as the establishment of technology for stable and high yield. 【Method】 Xianjinfeng litchi grafted for four years was used as the test material, and three bending treatments were set: vertical (0° , CK), horizontal (90°) and drooping (110°). After treatments, the indicators including growth, flowering rate, and fruit setting rate were counted. 【Result】 Compared with the vertical treatment (CK), drooping and horizontal treatments had limited effects on the vegetative growth of the first and second shoots, but delayed the germination of the third shoot (the last autumn shoot) for more than seven days, and dramatically reduced germination number of shoots at the same time. In addition, drooping treatment had the strongest inhibitory effect. When the leaves of the last autumn shoot were mature, the branch diameter under bending treatments was slightly lower than that under CK, however, and there were no significant difference among all treatments. Both drooping and horizontal bending treatments could effectively control the length of the last autumn shoot to about 15 cm, promote the growth of short and medium shoots, which was conducive to flowering and fruiting. In the coming spring, the flowering rate and fruit setting rate of drooping and horizontal treatments were notably higher than those of vertical treatment (CK). The flowering rate of droop treatment reached 100%, and all of them were pure flowers with high quality, while vertical treatment (CK) produced more panicles with leaves in comparison with the other two treatments. There was no significant difference in the length of panicle among different treatments, however, the base diameter of panicle were observably reduced and vigorous growth of panicles were inhibited by bending treatments. Fifty days after blooming of pistillate flowers, the fruit setting rates under drooping and horizontal treatments were 9.81% and 7.61%, respectively, markedly higher than that under vertical treatment (CK, 5.54%). 【Conclusion】 For Xianjinfeng litchi, drooping and horizontal branch bending can effectively control the excessive growth of parent branches, improve the quality of flowers, and significantly increase fruit setting rate. The best results are obtained under drooping treatment (110°).

Key words: Xianjinfeng; litchi (*Litchi chinensis* Sonn.); shoot bending; flowering rate; fruit setting rate; control shoot length and promote flower quality

【研究意义】荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 在我国南方尤其是广东省果树生产中占据重要经济地位。2022年全国荔枝种植面积 52.61 万 hm^2 , 估计总产量 253.10 万 t, 其中广东种植面积 26.33 万 hm^2 、产量 126.89 万 t^[1], 均占全国 50% 左右, 荔枝产业是广东乡村振兴的重要抓手。近年来, 广东省以市场为导向, 大力推广种植仙进奉、岭丰糯、井岗红糯等优良新品种^[2]。2018—2020 年, 黄川等^[3]连续 3 年对广西灵山县引进的 18 个荔枝新品种果实色、香、味及加工特性等果实性状进行综合测评, 发现糯桂、仙进奉、红绣球、红珍珠排在前四; 其中仙进奉荔枝果实品质优, 成熟期比糯米糍晚 7~10 d^[4], 错开了中晚熟优质荔枝上市高峰, 市场潜力大。叶建东等^[5]结果显示, 仙进奉春季高接换种第 2 年株产可达 10.2 kg, 在广东增城、茂名、汕尾和广西等中晚熟荔枝产区均获得非常显著的经济效益和社会效益^[4-8]。【前人研究进展】高大果树有明显的顶端优势和垂直优势, 通常顶端直立枝条生长旺盛, 水平和下垂枝条的生长受到抑制^[9]。拉枝作为果园管理中一种重要的整形修剪措施, 能有效削弱

顶端优势, 抑制枝梢旺长, 促进中短枝形成, 利于开花结果^[10-13]。例如, 许家辉等^[14]研究发现, 适度拉枝能促进早钟 6 号枇杷缩短夏梢长度, 增加优良结果母枝比例, 提高花期整齐度, 利于集中疏花疏果; 李晓龙等^[12]对翠冠梨进行 90° 拉枝发现, 促进花芽分化的内源激素和营养物质含量增加, 成花促进基因表达水平提高, 成花率是不拉枝对照的 4.9 倍。然而, 拉枝角度并非越大越好。李长亮等^[15]研究认为, 在 110° 范围内增大拉枝角度, 宫崎富士和烟富 3 号苹果的平均株产量随之增大; 当加大拉枝角度至 130° 时, 会出现明显的大小年结果现象, 且后期株产明显下降。因此, 拉枝角度过大将削弱树势, 导致树体早衰, 不利于果树连续多年稳定结果; 盲目拉枝甚至会导致树体成花少或不成花^[16]。此外, 嘎拉苹果最适拉枝角度为 90° , 富士最适拉枝角度却为 110° ^[11]。综上所述, 一种拉枝角度未必适合所有果树, 需要开展生产实验, 筛选特定树种(品种)的最优拉枝角度。【本研究切入点】荔枝花多果少, 素有“爱花不惜子”之说, 花期消耗大量养分, 坐果期生理落果严重, 生产中经常

出现“满树花半树果，甚至颗粒无收”的现象^[7]，成花坐果率比远低于其他水果。探索促进荔枝成花、丰产稳产的栽培技术一直是荔枝生产研究重点。生产中，果农通常采用喷施化学药剂或环剥、环割、断根等物理手段控制荔枝枝梢旺盛，促花保果^[6-7,17]；国内外鲜有荔枝拉枝技术的研究报道。与其他优质晚熟荔枝相比，仙进奉成花易、座果率偏高，近年来栽培面积不断扩大，配套丰产栽培技术有待研发。【拟解决的关键问题】为进一步提高仙进奉座果率，本研究设置3个拉枝角度，系统评估不同拉枝角度对荔枝枝梢生长和成花坐果的影响，以期为荔枝拉枝技术的应用提供数据支撑，促进荔枝栽培向省工节本、提质增效方向发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点位于广东省广州市增城区石滩镇三镇果场，园内地势平缓，水肥管理条件一致。园内共有10株嫁接4年的仙进奉荔枝，砧木为怀枝。嫁接第2年即有少量挂果，至第4年挂果已基本满足生产需求。随机选取3株开展拉枝试验，每株树为一个生物学重复。所选树体营养良好、长势旺盛，树高约1.8 m、冠幅约2.5 m。

