

韩冬梅, 陈泳琪, 张佳丽, 等. 龙眼鲜果贮藏品质采前优化调控技术比较 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(1): 61-71.
HAN Dongmei, CHEN Yongqi, ZHANG Jiali, et al. Comparison of different preharvest technologies to regulate and control storage quality of *Dimocarpus longan* fruit[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(1): 61-71.

龙眼鲜果贮藏品质采前优化调控技术比较

韩冬梅¹, 陈泳琪², 张佳丽², 陈美芸², 吴振先², 李建光¹

(1 广东省农业科学院 果树研究所/农业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; 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, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探讨采收成熟度、树势与果期管理对龙眼果实采后贮藏性能和货架寿命的影响。【方法】以‘石硖’龙眼 *Dimocarpus longan* Lour. cv. Shixia 为材料, 以果实成熟度、树势、采前调控为试验因素, 设计三因素三水平的单因素试验, 采用 SO₂ 保鲜纸处理采收的果实并于 (5±1) °C 低温贮藏 50 d, 观察其出库和货架好果率 (25 °C 左右), 比较不同采前处理果实之间的贮藏性能差异。【结果】80%~85% 成熟度的适熟果出库好果率和货架好果率均高于完熟 (95%~100% 成熟度, CK) 和过熟果, 且过熟果最差。采前病害防治与营养调控果实的出库好果率和货架好果率均显著高于 CK(无调控)(*P*<0.01), 其中, 采前病害防治效果最好, 出库好果率为 93.26%; 其次是营养调控, 出库好果率为 84.23%, CK 仅为 67.71%。3 种树势中, 强壮树果实贮藏性最好, 其次是衰弱树, CK(中庸树) 最差。在所有处理中, 采前病害防治果实贮藏效果最好, 货架存放 4 d 好果率为 84.86%; 强壮树、营养调控和衰弱树果实货架 4 d 好果率分别为 63.23%、56.14% 和 51.12%; 过熟果最差, 为 26.91%。相关分析结果表明, 采收时果肉可溶性固形物含量与果肉 SO₂ 残留量、货架质损率均呈显著负相关, 但与贮藏效果相关性不明显。【结论】在龙眼果实生长期, 做好采前病害防治和营养调控, 合理挂果以保持树势, 并于适当成熟度采收果实, 可以获得较为理想的贮藏性能和采后寿命。

关键词: 龙眼; 果实成熟度; 树势; 采前调控; 贮藏品质; 货架表现
中图分类号: S667.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2021)01-0061-11

Comparison of different preharvest technologies to regulate and control storage quality of *Dimocarpus longan* fruit

HAN Dongmei¹, CHEN Yongqi², ZHANG Jiali², CHEN Meiyun², WU Zhenxian², LI Jianguang¹
(1 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agriculture Science/Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization (MOA)/Guangdong Province Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fruit Tree Research, Guangzhou 510640, China; 2 College of Horticulture, South China Agricultural University/Guangdong Provincial Key Laboratory of Postharvest Science of Fruits and Vegetables/Engineering Research Center for Postharvest Technology of Horticultural Crops in South China, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To investigate the influence of fruit maturity at harvest, tree vigour and preharvest regulation on the storage performance and shelf life of *Dimocarpus longan* fruit. 【Method】*D. longan* Lour. cv. Shixia fruits were used as experimental material. Three groups of single factor experiments were designed with

