

负载平衡对龙眼结果母枝生长、 结果和果实品质的影响

韩冬梅¹, 黄石连¹, 李建光¹, 郭栋梁¹, 吴振先², 罗 焘², 吕新民¹, 王 静¹

(¹广东省农业科学院果树研究所/农业农村部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, 广州 510640; ²华南农业大学园艺学院/
广东省果蔬保鲜重点实验室/南方园艺产品保鲜教育部工程中心, 广州 510642)

摘 要:【目的】探究龙眼单株挂果率与初始单穗果数之间的交互作用, 确定龙眼疏花疏果时的合理挂果量, 以及其对龙眼结果母枝生长、结果和果实品质的影响。【方法】以石硖龙眼(*Dimocarpus longan* Lour ‘Shixia’)为试材, 以不同挂果率单株为区组(3个水平), 以初始单穗果数为处理(3个水平), 设计了一个单因素随机区组试验, 共9个区组×处理组合(H11~H13、H21~H23、H31~H33); 分析了区组和处理对成熟时单穗余果数、落果率和单果质量等指标的影响。【结果】(1)果实发育期间, 植株树势逐渐下降, 单果质量和落果率逐渐升高, 而成熟时各组合在结果母枝生长、结果和品质方面均表现出显著或极显著差异。(2)相关分析表明, 区组水平与树势及成熟期结果母枝叶片生长状态呈显著相关, 而处理水平主要影响了单穗余果数和小叶果比; 成熟树势与果穗盲节粗度、叶光泽度等呈极显著正相关, 与叶片色度指标 L^* 、 a^* 和 C^* 呈极显著负相关。(3)回归与方差分析表明, 区组与处理之间不存在交互作用, 协变量中的小叶果比、有叶枝长比等对区组和处理水平间的结果特性或果实品质产生了显著影响; 结果性状与果实内在品质主要受单株挂果率的影响, 而外观色度品质还受到结果母枝叶片长势的影响。边际均值估算结果表明, 果实内在品质随区组和处理水平的提高而下降, 但落果率变化趋势彼此相反。【结论】以中等偏壮树势保留60%的单株挂果率、以60~80个初始单穗果数为基础, 依据实际树势、盲节粗度和结果母枝叶片数量进行相应调整, 是石硖龙眼疏花疏果较为科学的做法, 可以较好地平衡结果母枝生长、结果与品质的关系。

关键词: 龙眼; 合理负载; 生长结果; 果实品质; 协方差分析

中图分类号: S667.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2023)08-1615-13

Effects of load balance on the fruiting-branch growth, fruit bearing and fruit quality of longan

HAN Dongmei¹, HUANG Shilian¹, LI Jianguang¹, GUO Dongliang¹, WU Zhenxian², LUO Tao², LÜ Xinmin¹, WANG Jing¹

(¹Institute 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 Provincial Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fruit Tree Research, Guangzhou 510640, Guangdong, China; ²College of Horticulture, South China Agricultural University/Guangdong Provincial Key Lab for Postharvest Science of Fruit and Vegetables/Engineering Research Center for Postharvest Technology of Horticultural Crops in South China, Ministry of Education, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: 【Objective】This paper aims to verify whether there is an interaction between the FBRT (fruiting-branch rate per tree) and the INFC (initial number of fruits per cluster), and determine the reasonable fruit-loading of longan plant when flower or fruit thinning is applied, as well as estimate the influence of fruit-loading on leaflet growth, fruit-bearing and quality of fruiting branches (FB). 【Methods】Using Shixia longan as the material, a one-factor randomized block trial was designed with FBRT as the block (3 levels) and INFC as the treatment (3 levels), and 9 combinations of ‘block × treatment’

收稿日期: 2022-11-21

接受日期: 2023-03-29

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系龙眼创新团队建设项目(2019KJ123); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-32-15)

作者简介: 韩冬梅, 女, 研究员, 硕士, 主要从事龙眼果实品质调控与采后保持技术研究。Tel: 020-38765541, E-mail: handongmei@gdaas.cn

were obtained. The effects of block and treatment were studied on the NRFC (number of remaining fruits in single cluster), FSR (fruit-shedding rate), MSF (mass of single fruit), EPRF (edible portions rate in a single fruit), TSS (total soluble solids) content and CFS (chromaticity of the fruit surface). Besides, the growth covariates affecting FBC (fruit-bearing characteristics) and fruit quality were screened out by multiple stepwise regression analysis. Using the two-factor univariate analysis in the general linear model, the univariate covariance analysis for the FBC and fruit quality was conducted, and the influences of uncontrollable growth factors other than block and treatment based on the analytic results were excluded, and the significance of the difference between block and treatment levels and the estimated marginal means were all obtained. **【Results】** (1) During the fruit development, the tree vigor gradually decreased, with the leaflets on the FB turning from dark green to yellow green or grey green, and the MSF and FSR gradually increased, while the treated clusters of each combination showed significant or extremely significant differences in LGFB (leaflet growth of the FB), fruit-bearing and quality at mature stage. Within the same block, the NRFC varied significantly among the three levels of treatment, but was similar at the same treatment level among 3 block levels. There was extremely significant difference in MSF between blocks, but not between treatments within the same block. (2) Correlation analysis showed that the block level was significantly related to the LGMB and TVM (tree vigor at mature stage), while the treatment level mainly affected the NRFC and RSLF (ratio of small leaflet to fruit in the single cluster), and TVM was significantly and positively correlated with the DBC (diameter at the base of fruit cluster), LGS (leaf glossiness), numbers of total leaflet and compound leaf, etc., and negatively with leaflet chromaticity index l_{L^*} , l_{b^*} and l_{C^*} . Furthermore, the NRFC and DBC, TVM and FSR were all positively correlated ($r=0.357^{**}$, 0.329^{**}), respectively. As the covariates, the growth factors such as RSLF, DBC, DBFB (diameter at the base of FB), NCLF (number of compound leaves of single FB) and TNLF (total number of leaflets of single FB) were all significantly and linearly regressed with the FBC and fruit quality of treated clusters. Specifically, the main covariates affecting the fruit-bearing were RSLF, TNLF, DBC and leaf color, and those affecting fruit quality were l_{L^*} , l_{h^*} , l_{C^*} , Rchl, DBFB, RLTB (ratio of the length with leaflets to the total length of FB), and so on. (3) There was no interaction between block and treatment. Among the covariates, the RSLF, RLTB, leaflet l_{C^*} and so on had significant effects on the FBC or fruit quality between the block and treatment levels. The results of ANOVA (analysis of variance) showed that the combined effects of fixed variables (block and treatment) and covariates contributed 40.1%–82.9% ($R^2 \times 100\%$) to the total differences between the combinations, and all the covariates resulted from the main effect test had a significant impact on the concerned indexes, which meant there was a statistical significance. The NRFC and FSR were mainly affected by block (FBRT), and the FSR was also affected by treatment (INFC); MSF, EPRF and TSS contents were mainly affected by FBRT, and the appearance quality was also significantly affected by the LGMB. In addition, the estimated marginal means showed that as the FBRT and INFC increased, the MSF, EPRF and TSS content decreased, but the changes of FSR between the block and treatment levels showed an opposite trend. Moreover, chromaticity quality of fruit under medium level of FBRT and INFC was the best, showing bright yellow-green. **【Conclusion】** On the basis of 60–80 of INFC and 60% of FBRT with medium-strong tree vigor, it is a more scientific practice to adjust the FBRT and INFC according to the actual tree vigor, DBC and TNLF, which can better balance the relationship between LGFB, fruit-bearing and quality of longan. In the aspect of field management during the flowering and fruiting period, especially for the high FBRT of trees, more attention in the aspect of strengthening fertilizer and irrigation management and controlling disease and insect pest should be

paid to maintain the tree and FB growth, prevent leaflet senescence, promote fruit development and ensure that the fruit can obtain the desired external and internal quality.