1.2 试验方法

为减少枝条营养和位置等因素的影响，选择同一大枝顶端分生的3个直立小枝进行拉枝处理，每个小枝直径约1 cm、长势相似，将该次枝梢定义为第1次梢（图1A）。设置下垂（110°）、水平（90°）和直立（未拉枝，CK）3个处理。植株1、植株2设置3个枝组，植株3满足试验要求的枝条有4组、故设置4个枝组，3株树共采集分布在不同方位的枝组10个。

试验于2020年8月25日开始，此时第2次



箭头指示弯枝处理的第1、第2次梢基部直径测量点

The yellow arrow indicates the measurement point of the base diameter of the first and the second bent shoots

图1 仙进奉荔枝拉枝处理示意

Fig. 1 Schematic diagram of shoot bending of Xianjinfeng litchi

梢已长至7~10 cm、叶片浅绿色（图1B），采用“M”型别枝器（直径3.8 mm、长度10 cm）进行拉枝处理；为保证枝组不开裂，拉枝处理的起始位置距离分枝基部约10 cm，直立枝以此为测量起始点，下垂和水平处理以形变量最大点为测量起始点；用马克笔标记并固定测量起始点，处理当天记为第0 d，每周采集1次数据，包括第1次和第2次梢基部直径、第2次梢长度及叶片数目。处理后第3周左右开始萌发第3次新梢，统计第3次梢萌发数量、基部直径和梢长。试验持续至2020年11月9日，所有处理的第3次枝梢完全老熟，计算3次梢基部直径生长速率：

$$\text{第n次梢基部直径生长速率} (\%) = (\text{测量日第n次梢基部直径} - \text{0d第n次梢基部直径}) / \text{0d第n次梢基部直径} \times 100$$

2021年3月1日仙进奉雌花开放，记为花后0 d。每条老熟秋梢末端只产生一个花穗，记录各处理成花枝条数量，按下列公式计算成花率：

$$\text{成花率} (\%) = \frac{\text{成花枝条数}}{\text{总枝条数}} \times 100$$

同时，统计花穗是否带叶及每个花穗长度、直径和雌花数目；此后每周统计小果数量，至4月19日果实生理落果结束，进入快速膨大期，计算座果率，所有结果表示为均值±标准误。

$$\text{座果率} (\%) = \frac{\text{果树结实率}}{\text{开花数}} \times 100$$

1.3 数据处理与分析

运用Excel整理数据，GraphPad Prism 9作图；SPSS 23.0进行单因素ANOVA分析，多重比较采用Duncan法。

2 结果与分析

2.1 拉枝处理对仙进奉荔枝第1次、第2次梢生长的影响

新梢营养生长影响树体营养积累，进而影响来年开花结果^[7,18-19]。对仙进奉荔枝进行拉枝处理发现，拉枝处理后45 d内，3个处理枝组第1次、第2次梢基部直径增长速率没有显著差异（图2A、B）。拉枝处理后57 d，直立处理（未拉枝，CK）枝组第1次、第2次梢基部直径增长速率显著高于下垂处理，水平处理枝组第1次、第2次梢基部直径增长速率介于以上两者之间；第2次梢长度范围在10~23 cm，复叶数目为8~13片，3个处理间无显著差异（图2C、D）。据此推测，

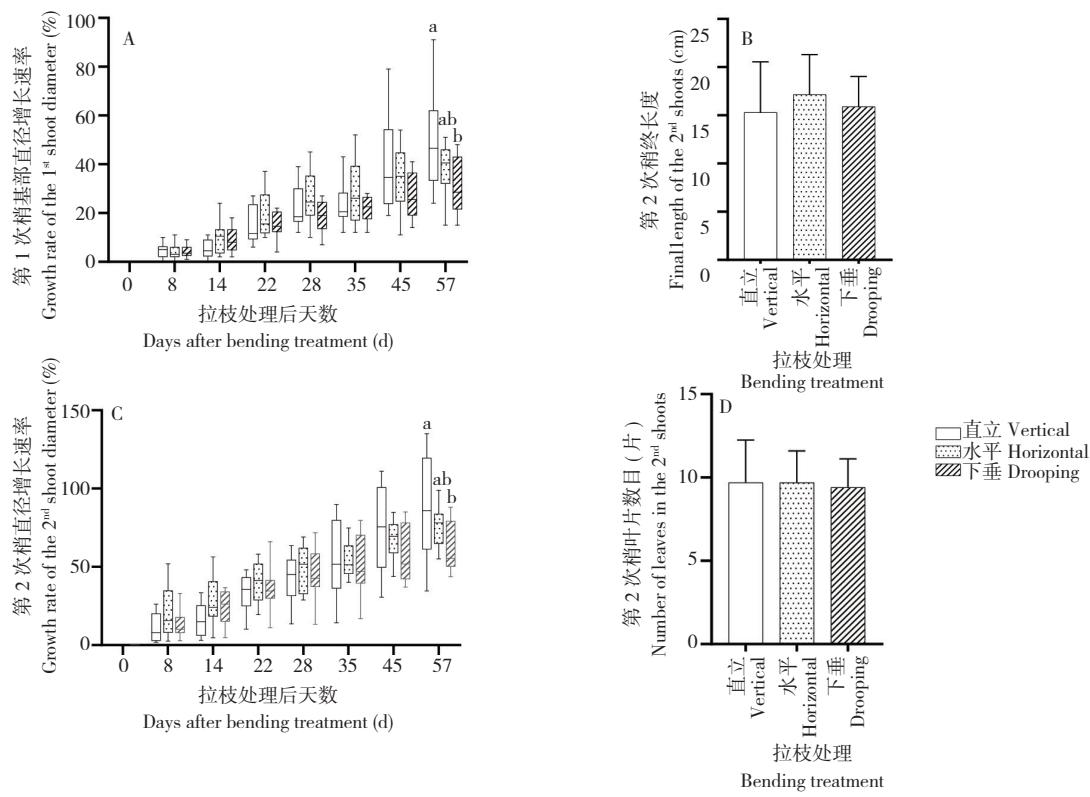


图 2 拉枝处理对仙进奉荔枝第 1 次、第 2 次梢生长的影响

Fig. 2 Effects of shoot bending treatments on the growth of the first and the second shoots of Xianjinfeng litchi