收稿日期: 2020-04-27 网络首发时间: 2020-12-04 09:43:49
网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20201203.1730.006.html>
作者简介: 韩冬梅 (1972—), 女, 研究员, 硕士, E-mail: handongmei@gdaas.cn; 通信作者: 吴振先 (1971—), 男, 教授, 博士, E-mail: zhenxwu@scau.edu.cn
基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目 (2019KJ123); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (荔枝龙眼体系 CARS-32-15); 广东省扬帆计划团队项目 (2014yT02H013)

fruit maturity, tree vigour and preharvest regulation as the experimental factors, and each factor had three levels. The harvested fruits were treated using SO₂-released paper and were stored at (5±1) °C for 50 days. We observed the good fruit rate after storage (STGFR), and the good fruit rate during shelf life (SFGFR) at (25±1) °C. The storage performances of fruits with different preharvest treatments were compared. 【Result】 Fruits harvested at appropriate maturity (80%–85% maturity degree) had higher STGFR and SFGFR than those at full maturity (95%–100% maturity degree, CK) and over maturity, and the over matured fruits performed the worst. Both preharvest disease control and nutrition regulation treatments resulted in fruits with higher STGFR and SFGFR compared to CK with significant differences ($P<0.01$). Among them, disease control treatment performed the best with 93.26% STGFR, followed by nutrition regulation treatment (84.23%), and the worst was CK (67.71%). Among three types of trees with different vigor, fruits from strong tree had the best storability, followed by weak tree, and CK (medium tree) was the worst. Among all treatments, the fruit storability of disease control treatment was the best, with a SFGFR of 84.86% after four days on shelf, followed by strong tree, nutrition regulation and week tree treatments, with SFGFR of 63.23%, 56.14% and 51.12% respectively, and the worst was the over matured fruit (26.91%). The results of correlation analysis indicated that the content of total soluble solids in fruit pulp at harvest was significantly negatively correlated with the amount of SO₂ residue in pulp and mass loss rate during shelf life, but not correlated with storability. 【Conclusion】 During the fruit growth period of *D. longan*, performing disease control and nutrition regulation, keeping reasonable tree vigour with suitable fruit setting rate, and harvesting at appropriate maturity can help the fruit obtain better storability and longer shelf life.

Key words: *Dimocarpus longan*; fruit maturity; tree vigor; preharvest regulation; storage quality; shelf performance

龙眼 *Dimocarpus longan* Lour 果实极其不耐贮运, 已成共识, 目前除了采后杀菌处理和低温贮运外, 尚无更为有效的保鲜措施。一般在 5 °C 下贮藏 21~28 d 后龙眼果实开始褐变, 而且货架寿命极其短暂。研究表明, 品种^[1]、采收成熟度^[2-5]、营养调控^[6]、病虫害防治、套袋、遮阴、水分管理^[7]、生长调节剂等^[8]对果实采收时的贮运品质影响很大。采收时果实良好的贮运品质, 是获得理想的采后贮运效果的前提。快捷物流虽然有助于减轻绝大部分果蔬采后易腐问题, 但相对恶劣的常温包装和贮运环境, 极易导致果实变味、霉烂, 缩短果实出箱后的商品寿命, 因此常温速递贮运要求果实具备更高的贮运品质。

当前生产中主栽品种‘石硖’、‘储良’均为最耐贮藏的品种之一, 且‘石硖’优于‘储良’^[9]。不同果实成熟度中, 85% 成熟度的果实具备最佳的贮藏与货架表现, 得益于其较为致密、完整的细胞与组织结构^[10]。果实结构解剖学比较结果显示, ‘石硖’和‘储良’品种挂树成熟与退糖期间, 二者之间的差异主要在于中果皮细胞排列紧密程度, 果肉细胞的刚性程度和组织的完整状态^[11]。其次, 采前潜伏侵染病害严重影响果实采后贮藏性, 龙眼