Key words: Longan; Reasonable fruit loading; Fruiting-branch growth and fruit bearing; Fruit quality; Covariance analysis

疏花疏果是众多果树实现合理负载和提高果实品质的重要技术措施,也是克服果树大小年的重要栽培方法,因其效果显著而被广泛应用和研究^[1-4]。龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)是典型的热带亚热带常绿果树,植株营养生长旺盛,坐果能力强,但大小年结果属性明显,具有“惜果不惜身”的结果特性。龙眼结果母枝顶芽成花,为圆锥状聚伞花序,花果量大,养分需求高;叶片为羽状复叶,小叶多,光合制造养分能力强,结果枝组与整株长势既相互影响,又相对独立。因此,构成龙眼单株挂果量的要素主要包括单株挂果(枝)率和单穗余果数,是疏花疏果时的2个重要参考指标。通过合理的疏花疏果,确定适应树势的单株挂果率和初始单穗果数,结合充足的肥水供应,可以使龙眼结果母枝营养生长与结果负载之间保持平衡,这对解决龙眼植株的高坐果率和大小年问题、提高果实品质和控制树势具有重要意义^[5-6]。

龙眼春季花果期耐修剪,适度修剪后的新梢生长对果实发育影响较小,为通过疏花疏果调节植株负载提供了有利条件。目前,疏花疏果已经成为龙眼生产中的常规技术,合适的留花留果量不仅保证产量,更能显著增加单果质量和大小^[7-9],提高果实品质与耐贮性,提升商品价值^[10]。许奇志等^[11]研究了不同单株挂果率对水涨龙眼枝梢生长及产量的影响,给出了适宜单株挂果率和初始单穗果数的参考建议。刘淑仪等^[12]研究了疏花保果对龙眼生长发育和果实品质的影响,认为疏花可以减少营养消耗,有效促进果实膨大发育,增进果肉中糖物质积累。韩冬梅等^[13]在2016年以果期修剪、单株挂果率和初始单穗果数为试验因素,研究了其对龙眼生长和结果的影响,认为单株挂果率50%~60%、初始单穗果数60粒及适度的回缩修剪,是龙眼植株获取生长与结果、产量与品质平衡关系的最优组合。但是,针对单株挂果率与同株内不同单穗果数之间的相互作用、整株与结果母枝长势对结果与品质的影响尚未开展深入细致的研究,且对影响疏花疏果作用效果的生长因子的筛选也鲜见报道。笔者在本研究中以不同挂果率单株为区组(3个水平),以同株内不同初始单穗

果数为处理(3个水平),设计了一个单因素随机区组试验(共9个区组处理组合),以回归分析筛选出的相关混杂的结果母枝生长因子作为协变量,通过协方差分析比较了单株挂果率和初始单穗果数对结果母枝结果特性和果实品质的主效应及其交互作用,并获得了石硖龙眼单株挂果率和初始单穗果数的设定依据,为龙眼科学疏花疏果提供了较为精准的指导方法,也为其他品种龙眼的花果期合理负载提供了参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料和地点

供试品种为15年生石硖龙眼结果树,试验2020年3—7月于广东省农业科学院果树研究所龙眼试验园进行。选择位于10°缓坡地的相邻4株试验树,树冠大小(5~6)m×(5~6)m,树高度2~3m,树势中等偏壮,成花率75%~100%,初始挂果率70%~95%,长势基本一致。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计,以不同单株挂果率为区组,设计低(30%)、中(60%)、高(90%)3个控制水平。由于区组1单株挂果率过低,而单株留树果量不足以支撑试验取样所需,因此合并树势一致、同样处理的相邻2株为区组1。以初始单穗果数为处理,设计低(30~40粒·穗⁻¹)、中(60~80粒·穗⁻¹)、高(100~120粒·穗⁻¹)3个控制水平,实际平均初始单穗果数分别为37、75、116粒,共存于同一区组内,共获得9个区组×处理组合,标记为H11~H13、H21~H23、H31~H33(表1),每个组合设置10个果穗重复。

1.3 田间操作与管理

于龙眼花期选择4株树势中等偏壮、长势基本一致、成花率75%~100%的结果树;在开花前3月16日短截花穗至主轴长度20~25cm,3月20—23日雌花盛开,3月25—30日谢花期。于小果期(5月9日)结合实际单株挂果率,选择合适单株,分别按照30%、60%、90%的挂果率设计,疏除多余果穗;按照初始单穗果数设计,对H11~H33、H21~H23、H31~H33共9个组合分别在既定单株的东、南、西、

表1 试验区组与处理水平组合(区组×处理)

Table 1 Combinations of the block and treatment (block×treatment)

处理(初始单穗果数)与水平 Treatment (Initial number of fruits per cluster, INFC)and level	区组(单株挂果率)与水平 Block (Fruiting- branch rate per tree, FBRT)and level		
	1(30%)	2(60%)	3(90%)
1(30~40)(均值 Average 37) (30~40)(Average 37)	H11	H21	H31
2(60~80)(均值 Average 75) (60~80)(Average 75)	H12	H22	H32
3(100~120)(均值 Average 116) (100~120)(Average 116)	H13	H23	H33

北和顶部不同方位各随机选取4个果穗,共20个重复。疏果后挂牌记录每穗果数,其中10穗用于膨果初期(6月9日)取样,剩余10穗用于成熟期(7月13日)取样。另外,区组1的20个试验果穗等分至2个合并单株中,每次取样亦从2个单株中等分获取。

生产实践表明,结果母枝越粗壮、叶片越多、长势越强,果穗越大、单穗果数越多。研究依据疏果前单穗大小及其果数,选择小(≤ 50 果·穗⁻¹)、中(60~100果·穗⁻¹)、大(≥ 100 果·穗⁻¹)3个等级的果穗进行相应的疏果处理;当试验果穗不足时,使用高一级果穗疏果至所需留果量。其他非试验果穗按常规疏果法处理,依据结果母枝长势和梢粗适当留果。果期其他田间管理包括虫害防治、肥水灌溉和杂草剪除等均按照常规方式统一进行。

1.4 指标测定方法

由于田间试验干扰因素很多,除了试验处理外,整个果期结果母枝生长状态的变化对果实发育和内外品质均会产生不可控的影响,因此,笔者在本研究中同时观测了成熟时结果母枝的多个生长指标,作为备选协变量参与统计分析,以排除其对试验结果的干扰。

1.4.1 生长与结果 用直尺和游标卡尺分别量取各组合(H11~H13、H21~H23、H31~H33)每个挂牌果穗结果母枝的小叶长度和宽度、基枝粗度(结果母枝基部粗度)、盲节粗度(果穗基部粗度)、总枝长度和有叶枝长度(结果母枝上着生叶片部位的长度);统计单穗复叶数、单穗小叶总数、单叶小叶数和单穗余果数。树力值=盲节粗度/基枝粗度;节间距=有叶枝长度/复叶数;小叶面积=1/2 π 小叶长度×1/2小叶宽;小叶果比=单穗小叶总数/单穗余果数;落果率=(初始单穗果数-成熟时单穗余果数)/初始单穗果数×100%;有叶枝长比=有叶枝长度/总枝长度。采集第二、三对叶片的第二、三片小叶,共6片,使用 photo-

synq Multispe Q多功能植物测量仪,测定叶片相对叶绿素含量,使用三恩时(3 nh)分光测色仪测定叶片色度值(L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h°),每张叶片取正面前、中、后3个点位的平均值。 L^* 表示亮度(0~50~100,黑~灰~白); a^* 表示红绿差别(-100~0~+100,绿~灰~红); b^* 表示黄蓝差别(-100~0~+100,蓝~灰~黄); C^* 表示饱和度,即浓淡程度(0~100%,淡~浓); h° 表示色调角(0°~360°,0°紫色~90°黄色~180°绿色~270°蓝色~360°紫色)。以上指标以单穗为取值单位,每组合10个果穗重复。

1.4.2 树势与挂果率 采用定性描述并赋值量化的方式观测小叶叶片大小、叶色、叶光泽度、树势、成熟树势和单株挂果率。叶片大小:1—小,2—中偏小,3—中等,4—中偏大,5—大,6—超大。叶色:1—黄色,2—黄绿或暗绿偏黄,3—暗绿偏红,4—暗绿,5—绿色,6—深绿带黄斑或深绿微黄,7—深绿或浓绿色。叶光泽度:1—无光泽,2—稍光泽,3—有光泽。树势:1—衰退树,叶片黄色或黄绿色,叶片小而少,无光泽,叶幕稀疏,枯弱枝多;2—弱树,叶片黄绿色或哑绿色,无光泽,较小,叶幕较稀薄;3—中偏弱,叶片哑绿色,无光泽,较小,无光泽,叶幕厚度中等;4—中等,叶色绿,稍有光泽,大小中等,叶幕厚度中等;5—中偏壮,叶色深绿,有光泽或稍光泽,较大,叶幕较厚。挂果率:依据生产经验,以成年结果树15~18个·m²有效结果枝为基数^[4],以实际挂果枝条数与基数的比例计算挂果率,40%—每m²6~7个果穗,50%—每m²8~9个果穗,60%—每m²9~10个果穗,以此类推,100%为全部挂果。树势和挂果率以单株为获取单位,无重复;叶片生长指标以试验组合为取值单位,每组合10个果穗重复。

1.4.3 果实品质 各处理组合每个重复果穗摘取8个单果,以其平均值表示单穗指标的实测值,10穗重复共80个单果。测定单果质量,果表色度值

(f_L 、 f_a 、 f_b 、 f_C 、 f_h)以果实赤道面3个测定点的均值表示;可食率=(单果质量-果皮质量-果核质量)/单果质量 $\times 100\%$;其中5月9日的幼果质量均低于0.6 g,且同株内差异不大,故每株试验树单果质量以20个单果混合称重后的均值表示。果肉可溶性固形物含量:手挤单果果汁,使用 ATAGO-32 α 数显折光仪直接测定可溶性固形物含量。