拉枝处理对仙进奉荔枝第 1 次、第 2 次梢生长的影响有限。

2.2 拉枝处理对仙进奉荔枝第 3 次梢生长的影响

荔枝末次秋梢是来年结果母枝，适时培养健壮末次秋梢是荔枝成花的关键，也是保障高产的物质基础^[18,20-21]。晚熟荔枝品种以秋分前后萌发的秋梢为结果母枝最佳^[22]。本研究中第 3 次梢萌动在 2020 年 9 月中下旬，属于末次秋梢。拉枝处理后第 22 d 起，下垂处理枝组无新梢抽出，而水平处理和直立（未拉枝，CK）处理枝组抽生少量第 3 次新梢；拉枝处理后 28 d（秋分日），直立（未拉枝，CK）处理枝组抽生新枝数目的 2.4 (± 0.9) 个显著高于下垂处理的 0.4 (± 0.2) 个，水平处理枝组新梢数目 (1.7 ± 0.6) 介于以上两者之间（图 3A），这种状况贯穿第 3 次梢发育全程。拉枝处理后 45 d（10 月 9 日），枝组不再有新梢萌发。可见，拉枝处理可以使仙进奉荔枝萌芽时间延缓 7 d 以上，同时可显著抑制末次秋梢萌发数量，其中以下垂处理作用更为强烈。

跟踪调查第 3 次新梢中最长梢的基部粗度和长度，结果表明，拉枝处理后 45 d 起，直立（未

拉枝，CK）处理枝组第 3 次新梢长度 (20.35 ± 3.40 cm) 显著高于水平 (15.45 ± 5.27 cm) 和下垂 (15.10 ± 4.24 cm) 处理；拉枝处理后第 57 d 起，第 3 次梢长度不再增加（图 3B）；至第 62 d（10 月 26 日），所有叶片转绿，枝梢老熟。对第 3 次梢基部直径进行统计发现，枝梢停长时，直立（未拉枝，CK）处理枝组末次秋梢基部直径 (6.99 ± 0.38 mm) 略粗于水平 (6.45 ± 0.33 mm) 和下垂 (6.07 ± 0.25 mm) 处理，但差异未达显著水平（图 3C）；各处理枝条直径增长速率接近一致（图 3D）。由此可见，拉枝处理不影响末次秋梢直径增粗，但可以有效地将其长度控制在 15 cm 左右，形成中短枝。

2.3 拉枝处理对仙进奉荔枝成花的影响

荔枝花序属混合芽，发育过程中视气象条件形成花穗、带叶花穗或完全转为梢叶^[23]。为了解拉枝处理对翌年花穗的影响，2021 年春天我们统计了拉枝处理后所有枝条的成花情况。表 1 显示，直立（未拉枝，CK）处理枝组产生更多末次秋梢，但各组成花枝数目接近。拉枝处理显著增加仙进奉荔枝的成花率，其中下垂处理枝组成花

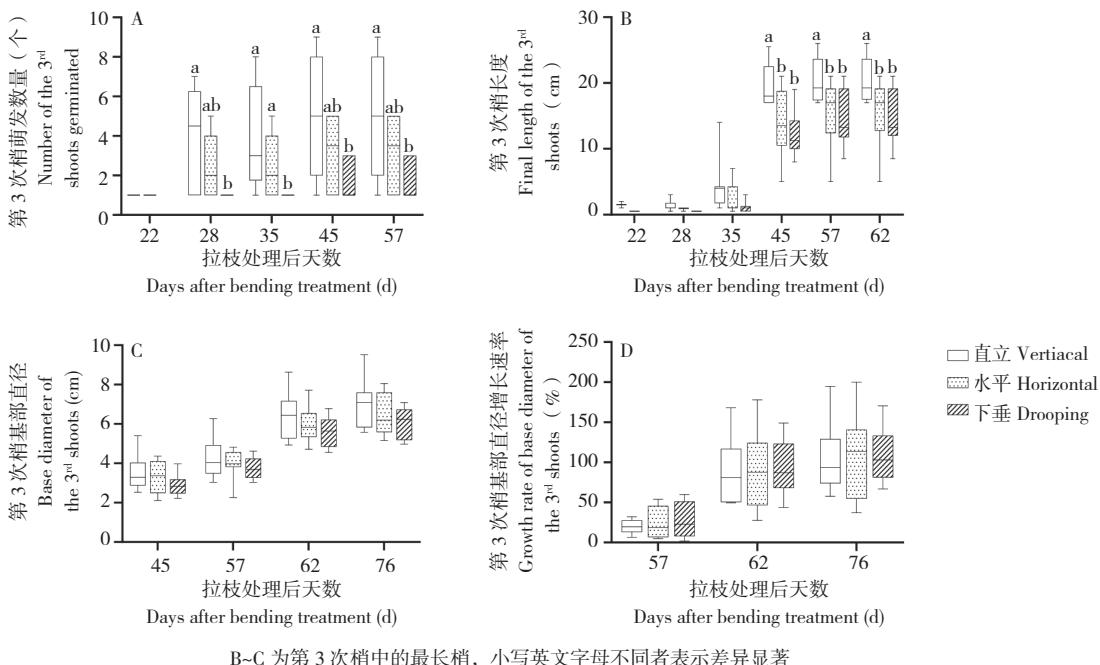


Fig. 3 Effects of shoot bending treatments on the growth of the third shoots of Xianjinfeng litchi