拟茎点霉 *Phomopsis longan* 侵染导致龙眼果皮活性氧清除能力下降而积累大量活性氧, 导致龙眼果皮褐变^[12-13]。炭疽病是广东‘石硖’龙眼果期主要的潜伏病害, 从幼果期到采收时侵染率可达 90%, 严重降低果实贮藏性; 采前喷施 3 次杀菌剂可显著降低炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 潜伏侵染率, 提高龙眼贮藏效果^[14]。除了品种、成熟度和病害 3 个因素外, 成熟果实的营养积累和结构与龙眼果实贮藏性也密切相关。比如, 采前施钙可以促进龙眼果实中糖分积累, 增加鲜果质量和干物质质量, 降低贮藏期间的质量损失率, 提高贮藏好果率^[15-16], 而钙硼混合液的效果比钾液、钾钙单独使用效果差^[17]。采前定期使用硫酸锌、磷酸二氢钾喷施植株与果实, 可有效抑制龙眼采后贮藏过程中果皮的多聚半乳糖醛酸酶 (PG)、纤维素酶 (Cx) 和脂肪氧化酶 (LOX) 酶活性, 维持原果胶、水溶性果胶、纤维素及半纤维素等物质含量, 提高果实贮藏性, 其中 Zn²⁺ 的处理效果比 K⁺ 的稳定^[18-19]。此外, 笔者在 2015、2016 连续 2 年观察了叶面喷施硫酸镁对龙眼果实贮藏性的影响, 发现可以明显提高果实采后低温与常温贮藏后的好果率。

前期报道已有关于龙眼果实成熟品质评估^[20]、

贮运品质评价^[21]、龙眼果实挂树退糖机理^[22]、采前营养调控和树势选择对龙眼果实贮运品质的影响^[19]等方面的详细研究, 但各因素对龙眼果实采后贮藏性的影响差异未明。本研究拟从果实成熟度、树势、采前调控共 3 个方面, 利用自行研制的龙眼保鲜纸应用技术^[23], 开展采后贮藏性比较试验, 分析采前不同的优化调控技术对龙眼果实采后贮藏性的影响大小, 筛选关键影响因素, 为丰富龙眼果实贮运品质的采前采后全程控制技术体系、向采前拓展龙眼鲜果贮运技术和指导生产优质龙眼鲜果, 提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料

果实: 不同成熟度、采前调控以及中庸树果实均来自相同的 5 棵中老年结果植株, 树冠高大, 稍郁闭, 树龄近 40 年; 强壮树果实来自 3 株中青年结果植株, 树龄近 10 年; 衰弱树果实来自 3 株中老年结果植株, 树龄近 40 年。以上样品树均来自广东省农业科学院果树研究所龙眼试验园, 采前实施统一田间水肥和病虫害管理。

试剂: 氯化钠、氯化汞、硫酸锌、硼砂、盐酸副玫瑰苯胺 (盐酸副品红)、硫酸镁、磷酸二氢钾等均为国产分析纯; 咪鲜胺 (农药级) 为江苏辉丰农化股份有限公司产品; 阿咪妙收 (苯醚甲环唑·嘧菌酯, 农药级) 为海南先正达公司产品。

仪器与设备: ATAGO PR-32α 型数显折光仪,

CR-300 型全自动色差仪, UV-1 600 型紫外可见分光光度计。

1.2 采前田间处理

疏果处理: 所有试验树于 2018 年 4 月 7—10 日谢花, 5 月 18 日选择试验树。由于适逢龙眼大年, 单株挂果率近 100%, 故于 5 月 23 日进行疏穗疏果, 其中 5 棵中庸树保留挂果率 60%~70%, 3 棵中青年强壮树挂果率 40%~50%, 以保持强壮树势, 单穗果数 50~70 粒; 3 棵中老年衰弱树挂果率 30% 左右, 单穗果数 20~40 粒。

调控处理: 使用阿咪妙收 2 000 倍对果穗进行采前杀菌处理, 使用自配的复合叶面肥 (质量分数为 0.3% 的 KH_2PO_4 ; 质量分数为 0.2% 的 ZnSO_4 和 0.5% 的 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 对果穗进行营养调控。在不同方位进行单穗挂牌, 每处理每株挂牌 8 穗, 5 个植株重复, 2 种处理共挂牌 80 穗。自 5 月 24 日起第 1 次喷施, 每处理每隔 15 d 喷施 1 次, 共 4 次。