1.5 数据处理和分析

运用 SPSS23.0 软件进行数据分析^[15]:(1)以描述统计分析获取平均值、最大值、最小值和变异系数(CV),以 Duncan's 新复极差法对组合 H11~H13、H21~H23、H31~H33 进行多重比较;(2)以 Pearson 双变量相关法获取区组、处理及成熟树势与生长、结果指标之间的相关性;(3)各处理组合均使用10个重复果穗的实测值进行相关、回归与方差分析;(4)以结果指标单穗余果数和落果率、以品质指标单果质量等为因变量,以结果母枝生长指标为自变量,分别进行多元逐步回归处理,从回归模型中获取影响植株结果性状与果实品质的生长因子作为协变量;(5)以一般线性模型中的双因素单变量分析法,对结果与品质指标进行单变量协方差分析,排除区组和处理以外的不可控生长因子对研究结果的影响,获得区组和处理水平之间的差异显著性及估算边际均值。

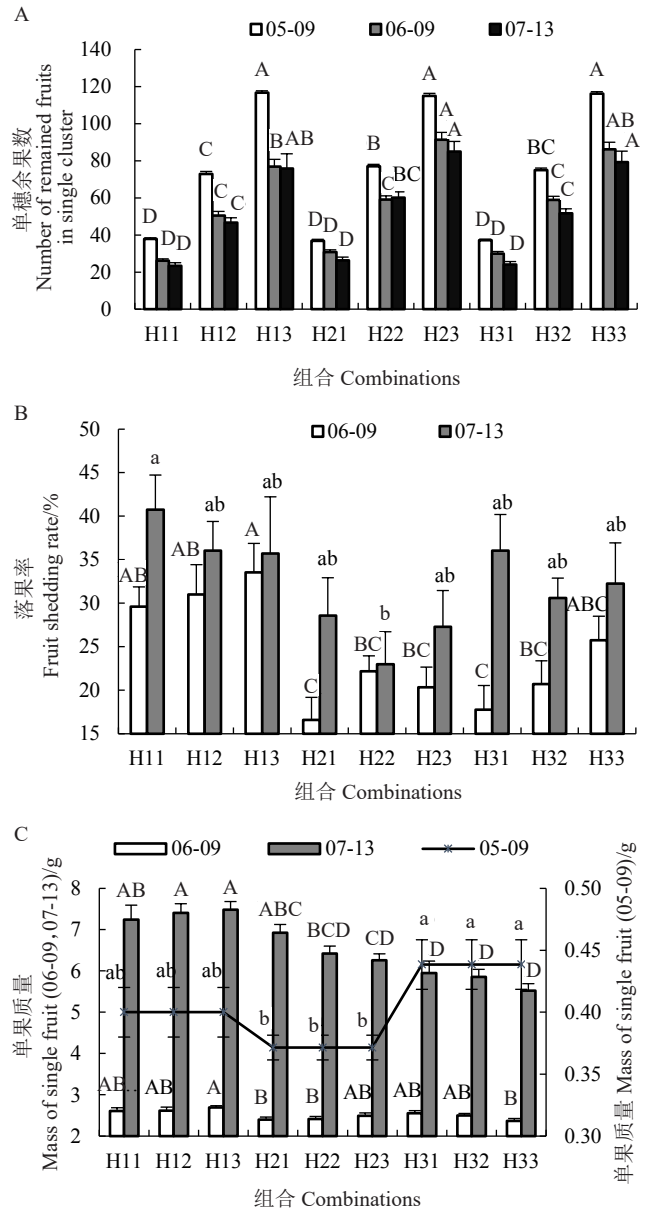
作图:(1)对不同果期的植株叶片色度值进行标准化处理后,运用 TBtool 软件制作热图;(2)其他图表运用 WPS2019 和 Excel 软件制作。

2 结果与分析

2.1 果期各组合果穗的结果性状变化与果实发育进程

图 1-A 中,果实发育期间,各组合果穗的单穗余果数逐渐下降,小果期到膨果初期之间落果幅度较大,之后减缓;同一区组内,3个处理水平之间差异极显著($p < 0.01$,下同),但在3个区组之间,相同处理水平的单穗余果数相近。图 1-B 中,区组 1(H11、H12、H13)落果率最高,其次区组 3(H31、H32、H33),而区组 2(H21、H22、H23)最低;在膨果初期,处理水平 3 的落果率较高,但在成熟期,水平 1 的落果率均高于水平 2 和 3;同一区组内,3个处理水平间差异不显著($p > 0.05$,下同),但区组之间部分组合有差异。另外,区组 2 平均落果率(26.29%)明显低于区组 1(37.42%)与区组 3(32.97%),处理水平 2 平

均落果率(29.20%)低于水平 1(34.72%)和水平 3(31.76%)。图 1-C 中,小果期 3 个区组间单果质量差异较小,其中区组 3 显著高于区组 2($p < 0.05$,下同);膨果初期 H13 与 H21、H22、H33 差异极显著,但与其他处理组合之间差异未达极显著水平($p >$



相同颜色柱上的小写或大写字母表示组合间差异显著($p < 0.05$)或极显著($p < 0.01$)。下同。

The lowercase or capitals on columns with the same color indicate significant($p < 0.05$) or extremely significant ($p < 0.01$) differences between combinations. The same below.

图 1 不同组合果穗在果实发育期间单穗余果数(A)、落果率(B)及单果质量(C)的变化

Fig. 1 Changes in Number of remained fruits in single cluster (A), Fruit shedding rate (B) and Mass of single fruit (C) of different combinations during fruit development

0.01,下同)。成熟期单果质量大幅提高,区组1极显著高于区组3,但区组2中的H21与区组1差异不显著,H22、H23则与区组3差异不显著;另外,同一区组内的不同处理水平间差异也不显著。可见,区组对落果率和单果质量的影响大于处理,在果实发育前后,区组水平之间的单果质量和处理水平之间的落果率差异均发生了反向变化。

2.2 果期植株树势和各组合结果母枝叶片色度变化

小果期3个区组的单株长势基本一致,中等偏壮,叶色浓绿有光泽,树势水平达5级;但随着果实生长发育,植株长势有所下降并产生了明显差异(图2)。膨果初期和成熟期的区组1树势最强且稳定,中等偏壮,成熟期结果母枝叶片的叶绿素含量甚至略高于膨果初期;其次是区组3,与小果期相比,膨果初期树势和叶绿素含量与区组1相近,但成熟期明显下降;区组2最弱,小果期、膨果初期至成熟期,树势持续下降,但各组合叶绿素含量与区组3相近,其中H23的叶绿素含量在所有组合中最低;这表明单株挂果率高,树势则减弱。区组2和3成熟期的叶绿素含量均低于小果期,但两者树势的减弱程度与单株挂果率的增加幅度并不一致,体现了果期树势变化

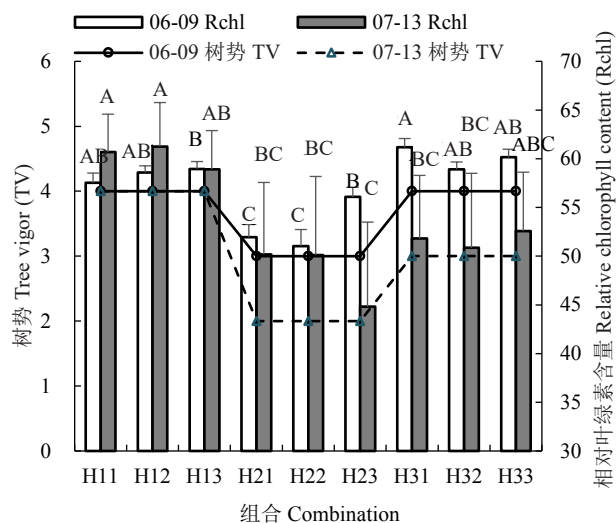


图2 果实发育期间单株区组树势和各组合果穗结果母枝叶片相对叶绿素含量变化

Fig. 2 Changes in TV of different block plants and Rchl contents of FB leaflet from different combinations during fruit development