表 1 拉枝处理对仙进奉荔枝成花的影响
Table 1 Effects of shoot bending treatments on flowering of Xianjinfeng litchi

处理 Treatment	总枝数 (条) Total number of branches	成花枝数 (条) Number of flowering branches	成花率 Flowering rate (%)	纯花穗比例 Rate of pure flower (%)	花穗长度 Length of panicle (cm)	花穗基部直径 Base diameter of panicle (cm)
直立 Vertical	16	11	70.71 ± 6.94b	83.33 ± 8.33	16.63 ± 3.08	0.53 ± 0.01a
水平 Horizontal	12	11	93.33 ± 6.67a	91.67 ± 8.33	17.88 ± 1.56	0.40 ± 0.02b
下垂 Drooping	10	10	100 ± 0a	100 ± 0	20.50 ± 1.85	0.43 ± 0.05b

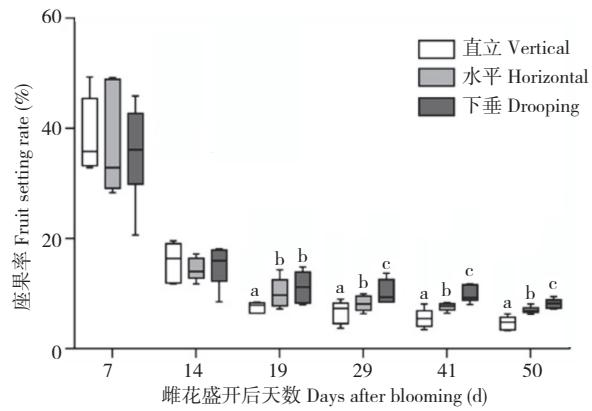
注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after data in the same column represent significant differences.

率为 100%，且全部为纯花穗；直立（未拉枝，CK）处理枝组产生较多带叶花穗。各处理间枝组花穗长度无显著差异，但下垂和水平处理枝组可以显著降低花穗基部直径。总体而言，拉枝处理可促进仙进奉荔枝成花，110° 的下垂处理可以保证枝梢完全形成纯花穗，但不影响花穗长度。

2.4 拉枝处理对仙进奉荔枝坐果的影响

荔枝花后落果严重，广州增城地区仙进奉荔枝有 2 次生理落果^[7]，对终产量影响较大，因此花穗调查后，我们继续统计了仙进奉荔枝的坐果情况。结果（图 4）表明，雌花盛开后 7~14 d，3 个处理枝组间的座果率没有明显差异。随着果实发育，拉枝处理显著增加了仙进奉荔枝的座果率；花后 29 d 起，3 个处理枝组间的座果率呈现显著差异并持续至花后 50 d（4 月下旬），此时仙进奉荔枝坐果基本稳定，果实进入快速膨大期。调



小写英文字母不同者表示显著差异
Different lowercase letters represent significant differences

图 4 拉枝处理对仙进奉荔枝坐果的影响
Fig. 4 Effects of shoot bending treatments on fruit setting of Xianjinfeng litchi

查结束时，下垂处理枝组座果率最高（9.81%），是水平处理座果率（7.61%）的 1.29 倍、直立（未拉枝，CK）处理座果率（5.54%）的 1.77 倍，这

表明下垂拉枝能显著提高仙进奉荔枝的座果率，有效减少荔枝花后生理落果现象，可保障荔枝产量。

3 讨论

3.1 拉枝处理抑制荔枝枝梢旺盛

夏季采果后，荔枝一般会抽生2~3次新梢，以末次梢为翌年结果母枝。结果母枝是荔枝开花和果实生长发育所需营养的主要来源^[24]。荔枝开花需要的N、P、K、Mg等养分全部来自于末次梢；果实发育所需的P、Mg、B、Mo部分来自第1次、第2次梢养分的就近转移^[18]。因此，秋梢生长状态对荔枝开花结果意义重大。

本研究结果表明，拉枝处理后57 d，直立（未拉枝，CK）处理枝组第1次、第2次梢基部直径增长速率显著高于下垂处理，水平处理枝组梢基部直径的增长速率介于两者之间；整个过程中，第2次梢长度和复叶数目一致，即第1次、第2次梢营养生长状态整体相似。但在此之前，3个处理第2次梢顶端叶芽萌发情况已呈现差异。拉枝处理后第28 d起，叶芽萌发数量表现为直立处理（未拉枝，CK）>水平处理>下垂处理，故水平拉枝和下垂拉枝可延迟仙进奉荔枝第2次梢顶端叶芽萌发。可见，与其他果树一致，拉枝可以有效削弱荔枝顶端优势^[19]；同时，拉枝处理对果树生长的影响是一个长期效应^[15]，激素、养分的重新分配及其功能发挥需要时间积累，短期内无法体现在当下处理的枝叶上，而是延迟体现在处理后萌发的新梢上。

本研究中水平和下垂拉枝处理可显著降低仙进奉荔枝末次秋梢萌发数量，以大角度的下垂拉枝抑制效果最强。而在烟富8苹果^[16]、乔化红富士苹果^[25]和翠冠梨^[26]上却发现，一定范围内，增大枝条开张角度可以促进枝条顶端芽体萌发、产生更多侧枝。由此可见，拉枝处理对仙进奉荔枝枝梢生长的抑制作用比苹果和梨强，这种差异可能与仙进奉荔枝成枝力弱有关，具体机理有待进一步研究。

3个拉枝处理下，仙进奉荔枝末次老熟秋梢（第3次梢）长度以直立（未拉枝，CK）处理最大、其次是水平处理、下垂处理枝梢最短，枇杷^[14]和梨^[26]上也有相似报道。在苹果上，随着拉枝角度增加，中长枝比例显著降低，<5 cm的

短枝比例增加^[11,27]；后续研究发现拉枝处理可以显著提高富士苹果叶片中叶绿素含量和净光合速率^[15,28]，导致拉枝后10 d不同角度枝条内总糖积累差异显著，总糖含量和C/N表现为110°处理>90°处理>70°处理^[11]。可见，拉枝处理能有效限制仙进奉荔枝枝梢旺盛，减少营养消耗，储备能量供给开花坐果。