1.3 试验设计

以果实成熟度、树势和采前调控为试验因素, 设计了 3 组单因素试验, 共 7 个试验处理, 整个采收过程与具体时间及处理编号如表 1 所示。其中, 以来自无采前调控处理的中庸树的完全成熟 (完熟) 果实同时作为果实成熟度、树势、采前调控试验的共同对照 (CK), 适熟果采收成熟度 80%~85% 左右, 完熟果 95%~100%, 过熟果则表现为果肉甜度明显下降, 俗称“退糖”果, 同时口感纤维化。

表 1 龙眼果实采前处理设计与采收时间^{a)}

Table 1 Preharvest treatment design and harvesting date for *Dimocarpus longan* fruits

项目 Item	果实成熟度 Fruit maturity (FM)			树势 Tree vigour (TV)			采前调控 Preharvest regulation (PR)		
处理 Treatment	适熟 Appropriate maturity	完熟(CK) Full maturity	过熟 Over maturity	衰弱树 Weak tree	中庸树(CK) Medium tree	强壮树 Strong tree	病害防治 Disease control	营养调控 Nutrition regulation	无调控 (CK) No regulation
采收日期 Harvest date	07-09	07-16	08-02	07-16	07-16	07-26	07-16	07-16	07-16

1) CK 为无采前调控处理的中庸树完全成熟果实
1) CK represents fruit with full maturity harvested from the medium-vigour tree without preharvest regulation

1.4 方法

1.4.1 采收与采后处理 采收运输: 每个处理均从各自的重复样品树上混合采收, 在田间挑选正常果穗, 盛放在干净的塑料筐内, 立即运回实验室, 历时约 1.5 h。

杀菌消毒: 挑选出无病、虫、伤、褐变、腐烂、畸形果, 使用 500 mg/kg 的咪鲜胺保鲜液浸泡 2 min, 晾干后每穗剪留长约 15~20 cm 的果枝。

贮藏包装: 使用泡沫箱盛放 (内径 36 cm×26 cm×10 cm), 以 0.02 mm 聚乙烯 (PE) 袋衬垫。每筐装果 2.5 kg, 在 (5±0.5)℃ 冷库敞口预冷 2 h 后, 果面铺放 1 张龙眼专用保鲜纸, 释放面朝下, 密封, 继续在 (5±0.5)℃ 冷库中贮藏至 50 d 出库。每处理重复 3 次。

货架包装: 贮藏结束后, 出库, 剪留短果枝长约 2~5 cm, 挑选好果用作货架观察。使用六面带孔的

透明塑料保鲜盒盛放，每盒装果约 500 g，(25±1)℃ 恒温库存放，每箱果实盛放 3 盒，每处理 3 箱，共有 9 个货架观察重复。每日称取果实质量，观察货架表现。

冻样制取：贮藏结束后，随机取样果 30 个，剥取一半果肉，以液氮冻结并粉碎，以铝箔纸包装后置密封袋中，于-80℃超低温冰箱保存，用于测定 SO₂ 残留量。

1.4.2 观测方法 低温贮藏效果：出库好果率=无霉、烂果质量/全部果质量×100%，出库霉果率=霉而未烂果质量/全部果质量×100%，出库烂果率=霉且烂果质量/全部果质量×100%，出库霉烂率=霉或烂果质量/全部果质量×100%。保鲜纸处理果实贮藏出库后，烂果上几乎同时发生霉变。

货架贮藏效果：货架好果率=无霉烂与褐变果数/总果数×100%，货架霉烂率=霉且烂果数/总果数×100%，货架质损率=(货架 0 d 全部果质量-货架当天全部果质量)/货架 0 d 全部果质量×100%。每天统计 1 次。

可溶性固形物 (Total soluble solid, TSS) 质量分数，w(TSS)：剥取 10 个果肉并榨汁后用 ATAGO PR-32α 数显折光仪读取 w(TSS)，重复 3 次。