的复杂性与不可控性。

图3显示,膨果初期和成熟期,各组合间结果母枝的叶片色度值差异均极显著。膨果初期H21、

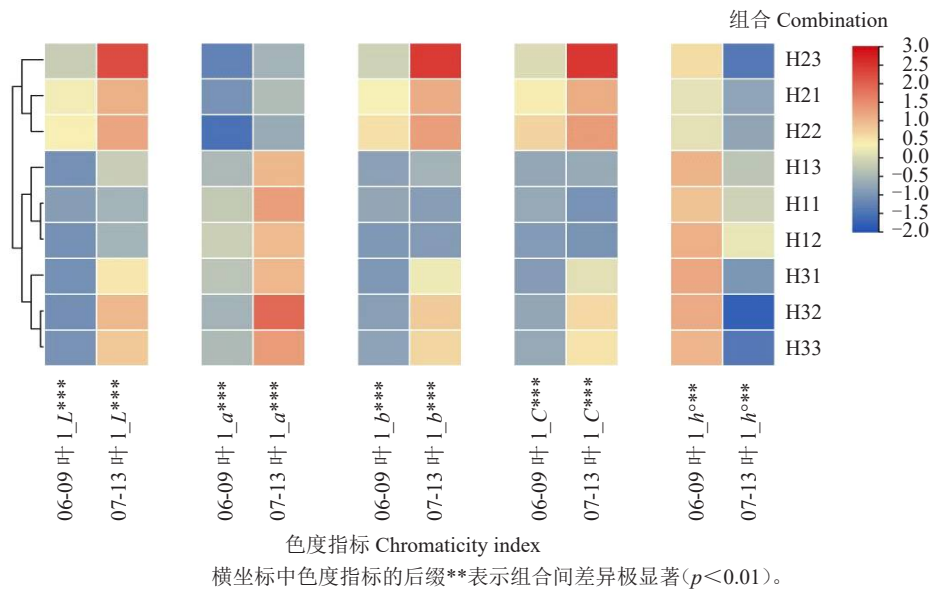
H22和H23结果母枝上叶片的 l_L^* 、 l_b^* 和 l_C^* 均较高, l_h^* 和 l_a^* 较低,叶色为偏明亮而浓郁的黄绿色;其他组合的叶色较接近, l_L^* 、 l_b^* 和 l_C^* 均较低, l_h^* 和 l_a^* 稍高,偏深绿或暗绿。成熟期所有组合结果母枝的叶片色度均发生了明显变化, l_L^* 和 l_a^* 升高, l_h^* 降低,叶色趋向明亮的灰黄绿色。其中,区组1各组合叶片 l_b^* 和 l_C^* 变化不明显,而区组2和3则明显上升,说明区组1结果母枝叶片黄化不明显,表现为深灰绿色,而区组2和3则趋向黄化,又以区组2最黄。聚类结果显示,同一区组内的不同处理水平之间,叶片色度值较为接近,但区组之间差异极显著。可见,在果实发育期间,结果植株树势逐渐减弱,而结果母枝叶片色度与树势水平基本一致(图2),单株挂果率高的树势偏弱,叶色趋向明亮的黄绿色或灰黄绿色。

2.3 成熟期植株树势和各组合结果母枝的生长、结果与果实品质比较

表2中,9个组合间,结果性状指标中的单穗余果数为23~79粒,变异系数高达44.91%,差异极显著,而落果率为23.00%~40.75%,变异系数较小18.15%,差异不显著。所有生长指标,包括成熟树势和结果母枝的基枝粗度、盲节粗度、单穗复叶数、 l_h^* 等,变异系数范围3.02%~57.13%,其中基枝粗、盲节粗度、节间距、单叶小叶数、小叶果比、相对叶绿素含量、叶色、 l_L^* 、 l_a^* 、 l_b^* 和 l_C^* 指标差异均显著或极显著,说明不同组合的结果母枝生长势存在显著差异。所有果实品质指标的变异系数范围均较小,在2.12%~11.98%之间;除了可食率外,其他指标在处理间均存在显著或极显著差异。可见,3个区组中的各组合结果母枝在生长、结果与品质方面均表现出明显差异,而结果母枝及其果实之间广泛存在的个体差异,除了受到试验处理的影响,还可能受到植株本身或土壤、光照、雨水和病虫害等环境因素的影响。

2.4 区组和处理对结果植株和结果母枝叶片长势的影响

表3显示,单株挂果率(区组)高,植株树势偏弱,结果母枝叶色偏浓郁、明亮的黄绿色,相对叶绿素含量较低。初始单穗果数(处理)越高,结果母枝盲节越粗,而小叶果比偏低。成熟树势强,果穗盲节粗,结果母枝叶片相对叶绿素含量高,有叶枝较长,叶片大,单穗小叶总数和小叶果比高,叶片有光泽, l_L^* 、 l_b^* 和



The suffixal ** of chromaticity indexes under the abscissa indicates extremely significant difference between combinations ($p < 0.01$).

图3 不同组合果穗在果实发育期间结果母枝叶片色度值变化

Fig. 3 Changes in leaflet chromaticity of FB from different combinations during fruit development

表2 成熟期各组合果穗的结果母枝生长、结果与品质指标描述分析

Table 2 Results from descriptive statistics of LGFB, fruit-bearing and quality indexes for each combination at fruit mature stage

项目 Item	最小值 MIN	最大值 MAX	平均值 AV	变异系数 CV/%	p 值 p value	项目 Item	最小值 MIN	最大值 MAX	平均值 AV	变异系数 CV/%	p 值 p value
成熟树势 TVM	2.00	4.00	3.00	28.87	—	Rchl	44.81	61.25	53.47	10.46	0.00
单穗余果数 NRFC	23.38	79.30	51.64	44.91	0.00	叶片大小 LFS	3.45	4.79	4.08	12.34	0.26
落果率 FSR/%	23.00	40.75	31.98	18.15	0.11	叶色 LFC	2.27	5.71	3.89	31.32	0.00
基枝粗度 DBFB/mm	8.32	11.32	9.82	8.89	0.04	叶光泽度 LGS	1.30	2.13	1.64	18.40	0.06
盲节粗度 DBFC/mm	6.83	9.22	8.24	9.49	0.00	l_{L^*}	33.36	40.67	36.43	6.63	0.00
树力值 TS	81.88	90.38	85.22	3.79	0.52	l_{a^*}	-6.85	-4.51	-5.64	15.25	0.00
总枝长度 TLFB/cm	29.90	54.57	39.82	18.00	0.25	l_{b^*}	10.79	21.51	15.19	23.51	0.00
有叶枝长度 LFBL/cm	19.10	38.43	27.43	20.33	0.29	l_{C^*}	12.07	22.69	16.34	21.85	0.00
有叶枝长比 RLTB	54.44	81.88	69.35	11.31	0.41	$l_{h^{\circ}}$	108.64	116.89	111.77	3.02	0.001
节间距 SBS/cm	1.61	2.42	1.95	13.34	0.07	单果质量 MSF/g	5.52	7.49	6.50	11.98	0.00
单穗小叶总数 TNLF	66.50	115.40	96.12	20.41	0.18	可食率 EPRF/%	56.46	64.94	61.42	5.08	0.08
单穗复叶数 NCLF	10.50	18.43	14.79	20.14	0.18	可溶性固形物 含量 SSC/%	18.34	23.12	21.02	7.18	0.00
单叶小叶数 NLCL	5.26	7.11	6.30	8.11	0.01	f_{L^*}	50.60	55.31	53.45	2.83	0.00
小叶果比 RSLF	0.86	5.08	2.46	57.13	0.00	f_{a^*}	6.22	8.65	7.56	9.90	0.01
小叶长度 LLF/cm	8.86	11.29	10.53	8.33	0.08	f_{b^*}	30.70	35.71	33.66	5.39	0.00
小叶宽度 WLF/cm	3.25	3.93	3.57	6.81	0.19	f_{C^*}	31.97	36.65	34.59	4.99	0.00
小叶面积 LFA/cm ²	23.47	34.93	30.43	12.54	0.11	$f_{h^{\circ}}$	74.21	79.74	77.29	2.12	0.00

注: p 值表示 H11~H33 共 9 个组合间的差异显著性检验值。

Note: p values indicate the test values of difference significance between 9 combinations from H11 to H33. TVM. Tree vigor at mature stage; NRFC. Number of remained fruits in single cluster; FSR. Fruit shedding rate; DBFB. Diameter at the base of fruiting-branch; DBFC. Diameter at the base of fruit cluster; TS. Tree strength; TLFB. Total length of fruiting-branch; LFBL. Length of fruiting-branch with leaves; RLTB. Ratio of the length with leaves to the total length of fruiting-branch; SBS. Space between sections; TNLF. Total number of leaflets of single FB; NCLF. Number of compound leaves of single FB; NLCL. Number of leaflet per compound leaf; RSLF. Ratio of small leaflet to fruit in single cluster; LLF. Length of leaflet; WLF. Width of leaflet; LFA. Leaflet area; Rchl. Relative chlorophyll content; LFS. Leaflet size; LFC. Leaflet color; LGS. Leaflet glossiness; l_{L^*} . leaf L^* ; l_{a^*} . leaf a^* ; l_{b^*} . leaf b^* ; l_{C^*} . leaf C^* ; $l_{h^{\circ}}$. leaf h° ; MSF. Mass of single fruit; EPRF. Edible portions rate in single fruit; SSC. Soluble solids content; f_{L^*} . fruit L^* ; f_{a^*} . fruit a^* ; f_{b^*} . fruit b^* ; f_{C^*} . fruit C^* ; $f_{h^{\circ}}$. fruit h° . The same below.