荔枝喜阳不耐荫，开花结果多发生于上年秋梢的顶芽，且在亚热带地区周年持续生长^[7]。基于以上特性，拉枝缩短仙进奉结果母枝，可以放缓树冠扩张速度，减缓开花结果部位外移，还可以节约肥料、土地和人力等资源，提质增效，便于管理。

相关研究表明，在一定范围内，荔枝结果母枝长度与座果量显著正相关：妃子笑^[29]、大丁香^[24]、鸡嘴荔和灵山香荔^[30]等品种的结果母枝在16~26 cm范围内均有较高座果量；结果母枝过长，产量反而下降。本研究中仙进奉荔枝末次秋梢长度集中在13~25 cm，质量普遍偏高；拉枝处理后荔枝末次秋梢长度控制在20 cm左右，属于挂果潜力大的中短枝。但有研究提出，三月红、贵妃红和草莓荔等品种结果母枝长度与挂果量之间无相关性^[24]。可见，荔枝不同品种间挂果特性差异较大，仙进奉荔枝枝梢特征与产量间的关系有待进一步深入研究。

成花需要的养分来自末次梢及叶片^[19]。一般认为，粗壮荔枝结果枝营养储备多，花穗质量和座果率较高，特别是糯米糍、桂味等中、晚熟品种^[29,31]。妃子笑^[32]和鸡嘴荔^[30]的结果母枝粗度在3 mm以上时，结果母枝越粗，坐果力越强；而灵山香荔结果母枝粗度超过0.5 cm后，座果率反而下降^[30]。本研究中秋梢粗度及其增长速率在各个处理间无显著差异，基部粗度均在6 mm左右、较为粗壮，应利于开花坐果，这可能与所调查树体营养良好有关。综合分析末次秋梢的长度与粗度，直立处理的枝梢长且较粗，长势旺盛。郑海东等^[31]曾报道末次梢过旺、粗而长，也出现来年无花、少花或座果率低的现象。综上，我们推测仙进奉荔枝粗壮枝梢营养生长旺盛，消耗大量营养储备；拉枝处理可有效抑制新梢旺盛，减少结果母枝营养物质消耗，更利于开花坐果。

3.2 拉枝处理有效促进荔枝成花

碳水化合物是花芽分化的营养和物质基础。

成花诱导阶段，碳水化合物水平降低会抑制花芽形成^[10]。拉枝处理增加了枝条中营养物质（可溶性糖和淀粉）含量和C/N比值，还可提高花芽分化，促进类内源激素（玉米素、脱落酸和细胞分裂素）积累，降低抑制类内源激素（赤霉素、生长素）含量，并上调成花促进基因和响应逆境R基因的表达水平^[10,12]。

荔枝花序属混合芽，成花诱导过程中视气象条件形成花穗或带叶花穗，甚至完全退化为枝叶，俗称“冲梢”^[23]。充分老熟的秋梢成花诱导效果最佳，易形成纯花穗；未充分老熟的秋梢抽发带叶花穗概率较高^[33-35]。尤其是中晚熟荔枝，若未能充分老熟则会导致来年不能正常开花或开花而坐果不稳定，进而影响荔枝产量；且正常老熟秋梢成花率比晚熟秋梢高出61.06%^[21]。本研究中10月下旬所有叶片转绿，枝梢老熟。因条件限制，我们并未监测叶片老熟特性和营养构成。试验中，我们观测到直立处理产生更多末次秋梢，但各组成花枝数目接近。直立处理产生较多带叶花穗，花穗基部直径显著高于拉枝处理，意味着直立处理花穗有“冲梢”的可能，不利于花穗发育。拉枝处理可显著提高仙进奉荔枝末次秋梢的成花率，相对细短的下垂拉枝可保证绝对成花，且全部为纯花穗，成花情况比水平处理略好。在富士和嘎啦苹果上，增大拉枝角度，短枝比例和短枝顶芽成花率明显提高；中长枝比例显著降低，而中长枝顶芽成花率提高不显著；110°拉枝处理富士的成花率显著高于90°处理，但嘎啦在拉枝处理90°和110°下成花率差异不显著；对翠冠梨进行90°拉枝，成花率显著高于不拉枝^[12]。番石榴^[36]和枇杷^[14]上也有相似报道。

3.3 拉枝处理显著提高荔枝座果率

荔枝花后落果现象非常严重，是限制荔枝产量的主要因子，如糯米糍落果率高达95.89%^[22]，最终座果率只有5%左右^[37]。多数荔枝品种在授粉受精后有3次落果高峰^[7,37]。前两次属于生理落果，主要是由于幼果授粉受精不良及胚乳退化，无法为胚提供营养或胚败育引起，以第1次落果量最大^[38]。严倩等^[39]对43份荔枝资源坐果情况进行调查，提出花后30 d内的落果程度对最终坐果的影响最大。本次调查持续至花后50 d，此时座果率基本能反映最终产量。与直立（未拉枝，CK）处理相比，拉枝处理可显著

提高仙进奉荔枝座果率，以下垂拉枝效果最佳。这与拉枝处理显著提高了梨^[26]、苹果^[16]、番石榴^[35]座果率和产量的研究结果一致。

4 结论

适时培养健壮秋梢是荔枝促花保果的重要手段。本研究以优质晚熟荔枝新品种仙进奉为材料，首次探究下垂、水平和直立（未拉枝，CK）3个拉枝角度对枝梢当年营养生长和翌年开花坐果的影响。结果表明，下垂和水平拉枝处理对仙进奉荔枝第1次、第2次梢营养生长影响有限，但可以显著抑制第3次梢的萌发时间和新梢数量，促生中短枝，利于培育健壮结果母枝。与直立枝相比，下垂和水平拉枝处理可显著提高仙进奉荔枝末次秋梢翌年成花率，下垂处理甚至可保障枝条100%形成纯花穗、提高花穗质量。生理落果结束后，下垂和水平处理的座果率分别为9.81%和7.61%，显著高于直立枝的座果率（5.54%），保果效果良好。本研究为实现仙进奉更优的整形修剪提供了理论基础和技术指导，也可为其他荔枝品种的优质栽培提供借鉴。