色度指标：参照韩冬梅等^[21]方法测定，出库后，每处理取 15 个果实，使用色差仪在果实赤道部位随机检测 3 个点，获取色度值 *L*^{*}、*a*^{*}、*b*^{*}、*C*^{*}和 *h*[°]。*L*^{*}值代表明暗度，变化于黑 (0) 与白 (100) 之间，*a*^{*}值代表红绿度，变化于红色 (120) 和绿色 (-120) 之间；*b*^{*}值代表黄蓝度，变化于黄色 (120) 和蓝色之间 (-120)；*h*[°]表示色调角 (0°~360°)，*C*^{*}值表示饱和度，即浓淡程度 (0~100)。

SO₂ 含量 (以亚硫酸盐计)：取样参照国家标准 NY 1435—2007^[24]，制样和测定参照国家标准 GB/

T5009.34—2003^[25] 中的盐酸副玫瑰苯胺法 (副品红法)，并对比色反应液配制稍作改动，为避免反应过程中比色液不断褪色并导致测定结果不稳定的问题，不加入氨基磺酸铵。称取 5.0 g 果肉冻粉样品制取澄清样品液，重复制样 3 次。以 2 μg/L 的 SO₂ 标准液制定标准曲线，以 *D*_{550 nm} 与标准液浓度 *C* 得回归方程 *D*_{550 nm}=0.003 5+0.320 4*C*，线性相关系数 *r*=0.999 6，线性范围为 0.041~0.250 μg/mL。

1.5 数据处理

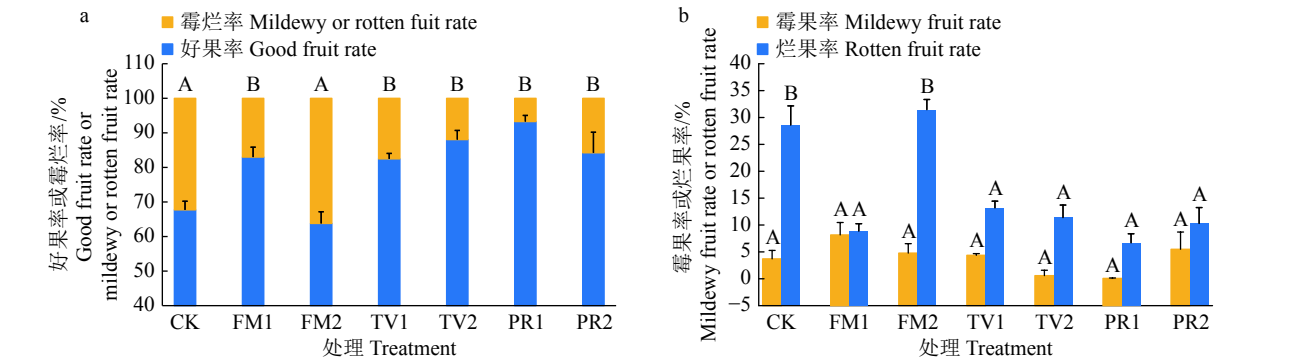
描述统计和作图使用 Excel 软件。Δ*w*(TSS) 表示各处理果实低温出库后 (低温贮藏 50 d 后) 的 *w*(TSS) 与采收时 (低温贮藏 0 d) 的 *w*(TSS) 之间的差异值，Δ 色度值表示各处理果实低温出库后与采收时 CK 的色度差异值。

运用 SPSS19.0 中的 Duncan’s 新复极差测试法进行多重比较，运用因子分析法对货架好果率和货架质损率的二维数据进行降维处理，对由多个变量指标共同评价的出库与货架品质进行综合分析^[26]。处理效果综合评价：以货架 1~5 d 的好果率、质损率和霉烂率为评价变量，获得每个处理的公因子得分和方差贡献率，并以各公因子得分与相应方差贡献率的乘积之和，获得各处理的综合货架好果率、质损率和霉烂率评分。