表 3 区组和处理与成熟期植株长势和结果母枝生长指标之间的相关性

Table 3 Correlations of block and treatment with the TVM and LGFB indexes at fruit mature stage

项目 Item	成熟树势 TVM	盲节粗度 DBFC	叶色 LFC	叶光泽度 LGS	单穗复叶数 NCLF	有叶枝长度 LFBL	单穗小叶总数 TNLF	小叶面积 LFA
区组 Block	-0.338**	-0.207	-0.240*	-0.191	0.031	-0.138	0.098	0.009
处理 Treatment	0.022	0.464**	-0.025	0.060	0.037	0.081	0.016	-0.087
成熟树势 TVM	1.000	0.278**	0.490**	0.359**	0.323**	0.288**	0.285**	0.317**
项目 Item	1_L^*	1_a^*	1_b^*	1_C^*	1_h°	Rchl	小叶果比 RSLF	
区组 Block	0.286**	0.176	0.258*	0.235*	-0.326**	-0.330**	0.090	
处理 Treatment	0.207	-0.009	0.184	0.180	-0.175	-0.097	-0.554**	
成熟树势 TVM	-0.635**	0.437**	-0.660**	-0.678**	0.141	0.578**	0.237*	

注: *和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平相关性显著。

Note: * and ** indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

1_C^* 降低, 1_a^* 增高, 趋向暗深绿色。可见, 单株挂果率低, 成熟树势强, 结果母枝叶片呈有光泽的深绿色。另外, 单穗余果数与盲节粗($r=0.357^{**}$)、成熟树势与落果率($r=0.329^{**}$)、 1_h° 与相对叶绿素含量($r=0.358^{**}$)均呈极显著正相关, 说明果穗基部越粗壮, 成熟期的单穗余果数越多; 成熟树势越强, 落果率越高; 叶片绿色程度越深, 相对叶绿素含量越高。

2.5 影响各组合果穗结果特性和果实品质的协变量筛选及方差分析

2.5.1 影响各组合果穗结果特性和果实品质的协变量筛选 表 4 中, 利用多元逐步回归法, 分别对结果特性和果实品质进行结果母枝生长因子协变量筛选, 共获得 10 个线性回归模型, 所有模型的 p 值在 0~0.041 之间, 具有统计学意义。结果表明, 除了固定变量(区组和处理)的作用外, 结果母枝生长因子如小叶果比、叶色、有叶枝长度等对其结果特性和品

质差异的贡献率达到 15.0%~66.7% (R^2 值 $\times 100\%$), 贡献率越高, 说明其对各组合考察指标总变异的贡献率也越高, 对区组和处理方差分析的干扰也越大。因此有必要将其设为协变量, 检验其对考察指标影响的显著性, 以排除对方差分析结果的干扰。

回归结果显示: (1) 影响结果特性的协变量主要有小叶果比与单穗余果数第一负相关、与落果率第一正相关, 单穗余果数与单穗小叶总数及盲节粗正相关, 落果率与叶色和 1_L^* 正相关、与 1_C^* 和单穗复叶数负相关。可见, 小叶果比低、单穗小叶总数多、盲节粗度大, 单穗余果数高; 而小叶果比高、叶色明亮鲜绿、单穗复叶数少、叶色淡, 落果率较高。(2) 影响果实品质的协变量主要有单果质量与 1_L^* 负相关, 与基枝粗度正相关, 说明结果母枝叶色偏暗、基枝较粗, 单果质量较高。 1_h° 越高, 叶色越绿, 可食率越高。结果母枝叶片相对叶绿素含量高, 可溶性

表 4 影响各组合果穗结果特性和果实品质的结果母枝生长因子协变量筛选 ($p < 0.05$)Table 4 Covariates screened out from growth factors of FB affecting longan fruit-bearing characteristics and fruit quality of 9 combinations ($p < 0.05$)

因变量 Dependent variable	自变量(协变量) Independent variable (Covariate)	模型 R^2 Model R^2	模型 P Model P	回归模型 Regression model
单穗余果数 NRFC	小叶果比(x_1)、单穗小叶总数(x_2)、盲节粗度(x_3) RSLF(x_1)、TNLF(x_2)、DBFB(x_3)	0.667	0	$y=26.226-12.847x_1+0.241x_2+4.289x_3$
落果率 FSR	小叶果比(x_1)、叶色(x_2)、 1_L^* (x_3)、 1_C^* (x_4)、单穗复叶数(x_5) RSLF(x_1)、LFC(x_2)、 1_L^* (x_3)、 1_C^* (x_4)、NCLF(x_5)	0.466	0	$y=-155.987+4.043x_1+3.385x_2+6.411x_3-3.678x_4-0.580x_5$
单果质量 MSF	1_L^* (x_1)、基枝粗度(x_2) 1_L^* (x_1)、DBFB(x_2)	0.150	0.002	$y=8.348-0.079x_1+0.109x_2$
可食率 EPRF	1_h° (x_1)	0.052	0.041	$y=54.519+0.067x_1$
可溶性固形物含量 SSC	Rchl(x_1)	0.195	0	$y=16.421+0.089x_1$
f_L^*	1_C^* (x_1)、 1_b^* (x_2)、小叶长(x_3) 1_C^* (x_1)、 1_b^* (x_2)、LLF(x_3)	0.544	0	$y=41.97+2.083x_1-1.719x_2+0.340x_3$
f_a^*	有叶枝长比(x_1) RLTB(x_1)	0.163	0	$y=9.28-0.025x_1$
f_b^*	1_C^* (x_1)、小叶长(x_2)、 1_a^* (x_3)、有叶枝长 L(x_4) 1_C^* (x_1)、LLF(x_2)、 1_a^* (x_3)、LFBL(x_4)	0.642	0	$y=20.436+0.405x_1+0.49x_2-0.394x_3-0.028x_4$
f_C^*	1_C^* (x_1)、小叶长(x_2)、 1_a^* (x_3)、有叶枝长(x_4) 1_C^* (x_1)、LLF(x_2)、 1_a^* (x_3)、LFBL(x_4)	0.636	0	$y=22.355+0.394x_1+0.439x_2-0.345x_3-0.028x_4$
f_h°	有叶枝长比(x_1)、 1_C^* (x_2)、叶色(x_3) RLTB(x_1)、 1_C^* (x_2)、LFC(x_3)	0.194	0.001	$y=68.29+0.042x_1+0.277x_2+0.425x_3$

固形物含量也高。果表色度品质主要与 l_C^* 和有叶枝长比有关,其次是小叶长度、 l_a^* 、 l_b^* 、 l_C^* 和叶色。首先, l_C^* 高,小叶较长,叶色浓郁, f_L^* 、 f_b^* 、 f_C^* 和 f_h^* 则较高,即果色偏向明亮浓郁的黄绿色。其次,有叶枝长比与 f_a^* 、 f_b^* 和 f_C^* 负相关,与 f_h^* 正相关,表明有叶枝长比较高时,果表色度偏向淡青绿色。另外,叶色与 f_h^* 正相关, l_a^* 、 l_C^* 与 f_C^* 负相关, l_b^* 与 f_L^* 负相关,说明叶色偏浓绿,果色趋向绿色,而叶色偏浓郁的灰黄色,果色较暗淡。总之,结果母枝的粗度、叶片的颜色与浓淡程度、相对叶绿素含量、有叶枝长度、小叶果比等,均与果实质量、营养品质、外观色度密切相关,通过结果母枝生长状态和叶片颜色,可以大致预判果实的成熟品质。

2.5.2 基于各组合结果特性和果实品质为因变量的协方差主效应分析 以结果特性和果实品质为因变量,基于主效应检验结果显著的协变量对区组和处

理进行单变量协方差分析,表5结果显示了各考察指标(因变量)在区组和处理(固定变量)水平间的差异显著性。所有被考察指标的主效应检验 R^2 值在0.401~0.829之间,说明固定变量与协变量的联合作用对各组合间总变异的贡献率为40.1%~82.9%(R^2 值 $\times 100\%$),贡献率越高说明解释指标(固定变量+协变量)对考察指标差异的解释度越高。在效应检验结果中获得的协变量对考察指标均产生了显著影响($p<0.05$),具有统计学意义,因而对纠正固定变量的主效应检验结果均具有重要的参考意义。