参考文献 (References) :

- 陈厚彬, 苏钻贤, 杨胜男. 2022年全国荔枝生产形势分析 [J]. 中国热带农业, 2022(3):5-14. DOI:10.3969/j.issn.1673-0658.2022.03.002.
CHEN H B, SU Z X, YANG S N. Analysis on the litchi production situation in 2022 [J]. *China Tropical Agriculture*, 2022(3): 5-14. DOI:10.3969/j.issn.1673-0658.2022.03.002.
- 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.
- 黄川, 李叶清, 陈艳艳, 彭宏祥, 刘长鑫, 朱建华, 李鸿莉, 丁峰, 秦献泉, 罗红卫, 卢美英. 国内荔枝新品种果实性状综合评价筛选[J]. 中国南方果树, 2021, 50(2): 79-83. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431. 20210145.
HUANG C, LI Y Q, CHEN Y Y, PENG H X, LIU C X, ZHU J H, LI H L, DING F, QIN X Q, LUO H W, LU M Y. Comprehensive evaluation and screening of fruit characters of new litchi varieties in China [J]. *South China Fruits*, 2021, 50(2): 79-83. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.20210145.
- 陈广全, 钟声, 冯声海, 曾运友, 陆宏谋, 廖倩, 赵俊生. ‘仙进奉’荔枝的引种表现及配套栽培管理技术 [J]. 中国热带农业, 2020(6): 112-115. DOI:10.3969/j.issn.1673-0658.2020.06.019.
CHEN G Q, ZHONG S, FENG S H, ZENG Y Y, LU H M,