2 结果与分析

2.1 不同采前处理的石硃龙眼果实低温贮藏效果与品质变化比较

2.1.1 低温贮藏 50 d 后贮藏效果 图 1a 中，低温贮藏 50 d 后，3 种成熟度果实的好果率随成熟度增高而下降，其中适熟果最高 (*P*<0.01)，过熟果最低，但与 CK 差异不显著 (*P*>0.05)。3 种树势中，强



相同颜色柱子上的不同大写字母表示处理间差异达到 0.01 的显著水平 (Duncan’s 法); CK、FM1、FM2、TV1、TV2、PR1 和 PR2 分别表示对照、适熟、过熟、衰弱树、强壮树、病害防治和营养调控处理

Different capital letters on columns of the same color indicate that the difference among treatments reaches 0.01 significance level(Duncan’s method); CK, FM1, FM2, TV1,TV2, PR1 and PR2 represent the following treatments including control, appropriate maturity, over maturity, weak tree, strong tree, disease control and nutrition regulation, respectively

图 1 不同采前处理龙眼果实贮藏 50 d 后果实品质比较

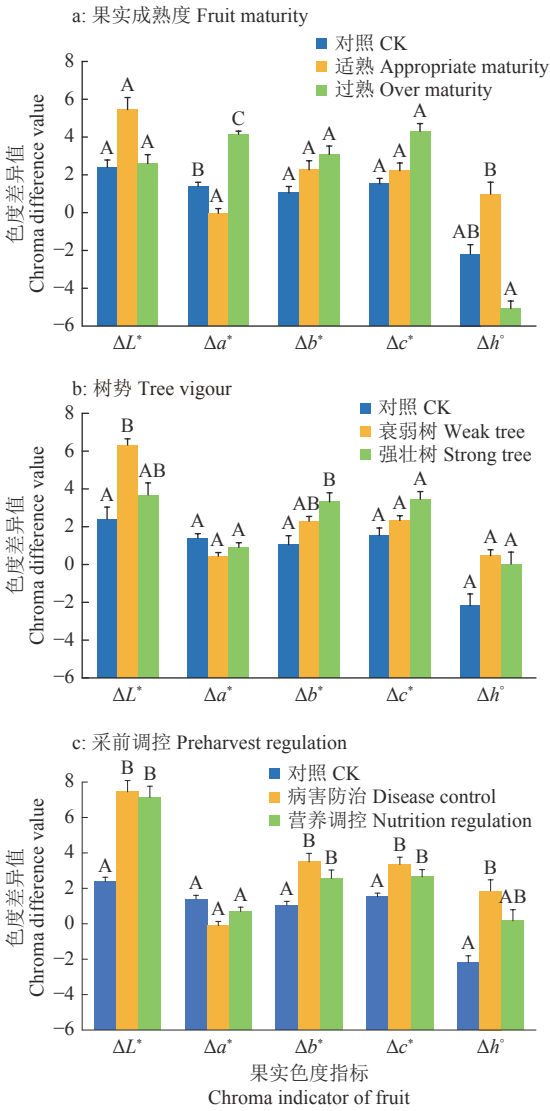
Fig. 1 Comparison of fruit quality after stored for 50 days for *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments

壮树果实好果率最高, 其次是衰弱树, CK 最低 ($P<0.01$)。采前调控处理中, 病害防治与营养调控果实均比 CK 好果率高 ($P<0.01$)。在所有处理中, 采前病害防治果实贮藏效果最好, 其次是强壮树, 再其次是适熟果和采前营养调控, 然后是衰弱树, 以上处理均优于 CK, 只有过熟果比 CK 略差。图 1b 中, 贮藏后, 除了采前病害防治和强壮树果实霉变率低于 CK 外 ($0.01<P<0.05$), 其他处理均高于 CK, 但未达显著水平 ($P>0.05$), 其中适熟果最高, 其次是营养调控, 过熟果和衰弱树果实稍高于 CK, 说明适熟果、过熟果、衰弱树和营养调控果实的抗病能力均比 CK 下降, 尤其适熟果抗病性较差, 与 CK 差异显著 ($0.01<P<0.05$)。过熟果烂果率最高, 其次是 CK, 两者差异不显著 ($P>0.05$), 但与其他处理之间差异极显著 ($P<0.01$); 其他处理中, 病害防治果实烂果率最低, 其次为适熟果和营养调控果实, 再其次为强壮树和衰弱树果实, 但彼此间差异不显著 ($P>0.05$)。