具体表现为:(1)对结果特性而言,处理(初始单穗果数)极显著影响了单穗余果数和落果率($p=0$),而区组(单株挂果率)和处理同时显著影响了落果率($p=0.021,0$);协变量中,小叶果比均极显著影响了单穗余果数和落果率($p=0$),单穗小叶总数显著影响了单穗余果数($p=0$),而单穗复叶数、叶色、 l_L^* 和 l_C^* 均

表 5 主效应检验结果中对因变量作用显著的区组、处理和协变量($p<0.05$)

Table 5 Blocks , treatments and covariates with significant difference based on main effect test ($p<0.05$)

因变量 Dependent variable	源 Sources	模型 P Model P	R^2	因变量 Dependent variable	源 Sources	模型 P Model P	R^2				
单穗余果数 NRFC	区组 Block	0.304	0.829	f_{a^*}	区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.206	0.401				
	** 处理 Treatment	0.000			** 叶 1_{b^*}	0.002					
	区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.266			** 叶 1_{C^*}	0.001					
	** 小叶果比 RSLF	0.000			* 小叶长 LLF	0.015					
	** 单穗小叶总数 TNLF	0.000			** 区组 Block	0.000					
落果率 FSR	* 区组 Block	0.021	0.628	f_{b^*}	处理 Treatment	0.139	0.699				
	** 处理 Treatment	0.000			区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.541					
	区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.137			** 有叶枝长比 RLTB	0.000					
	** 小叶果比 RSLF	0.000			** 区组 Block	0.001					
	** 单穗复叶数 NCLF	0.000			处理 Treatment	0.985					
	** 叶色 LFC	0.000			区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.508					
	** 叶 1_{L^*}	0.001			** 叶 1_{a^*}	0.005					
	* 叶 1_{C^*}	0.021			** 叶 1_{C^*}	0.000					
	单果质量 MSF	** 区组 Block			0.000	0.522		f_{C^*}	** 小叶长 LLF	0.007	0.674
		处理 Treatment			0.111				** 区组 Block	0.010	
区组 Block $\times$ 处理 Treatment		0.158	处理 Treatment	0.868							
* 基枝粗		0.023	区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.600							
可食率 EPRF		** 区组 Block	0.000	0.484	f_{h^o}		* 叶 1_{a^*}		0.027	0.540	
	** 处理 Treatment	0.006	* 叶 1_{C^*}			0.00					
	区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.409	* 小叶长 LLF			0.020					
	** 区组 Block	0.000	** 区组 Block			0.000					
可溶性固形物含量 SSC	处理 Treatment	0.231	0.441	f_{L^*}	* 处理 Treatment	0.027					
	区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.749			区组 Block $\times$ 处理 Treatment	0.586					
	** 区组 Block	0.001			** 叶色 LFC	0.004					
	处理 Treatment	0.069			** 有叶枝长比 RLTB	0.000					

注:源指标左上角*或**表示对因变量影响显著的区组、处理或协变量。

Note: The * or ** on the upper left corner of the source indexes indicate the block, treatment or covariate that significantly impact on the dependent variable.

显著或极显著影响了落果率。(2)单果质量、可食率和可溶性固形物含量,均受到区组的极显著影响($p=0$),其中可食率还受到处理的极显著影响($p=0.006$);3个指标中,仅有单果质量受到协变量基枝粗度的影响。可见,单株挂果率是影响果实发育和营养积累的主要因素,而初始单穗果数还影响了膨果期果肉发育。(3)对果表色度而言, f_{L^*} 、 f_{a^*} 、 f_{b^*} 、 f_{C^*} 、 f_{h^0} 均受到区组的极显著影响($p=0\sim 0.01$),其中 f_{h^0} 还受到处理的显著影响($p=0.027$)。协变量中, l_{b^*} 显著影响 f_{L^*} ($p=0.002$), l_{C^*} 极显著影响果 f_{L^*} 、 f_{b^*} 、 f_{C^*} ,有叶枝长比和叶色则极显著影响果 f_{a^*} 和果 f_{h^0} 。

另外,区组和处理对所有考察指标均不存在交互作用($p=0.137\sim 0.749$),两者互不影响。总之,单穗余果数和落果率主要受区组的影响,其中落果率还同时受到处理的影响;果实大小与可溶性固形物含量主要受区组的影响,而外观品质还受到结果母枝叶片生长(叶色、叶片色度值和有叶枝长比)的显著影响。

2.5.3 基于结果母枝生长因子为协变量的结果特性和果实品质指标估算边际均值比较 通过协方差分析,在排除了协变量干扰的基础上,获得了不同组合果穗结果特性和品质指标在区组和处理不同水平上的边际估算均值(表6)。

表6 各组合果穗的结果特性和品质指标在区组和处理不同水平上的估算边际均值比较

Table 6 Comparison of the estimated marginal means of indexes ($P<0.05$) describing fruit-bearing characteristics and fruit quality of 9 combinations at different levels of block and treatment

项目 Item	区组 Block(单株挂果率 FBRT/%)			处理 Treatment(初始单穗果数 INFC)		
	1(30)	2(60)	3(90)	1(30~40)	2(60~80)	3(100~120)
单穗余果数 NRFC	49.932	55.097	53.098	37.135	48.746*	72.247**/**
落果率 FSR	37.530	29.268*	29.709*	23.030	34.427**	39.050**
单果质量 MSF	7.296	6.566**	5.811**/**	6.761	6.527	6.385*
可食率 EPRF	64.104	62.838*	59.193**/**	63.279	60.952**	61.904*
可溶性固形物含量 SSC	22.738	20.594**	20.328**	21.420	21.359	20.882
f_{L^*}	52.442	54.270**	53.748**	53.072	53.837*	53.551
f_{a^*}	8.270	7.700	6.711**/**	7.919	7.241*	7.522
f_{b^*}	32.687	34.176**	34.335**	33.726	33.705*	33.766*
f_{C^*}	33.768	35.156*	35.072**	34.750	34.557	34.688
f_{h^0}	74.788	78.079**	78.903**	76.474	77.736*	77.560*

注:*或**和*/或**分别表示区组或处理的当前水平与水平1和2在0.05或0.01水平上差异显著。

Note: * or ** and */ or ** indicate the differences of the described level from level 1 and 2 of block or treatment at 0.05 or 0.01 level.

(1)对区组(单株挂果率)而言,随着区组水平提升,落果率、单果质量、可食率、可溶性固形物含量呈降低趋势。其中,区组2和3均显著或极显著低于区组1,区组2和3之间的落果率和可溶性固形物含量无显著差异,但单果质量和可食率存在极显著差异,区组3明显低于区组2。同时,随着区组水平提升, f_{L^*} 、 f_{b^*} 、 f_{C^*} 和 f_{h^0} 均呈上升趋势, f_{a^*} 则呈下降趋势,果色由暗淡的绿褐色趋向明亮、浓郁的黄绿色。区组2和3的前4个色度指标与区组1差异显著或极显著,但区组2和3之间差异不显著;区组3的 f_{a^*} 值极显著高于区组1和2,但区组1和2之间无差异。可见,60%和90%单株挂果率植株的落果率、可溶性固形物含量、果表亮度和黄绿色度(f_{L^*} 、 f_{b^*} 、 f_{C^*} 和 f_{h^0})无明显差异,但单果质量、可食率、 f_{a^*} 差异极显著。此外,单穗余果数随区组水平提升而增高,且以区组2的单穗余果数最高,但区组间无明显差异。可

见,60%单株挂果率可以获得较低的落果率,中等的单果质量、可食率和可溶性固形物含量,优良的果表色度品质,呈明亮浓郁的黄褐至黄绿色。

(2)对处理(初始单穗果数)而言,随着处理水平提升,单穗余果数和落果率也逐渐提高,且水平2和3均显著或极显著高于水平1,水平3的单穗余果数还极显著高于水平2。同时,单果质量、可食率和可溶性固形物含量呈下降趋势,其中水平3的单果质量显著低于水平1和2,但水平1和2之间差异不显著;水平2和3的可食率显著或极显著低于水平1,但水平2和3之间无显著差异,而3个水平间的可溶性固形物含量差异不显著。此外,除了 f_{C^*} 在3个处理水平间无显著差异外,果表色度值均以处理水平2为最高或最低, f_{b^*} 和 f_{h^0} 在处理水平2和3之间无差异。可见,60~80粒初始单穗果数的处理,成熟时具备中等的单穗余果数、落果率,较高的单果质量和可溶性固形