- LIAO Q, ZHAO J S. Introduction performance and supporting cultivation management techniques of 'Xianjinfeng' litchi [J]. *China Tropical Agriculture*, 2020(6): 112–115. DOI:10.3969/j.issn.1673–0658.2020.06.019.
- [5] 叶建东, 陈洁珍, 欧良喜, 吴洁芳, 严倩, 姜永华, 蔡长河. ‘桂味’荔枝高接换种‘仙进奉’引种试验[J]. 中国热带农业, 2020(6): 42–45. DOI:10.3969/j.issn.1673–0658.2020.06.006.
- YE J D, CHEN J Z, OU L X, WU J F, YAN Q, JIANG Y H, CAI C H. Introduction experiments of 'Xianjinfeng' by top grafting on 'Guwei' Litchi [J]. *China Tropical Agriculture*, 2020(6): 42–45.62.
- [6] 梁胜权, 郭金容, 石绍明, 黄国都. 黑叶荔枝高接换种仙进奉及优质丰产栽培技术 [J]. 农业工程技术, 2021, 41(17): 37–38. DOI:10.16815/j.cnki.11–5436/s.2021.17.020.
- LIANG S Q, GUO J R, SHI S M, HUANG G D. High-grafting of 'Xianjinfeng' on 'Heiye' litchi and its high yield cultivation techniques [J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2021, 41(17): 37–38. DOI:10.16815/j.cnki.11–5436/s.2021.17.020.
- [7] 李建国. 中国果树科学与实践——荔枝 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2022.
- LI J G. *Fruit Science and Practice in China – Litchi* [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2022.
- [8] 周子默, 齐文娥. 广东省不同品种荔枝生产成本收益对比研究 [J]. 中国果业信息, 2021, 38(7): 19–24. DOI:10.3969/j.issn.1673–1514.2.
- ZHOU Z M, QI W E. Comparative study on production cost and benefit of different litchi varieties in Guangdong Province [J]. *China Fruit News*, 2021, 38(7): 19–24. DOI:10.3969/j.issn.1673–1514.2.
- [9] BARBIER F F, DUN E A, BEVERIDGE C A. Apical dominance [J]. *Current Biology*, 2017, 27(17): 864–865. DOI:10.1016/j.cub.2017.05.024.
- [10] XING L, ZHANG D, QI S, CHEN X, AN N, LI Y, ZHAO C, HAN M, ZHAO J. Transcription profiles reveal the regulatory mechanisms of spur bud changes and flower induction in response to shoot bending in apple (*Malus domestica* Borkh.) [J]. *Plant Molecular Biology*, 2019, 99(1): 45–66. DOI:10.1007/s11103–018–0801–2.
- [11] ZHANG M, MA F, SHU H, HAN M. Branch bending affected floral bud development and nutrient accumulation in shoot terminals of 'Fuji' and 'Gala' apples [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2017, 39(7): 1–7. DOI:10.1007/s11738–017–2450–5.
- [12] 李晓龙, 王超, 李甲明, 刘伦, 吴俊. 拉枝处理对‘翠冠’梨成花的影响及其调控机制 [J]. 西北植物学报, 2015, 35(1): 89–97. DOI:10.7606/j.issn.1000–4025.2015.01.0089.
- LI X L, WANG C, LI J M, LIU L, WU J. Effect and regulation mechanism of branch-drooping on flower bud formation of Cuiguan pear [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2015, 35(1): 89–97. DOI:10.7606/j.issn.1000–4025.2015.01.0089.
- [13] XING L B, ZHANG D, ZHAO C P, LI Y M, MA J J, AN M N, HAN M Y. Shoot bending promotes flower bud formation by miRNA-mediated regulation in apple (*Malus domestica* Borkh.) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14(2): 749–770. DOI:10.1111/pbi.12425.
- [14] 许家辉, 张泽煌, 陈长忠, 余东, 刘友接, 郑少泉, 刘惠玉. 拉枝对枇杷枝梢生长与成花的影响 [J]. 中国南方果树, 2004(1): 34–35. DOI:10.3969/j.issn.1007–1431.2004.01.021.
- XU J H, ZHANG Z H, CHEN C Z, YU D, LIU Y J, ZHENG S Q, LIU H Y. Effects of branch bending on shoot growth and flowering of loquat [J]. *South China Fruits*, 2004(1): 34–35. DOI:10.3969/j.issn.1007–1431.2004.01.021.
- [15] 李长亮, 冯毓琴, 陈玉梁, 李翠红, 慕钰文, 魏丽娟. 拉枝角度对普通型和短枝型“富士”苹果树体生长生理特性和果实品质的影响 [J]. 北方园艺, 2018(8): 48–52. DOI:10.11937/bfyy.20173454.
- LI C L, FENG Y Q, CHEN Y L, LI C H, MU Y W, WEI L J. Effects of pulling branch angle on physiological characteristics and fruit quality of the common and short branch 'Fuji' apple trees [J]. *Northern Horticulture*, 2018(8): 48–52. DOI:10.11937/bfyy.20173454.
- [16] 李东平. 拉枝促花在‘烟富8’苹果生产中的应用 [J]. 北方果树, 2022(1): 19–20. DOI:10.16376/j.cnki.bfgs.2022.01.007.
- LI D P. Application of promoting flower bud formation by branches pulling in the production of 'Yanfu 8' apple [J]. *Northern Fruits*, 2022(1): 19–20. DOI:10.16376/j.cnki.bfgs.2022.01.007.
- [17] 严婷, 张树飞, 陈庆欣, 赵明磊, 张海岚, 李建国. “糯米糍”荔枝栽培生理与技术研究进展 [J]. 中国南方果树, 2022, 51(5): 200–206. DOI:10.13938/j.issn.1007–1431.20210623.
- YAN T, ZHANG S F, CHEN Q X, ZHAO M L, ZHANG H L, LI J G. Research progress on physiology and techniques of 'Nuomici' litchi [J]. *South China Fruits*, 2022, 51(5): 200–206. DOI:10.13938/j.issn.1007–1431.20210623.
- [18] 姚丽贤, 周昌敏, 何兆桓, 李国良, 白翠华. 荔枝年度枝梢和花果发育养分需求特性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 1128–1134. DOI:10.11674/zwyf.16303.
- YAO L X, ZHOU M C, HE Z H, LI G L, BAI C H. Annual nutrient demand for the growth of autumn branch, spica and fruit in litchi [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(4): 1128–1134. DOI:10.11674/zwyf.16303.
- [19] 陈厚彬, 黄辉白, 刘宗莉. 荔枝树成花与碳水化合物器官分布的关系研究 [J]. 园艺学报, 2004(1): 1–6. DOI:10.16420/j.issn.0513–353x.2004.01.001.
- CHEN H B, HUANG H B, LIU Z L. Flower formation and patterns of carbohydrate distribution in litchi trees [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004(1): 1–6. DOI:10.16420/j.issn.0513–353x.2004.01.001.
- [20] 邱燕萍, 袁沛元, 张展薇, 王碧青, 黄炳雄. 荔枝不同秋梢结果母枝的营养及其对成花与坐果的影响 [J]. 广东农业科学, 1995(2): 22–25.
- QIU Y P, YUAN P Y, ZHANG Z W, WANG B Q, HUANG B X. Nutrition of parent shoots in different autumn shoots of litchi and its effects on flowering and fruit setting [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1995(2): 22–25.
- [21] 侯延杰, 李鸿莉, 邱宏业, 李冬波, 徐宁, 秦献泉, 张树伟, 朱建华, 彭宏祥. 桂味荔枝 2 种不同时期老熟秋梢营养变化研究 [J]. 南方园艺, 2021, 32(6): 11–14. DOI:10.3969/j.issn.1674–5868.2021.06.004.
- HOU Y J, LI H L, QIU H Y, LI D B, XU N, QIN X Q, ZHANG S W, ZHU J H, PENG H X. Study on nutritional changes of autumn shoots of Guiwei litchi matured at two different stages [J]. *Southern Horticulture*, 2021, 32(6): 11–14. DOI:10.3969/j.issn.1674–5868.2021.06.004.
- [22] 马锞, 李加强, 胡锐清, 罗诗, 李建国. “冰荔”和“糯米糍”荔枝的开花结果特性比较 [J]. 中国南方果树, 2021, 50(2): 84–86. DOI:10.13938/j.issn.1007–1431.20200318.
- MA K, LI J Q, HU R Q, LUO S, LI J G. Comparison of flowering