物含量,稍低的可食率,果色最优,呈明亮的黄绿色。

3 讨 论

3.1 不同单株挂果率和初始单穗果数对龙眼结果母枝生长、结果与果实品质的影响

龙眼植株具有明显的大小年结果特性,除了要在采后修剪、田间肥水和病虫害防治等方面加强管理外,花果期的疏花疏果也是调节植株负载、缓和生长与结果矛盾、提高果实品质的一项显著有效的技术措施,而单株挂果率和初始单穗果数是实践操作时的2个重要技术参数。许奇志等^[11]研究了立冬本龙眼不同单株挂果率对果实品质和翌年枝梢生长及成花率的影响,认为合适的单株挂果率为32%,初始单穗果数为60~70粒,可以保障果实品质。刘淑仪^[12]研究了不同花穗修剪方法对龙眼结果和品质的影响,认为疏花可以提高雌花比例和坐果率,改善枝叶营养和果实品质。韩冬梅等^[13]研究认为石硖龙眼单株挂果率50%~60%、单穗果数60粒,适度的回缩修剪,是植株负载与果实品质获得平衡的最优组合。以上研究均涉及了单株挂果率或初始单穗果数的问题,但对两者之间的相互作用以及适量负载参数的设定依据研究不足,关于结果负载与植株和结果母枝生长状态之间的关系也未予考虑。本研究在排除了结果母枝生长差异的基础上,分析了疏花疏果后的单株挂果率和初始单穗果数对结果特性和果实品质的影响,发现单株挂果率和初始单穗果数之间不存在交互作用。初始单穗果数主要影响成熟时单穗余果数、落果率和果表色调(f_h°),而单株挂果率除了影响落果率外,还影响单果质量、可食率、可溶性固形物含量和果表色度等品质。此外,单株挂果率与成熟树势呈极显著负相关,并显著影响叶片的颜色,而成熟树势又与落果率呈极显著正相关;再者,成熟时单穗余果数与结果母枝盲节粗度呈极显著正相关,这与陈华等^[16]认为龙眼结果母枝粗度与单穗挂果量呈显著正相关的结论一致。

因此,综合果期树势变化规律、成熟树势水平、产量和品质要求等因素,在中等偏壮树势条件下,疏花疏果时保留60%的单株挂果率相对比较合理,能够获得较高的单果质量、可食率、可溶性固形物含量和最佳的外观色度品质,这与岳阳红苹果、红富士苹果中等负载量植株的果实内在和外在品质好,有助于丰产、稳产和优质的结论基本一致^[17-18]。另外,结

合实际树势,适当降低或提高挂果率,建议中等偏壮树单株挂果率不超过60%,弱树与衰退树可以降低至30%,甚至不挂果。其次,在确认树势的基础上,以60~80粒初始单穗果数为基础,结合结果母枝盲节粗度(均值8.24 mm)和单穗小叶总数(均值96片)来适当增减单穗初始果数,盲节较粗、单穗小叶总数多的,可以适当增加初始单穗果数,但建议不超过120粒·穗⁻¹,否则显著降低单果质量。再者,相对树势来说,过低的单株挂果率和初始单穗果数,虽然可以明显提高单果质量与可食率,适当提高可溶性固形物含量,可以提早成熟采收,但果实外观色度品质下降,落果率升高,导致单株产量过低,影响最终的经济效益。

3.2 结果母枝生长状态对龙眼结果特性与果实品质的影响

果树负载量对植株生长结果和品质均会产生影响^[19],如灵武长枣负载量影响叶片光合作用、单果质量和营养品质^[20],纽荷尔脐橙负载量显著影响植株产量、大小年程度和品质^[21],桃树负载量影响植株水分运输和小果期生长发育^[22]等,但关于植株生长状态对落果率、单果质量、营养水平和外观品质等影响的研究鲜见报道。本研究除了厘清单株挂果率和初始单穗果数对龙眼结果特性和果实品质的影响外,还通过相关分析和多元逐步回归分析确定了植株长势、结果母枝枝叶状态、小叶果比等对结果性状和品质的影响。结果表明:(1)结果母枝小叶果比高,则落果率高,单穗余果数少;单穗小叶总数多,盲节较粗,则单穗余果数多;单穗复叶数少,叶色偏向有光泽的浓绿色,即枝叶长势过旺,落果率会增高。这既体现了果树源库竞争的叶果比例学说^[23-25],又说明了果实发育既需要结果母枝叶片具备较高的群体营养制造与供应能力,也需要粗壮的结果母枝具备良好的营养输送与支撑能力。(2)结果母枝叶片偏深绿色、基枝较粗、相对叶绿素含量高,利于单果质量、可食率和可溶性固形物含量的提高,说明在果实膨大期的迅速生长与营养快速积累阶段,结果母枝叶片的光合能力密切影响果实的经济性状与营养品质,这与郭栋梁等^[26]认为弱树叶片叶绿素与可溶性糖含量均低于强壮树的结论一致。同时,基枝较粗,也为结果母枝从相邻枝干、叶片及根部吸收营养提供了更加宽敞的通道。另外,叶片色度偏浓绿、有叶枝长度较短,果表偏黄色,而有叶枝长比较高,果表偏绿色。(3)结果植株的成熟树势同时受到结果母枝和夏梢枝叶长势的影响,单株挂果

率低,夏梢发生量多,夏梢长势与结果母枝叶片长势可能存在差异,从而影响结果母枝叶片长势的判断。但研究表明,结果植株的整体树势与结果母枝叶片长势基本一致,即树势强,结果母枝上的单穗复叶数、单穗叶片总数、单穗复叶数、有叶枝长比、小叶面积、小叶果比、叶绿素含量均较高,而且叶片偏深绿色,有光泽;树势差,结果母枝叶片长势也差。说明不论单株挂果率高低,结果母枝叶片长势与植株整体树势基本一致,相互制约,又相互促成。

3.3 利用协方差分析排除混杂因子对试验结果的影响

由于龙眼属于高大乔木类果树,以穗状结果为特征,单株间和单株内不同单穗均会呈现较大的个体差异。因此,对于大田试验来说,有必要尽量控制田块、单株,甚至单穗条件一致,但在实际操作中很难做到,尤其在经历了漫长的开花、结果过程后,均会不可避免地发生变化,被视为不可控混杂因素。在本试验中,区组2植株在成熟期的树势发生了明显衰退,但不同处理水平的单果质量、可食率和可溶性固形物含量的总体水平皆处于中等,与树势关系似乎不太明显,但其落果率(26.29%)明显低于区组1(37.24%, $p=0.009$),与区组3(32.97%)也有较大差距;同区组内,3个处理水平之间的落果率差异不显著。为了排除植株长势的随机性变化导致考察变量失真的情况,本研究采用多元逐步回归法筛选出协变量,利用协方差分析检验协变量的有效性,并获得排除协变量干扰后的考察指标估算均值,发现在假定成熟期3个区组植株结果母枝的相关生长因子水平一致的前提下,区组2的估算落果率(29.27%)虽然明显低于区组1(37.53%),但与区组3(29.71%)很接近;处理水平1的落果率最低(23.03%),且显著低于水平2(34.43%)和水平3(39.05%),与实测值的表现规律不一致甚至相反。因此,在假定3个区组植株结果母枝生长一致的前提下,协方差分析结果更能准确反映不同区组设置和处理水平对处理果穗落果率的影响。同样,果表色度品质也受到了结果母枝生长因子的影响。

另外,表5中的 R^2 值反映了固定变量(区组和处理)与协变量联合作用,对考察指标总差异的贡献率高低。本研究中引入的协变量以直观易测的表型指标为主,其中 R^2 值较小的情况说明固定变量和协变量的联合作用贡献率较低,还不足以完整解释考

察指标发生变化的原因,因此在后续研究中还需要继续探索更准确或更深层次的表现、生理生化或者分子生物学指标,以充实解释指标库,完善考察指标(因变量)与解释指标(协变量)的回归模型,提高回归模型对考察指标的解释度。

3.4 关于龙眼合理负载的生产建议

综上所述,合理负载对龙眼结果母枝生长状态、结果特性、果实品质均产生了重要影响,实践证明植株生长状态是果实负载合理与否的重要检验指标,也是翌年可持续结果的重要参考依据,因此让植株与结果母枝保持良好的生长状态成为花果期田间管理的首要目标,其次是培育良好的果实品质。生产建议:第一,培养健壮的采后秋梢或夏延秋梢,为植株负载能力提供充足的物质基础和承载能力;第二,疏花疏果时,依据花果期树势确定单株挂果率,依据结果母枝盲节粗度和叶片数量确定初始单穗果数;第三,花果期加强肥水管理和病虫害防治,尤其是高挂果率的结果植株,更需要加强肥水管理以维持结果母枝叶片长势,防止衰退,减少叶果之间的营养竞争,促进果实发育,获得理想的内外品质。