- and fruiting characteristics of "Bingli" and "Nuomici" litchi [J]. *South China Fruits*, 2021, 50(2): 84–86. DOI:10.13938/j.issn.1007-1431.20200318.
- [23] 梁棉勇, 匡昭敏. 荔枝不同时期末次梢开花座果与气象条件的关系 [J]. 热带农业科技, 2003(3): 13–15,27. DOI:10.16005/j.cnki.tast.2003.03.004.
- LIANG M Y, KUANG Z M. The relation of the weather condition and fruit-setting of lichee in next year [J]. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 2003(3): 13–15,27. DOI:10.16005/j.cnki.tast.2003.03.004.
- [24] 徐宁, 朱建华, 彭宏祥, 欧世金, 黄凤珠, 李冬波, 李鸿莉, 陆贵锋. 不同荔枝品种结果母枝与果实性状的相关分析 [J]. 热带作物学报, 2010, 31(1): 31–34. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2010.01.006.
- XU N, ZHU J H, PENG H X, OU S J, HUANG F Z, LI D B, LI H L, LU G F. Correlation analysis of characteristics of the main fruit bearing branches and fruit of different litchi cultivars [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2010, 31(1): 31–34. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2010.01.006.
- [25] 王晓东. 乔化红富士拉枝角度与生长结果关系大 [J]. 西北园艺(果树), 2020(2): 48–49.
- WANG X D. The branching angle of arboreal red Fuji is highly correlated with the growth results [J]. *Northwest Horticulture (Fruit Trees)*, 2020(2): 48–49.
- [26] 廖立安, 李志光, 曹建明. 翠冠梨引种试验及整形拉枝对其经济性状的影响 [J]. 中南林学院学报, 2003,23(2): 79–81. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923X.2003.02.017.
- LIAO L A, LI Z G, CAO J M. Introduction experiment of Cuiguan pear and effect of trimming the branches on its economic properties [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2003,23(2): 79–81. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923X.2003.02.017.
- [27] ZHANG M, HAN M, MA F, SHU H. Effect of bending on the dynamic changes of endogenous hormones in shoot terminals of 'Fuji' and 'Gala' apple trees [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2015, 37(4): 1–9. DOI:10.1007/s11738-015-1813-z.
- HAN M Y, LI Y W, FAN C H, ZHAO C P. Effects of branch bending angle on physiological characteristics and fruit quality of Fuji apple [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008(9): 1345–1150. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2008.09.017.
- [28] 韩明玉, 李永武, 范崇辉, 赵彩萍. 拉枝角度对富士苹果树生理特性和果实品质的影响 [J]. 园艺学报, 2008(9): 1345–1150. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2008.09.017.
- HAN M Y, LI Y W, FAN C H, ZHAO C P. Effects of branch bending angle on physiological characteristics and fruit quality of Fuji apple [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008(9): 1345–1150. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2008.09.017.
- [29] 钟利文. 妃子笑荔枝结果母枝与座果关系的研究 [J]. 热带农业科学, 1998(4): 6–9.
- ZHONG L W. Study on the relationship between mother branch and fruit setting of Feizixiao Litchi [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 1998(4): 6–9.
- [30] 林越平. 荔枝优良结果母枝形态指标与高产稳产的关系研究 [J]. 现代农业科技, 2008(19): 30–32,35. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2008.19.015.
- LIN Y P. Study on the relationship between high and stable yield and morphological index of good fruit parent branch in litchi [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008(19):30–32,35. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2008.19.015.
- [31] 郑海东, 沈赞坤. 控梢穗保花果, 促进荔枝增产 [J]. 福建果树, 2006(2): 57–58. DOI:10.3969/j.issn.1004–6089.2006.02.030.
- ZHENG H D, SHEN Z K. Control shoot, preserve flower and fruit, promote litchi yield [J]. *Fujian Fruits*, 2006(2): 57–58. DOI:10.3969/j.issn.1004–6089.2006.02.030.
- [32] 王庆钦. 提高妃子笑荔枝坐果率的综合措施 [J]. 农业研究与应用, 2012(2):52–54. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0764.2012.02.017.
- WANG Q Q. Comprehensive measures to improve the fruiting rate of Feizixiao Litchi [J]. *Agricultural Research and Application*, 2012(2): 52–54. DOI:10.3969/j.issn.2095-0764.2012.02.017.
- [33] 黄辉白, 陈厚彬. 以阶段观剖视荔枝的花芽分化 [J]. 果树学报, 2003(6): 487–492. DOI:10.3969/j.issn.1009-9980.2003.06.015.
- HUANG H B, CHEN H B. A phasic approach towards the floral formation in *Litchi chinensis* Sonn. [J]. *Journal of Fruit Science*, 2003(6): 487–492. DOI:10.3969/j.issn.1009-9980.2003.06.015.
- [34] 彭坚, 李永红, 席嘉宾, 张建国, 唐旭东. 荔枝大小年叶片营养比较研究 [J]. 中国果树, 2004(3): 34–37. DOI:10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2004.03.014.
- PENG J, LI Y H, XI J B, ZHANG J G, TANG X D. Comparative study on leaf nutrition of biennial bearing in litchi [J]. *China Fruits*, 2004(3): 34–37. DOI:10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2004.03.014.
- [35] 赖思婷, 丰峰, 陈桦洁, 廖菲, 唐芸妃, 黄朝凤, 陈江萍, 吴日怡, 6-BA 对火凤凰蝴蝶兰花诱导的影响 [J]. 广东农业科学, 2021,48(5):50–56.DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2021.05.007.
- LAI S T, FENG F, CHEN H J, LIAO F, TANG Y F, HUANG C F, CHEN J P, WU R Y. Effect of 6-BA on flowering induction of 'Huofenghuang' butterfly orchid [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2021,48(5):50–56.DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2021.05.007.
- [36] MAMUN A A, RAHMAN M, RAHIM M. Effect of shoot bending and fruit thinning on productivity of guava [J]. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 2013(5):167–172. DOI:10.3329/jesnr.v5i2.14808.
- [37] 蔡小林, 潘介春, 周煜棉, 刘红红. 荔枝落果研究进展 [J]. 江西农业学报, 2017,29(1): 26–31. DOI:10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.01.06.
- CAI X L, PAN J C, ZHOU Y M, LIU H H. Research progress in fruit drop of litchi [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017, 29(1): 26–31. DOI:10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.01.06.
- [38] 郭泽成, 吴学步, 鲍烈军, 郭仁福, 肖彤斌. 海南妃子笑荔枝花果期栽培技术措施 [J]. 广东农业科学, 2006(12): 96–98. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2006.12.035.
- GUO Z C, WU X B, BAO L J, GUO R F, XIAO T B. Cultivation techniques of Hainan Feizixiao Litchi at flowering and fruiting stage [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006(12):96–98. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2006.12.035.
- [39] 严倩, 吴洁芳, 姜永华, 陈洁珍, 蔡长河, 欧良喜. 43份荔枝种质资源的雌花受精与坐果评价 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(1): 28–35. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2019.01.005.
- YAN Q, WU J F, JIANG Y H, CHEN J Z, CAI C H, OU L X. Evaluation on female flower fertilization and fruit setting of 43 litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) germplasm resources [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2019, 46(1): 28–35. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2019.01.005.