4 结 论

龙眼单株挂果率与初始单穗果数之间不存在交互作用。初始单穗果数主要影响成熟时单穗余果数和落果率,而单株挂果率则主要影响落果率和单果质量、可食率、可溶性固形物含量和果表色度等品质。石硖龙眼花果期疏花疏果时,建议在中等偏壮树势条件下,保留60%的单株挂果率,并依据树势情况,酌情减少或提高挂果率;而初始单穗果数以60~80粒为基础,根据盲节粗度和小叶数量相应增加或减少。另外,单株挂果率与植株和结果母枝长势密切相关,而小叶果比、单穗复叶数、叶色、 1_L^* 、 1_a^* 、 1_b^* 、 1_C^* 、基枝粗度、有叶枝长、单穗小叶总数等生长因子对植株结果特性和果实品质也产生了显著影响,因此生产中应结合植株与结果母枝生长情况对结果特性和果实品质进行较为准确的预判和评价。

参考文献 References:

- [1] KUMAR M, RAWAT V, RAWAT J M S, TOMAR Y K. Effect of pruning intensity on peach yield and fruit quality[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125(3): 218-221.
- [2] OLESEN T, MENZEL C M, MCCONCHIE C A, WILTSHIRE N. Pruning to control tree size, flowering and production of litchi[J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 156: 93-98.
- [3] 秦梦, 秦明凤, 秦燕, 张家琼, 席正琴. 苹果树大小年形成的原

- 因及其克服技术[J]. 中国南方果树, 2014, 43(6): 135-136.
- QIN Meng, QIN Mingfeng, QIN Yan, ZHANG Jiaqiong, XI Zhengqin. The causes of the formation of apple trees and their overcoming techniques[J]. South China Fruits, 2014, 43(6): 135-136.
- [4] BOTE A D, JAN V. Branch growth dynamics, photosynthesis, yield and bean size distribution in response to fruit load manipulation in coffee trees[J]. Trees, 2016, 30(4): 1275-1285.
- [5] 叶彩霞, 钟红玫. 龙眼结果树管理技术[J]. 现代农业科技, 2012(9): 145-146.
- YE Caixia, ZHONG Hongmei. Management technology of Longan fruit tree[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(9): 145-146.
- [6] 黄金华. 龙眼整形修剪技术[J]. 中国热带农业, 2007(4): 51-52.
- HUANG Jinhua. Longan shaping and pruning technology[J]. China Tropical Agriculture, 2007(4): 51-52.
- [7] 罗维康. 疏果对石硖龙眼产量和品质的影响[J]. 广西园艺, 2005, 16(2): 4-6.
- LUO Weikang. Effect of fruit thinning on yield and quality of longan in Shek Kip[J]. Southern Horticulture, 2005, 16(2): 4-6.
- [8] 李建国, 黄旭明, 周碧燕, 周贤军. 人工疏果对龙眼果实大小、内源激素和细胞壁成分的影响[J]. 热带作物学报, 2000, 21(3): 28-33.
- LI Jianguo, HUANG Xuming, ZHOU Biyan, ZHOU Xianjun. Effects of hand-thinning on the longan fruit size, endogenous hormones level and pericarp cell wall components[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2000, 21(3): 28-33.
- [9] 杨子琴, 李卫亮, 张蕾, 洪继旺, 陈星星, 顾路莹, 李松刚. 不同疏果剂对龙眼幼果脱落和离区水解酶活性的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44(2): 81-83.
- YANG Ziqin, LI Weiliang, ZHANG Lei, HONG Jiwang, CHEN Xingxing, GU Luying, LI Songgang. Effects of different fruit thinning agents on abscission and abscission hydrolase activity of young longan fruits[J]. South China Fruits, 2015, 44(2): 81-83.
- [10] 韩冬梅, 何雨婷, 梁嘉雯, 吴振先, 李建光, 郭栋梁, 李保建. 疏花疏果和疏处理对龙眼果实采收品质与贮藏性的影响[J]. 广东农业科学, 2020, 47(5): 102-111.
- HAN Dongmei, HE Yuting, LIANG Jiawen, WU Zhenxian, LI Jianguang, GUO Dongliang, LI Baojian. Effects of flower and fruit thinning combined with selenium supplementation on the harvest quality and postharvest storability of longan fruit[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(5): 102-111.
- [11] 许奇志, 林旗华, 张丽梅, 郑少泉, 许秀淡. 不同留果量对龙眼枝梢成花及产量效益的影响[J]. 中国南方果树, 2011, 40(6): 44-46.
- XU Qizhi, LIN Qihua, ZHANG Limei, ZHENG Shaoquan, XU Xiudan. Effects of different fruit retention on flower formation and yield benefit of longan branches and tips[J]. South China Fruits, 2011, 40(6): 44-46.
- [12] 刘淑仪. 疏花保果对龙眼生长发育、相关酶活性及果实品质影响的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- LIU Shuyi. Effects of thinning flower and fruits retention on the growth, enzyme activity and quality of longan[D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [13] 韩冬梅, 郭栋梁, 李建光, 潘学文, 李荣. 平衡式疏果修剪法对龙眼生长与结果的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(19): 62-70.
- HAN Dongmei, GUO Dongliang, LI Jianguang, PAN Xuewen, LI Rong. Effects of balanced pruning combined with young fruit thinning on the growth and fruiting of longan trees[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(19): 62-70.
- [14] 李建光. 龙眼高效栽培技术 200 问[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 109.
- LI Jianguang. 200 questions about high-benefit cultivation techniques of longan[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 109.
- [15] 武松. SPSS 实战与统计思维[M]. 北京: 清华大学出版社, 2019.
- WU Song. SPSS and statistical thinking[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2019.
- [16] 陈华, 李建国, 张宗师, 王泽槐, 陈德华, 杨锦邦, 陈燮云. 结果母枝粗度及其负载量对龙眼果实生长发育的影响[J]. 中国南方果树, 2002, 31(5): 36-37.
- CHEN Hua, LI Jianguo, ZHANG Zongshi, WANG Zehuai, CHEN Dehua, YANG Jinbang, CHEN Yuyun. Results The effect of mother branch thickness and its load on the growth and development of longan fruit[J]. South China Fruits, 2002, 31(5): 36-37.
- [17] 张秀美, 王宏, 刘志, 于年文, 李宏建, 里程辉. 岳阳红苹果矮化栽培与负载量关系研究[J]. 果树学报, 2021, 38(7): 1077-1083.
- ZHANG Xiumei, WANG Hong, LIU Zhi, YU Nianwen, LI Hongjian, LI Chenghui. A study on the relationship between dwarfing cultivation and load of Yueyanghong apple[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(7): 1077-1083.
- [18] 李卓阳, 董晓颖, 王志鹏, 王金政, 李培环. 不同负载量处理对红富士苹果产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(2): 210-214.
- LI Zhuoyang, DONG Xiaoying, WANG Zhipeng, WANG Jinzheng, LI Peihuan. The effects of different capacity on yield and quality of Red Fuji apple[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(2): 210-214.
- [19] LINK H. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality[J]. Plant Growth Regulation, 2000, 31(1): 17-26.
- [20] 赵思明. 源库调节对灵武长枣光合作用及果实品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2021.
- ZHAO Siming. Effects of source and sink regulation on photosynthesis and fruit quality of *Ziziphus jujuba* Mill. cv. 'Lingwuchangzao' [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021.
- [21] 邱芳颖. 纽荷兰脐橙果实品质和植株营养对挂果量响应研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- QIU Fangying. Study on fruit quality and plant nutrition of Newhall navel orange in response to fruit bearing number[D]. Chongqing: Southwest University, 2021.
- [22] DE SWAEF T, MELLISHO C D, BAERT A, DE SCHEPPER V, TORRECILLAS A, CONEJERO W, STEPPE K. Model-assisted evaluation of crop load effects on stem diameter variations and fruit growth in peach[J]. Trees, 2014, 28(6): 1607-1622.
- [23] 李建国, 黄辉白, 黄旭明. 妃子笑荔枝早花大果和晚花小果与营养竞争的关系[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 195-198.
- LI Jianguo, HUANG Huibai, HUANG Xuming. Relationship between nutrient competition and differential fruit sizing of Feizixiao *Litchi* fruit from early and late blooms[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(3): 195-198.
- [24] URBAN L, LÉCHAUDÉL M. Effect of leaf-to-fruit ratio on leaf nitrogen content and net photosynthesis in girdled branches of *Mangifera indica* L.[J]. Trees, 2005, 19(5): 564-571.
- [25] ZHANG C F, PAN C D, CHEN H. Effects of leaf-to-fruit ratio on chlorophyll fluorescence parameters of walnut (*Juglans regia* L.) leaves[J]. Photosynthetica, 2018, 56(4): 1429-1436.
- [26] 郭栋梁, 李建光, 袁沛元, 韩冬梅, 李荣, 潘学文. 不同树势对石硖龙眼光合特性及果实品质的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(17): 31-34.
- GUO Dongliang, LI Jianguang, YUAN Peiyuan, HAN Dongmei, LI Rong, PAN Xuewen. Effects of different tree vigor on photosynthetic characteristics and fruit quality of Shixia longan[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(17): 31-34.