2.1.2 低温贮藏 50 d 后外果皮色度变化 3 个处理组果实在贮藏前后 5 个色度指标与采收时 CK 之间的差异, 除 CK 果实和过熟果的 h° 值下降外, 其他处理色度指标均有所升高 (图 2), 说明后者外果皮颜色均由采收时暗淡的绿褐色转变为明亮的黄绿色, 而 CK 果实和过熟果的果色则以较明亮的土黄色为主。图 2a 中, 与采收时的 CK 相比, 果实出库后 L^* 、 b^* 、 C^* 值均不同程度增高, 呈偏明亮的浓黄色; CK 果实和过熟果的 h° 值均比采收时的 CK 下降, 而适熟果增高, 偏黄绿色。随成熟度增高, L^* 值降低, a^* 值升高, 果表由绿褐色偏向褐色; h° 值下降, 颜色呈偏暗的土黄色。贮藏前后, 3 个成熟度之间 b^* 和 C^* 值差异不显著 ($P>0.05$), L^* 变化差异显著 ($0.01<P<0.05$), a^* 和 h° 变化差异极显著 ($P<0.01$), 说明成熟度差异对贮藏后外果皮褐度和叶绿素含量的变化影响较大。

图 2b 显示, 3 种树势中, 贮藏后除 CK 果实的 h° 值下降外, 其他色度值均比采收时的 CK 高。贮藏后, CK 果实的 L^* 、 b^* 、 C^* 和 h° 值均比强壮树和衰弱树果实低, 而 a^* 值最高。强壮树果实的 L^* 值低于衰弱树 ($0.01<P<0.05$), 但 a^* ($P>0.05$)、 C^* 、 b^* 和 h° 值 ($0.01<P<0.05$) 相近。可见, 强壮树果实比 CK 更偏明亮的深黄绿色, 衰弱树果实呈现为明亮的浅黄绿色; 而 CK 果实颜色较暗, 呈现为土黄色。

图 2c 显示, 采前调控处理果实贮藏后, 除 CK 果实的 h° 值比采收时下降外, 其他色度值均接近或



相同颜色柱子上的不同大写字母表示处理间差异达到 0.01 的显著水平 (Duncan's 法); 采收时 CK 的色度值为: $L^*=52.24$, $a^*=9.36$, $b^*=30.82$, $C^*=32.28$, $h^\circ=73.01$

Different capital letters on columns of the same color indicate that the difference among treatments reaches 0.01 significance level (Duncan's method); Chroma indicator values for CK at harvest were: $L^*=52.24$, $a^*=9.36$, $b^*=30.82$, $C^*=32.28$, $h^\circ=73.01$

图 2 不同采前处理龙眼果实贮藏 50 d 后色度指标与采收时 CK 的差异

Fig. 2 Differences in chroma indicators of *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments after stored for 50 days compared with CK at harvest

高于采收时的 CK。贮藏后的病害防治和营养调控果实 L^* 、 b^* 、 C^* 值均高于 CK ($P<0.01$) 以及采收时的 CK, a^* 值低于 CK ($0.01<P<0.05$), 果色比 CK 更偏明亮的黄绿色。2 种处理中, 病害防治比营养调控更利于保持黄绿色, 护色效果较好。

2.1.3 低温贮藏 50 d 后果肉 TSS 含量变化 图 3a 显示, 3 种成熟度中, 采收时 CK 果实的 TSS 含量最高, 适熟果次之, 过熟果最低, 低温贮藏后过熟果的

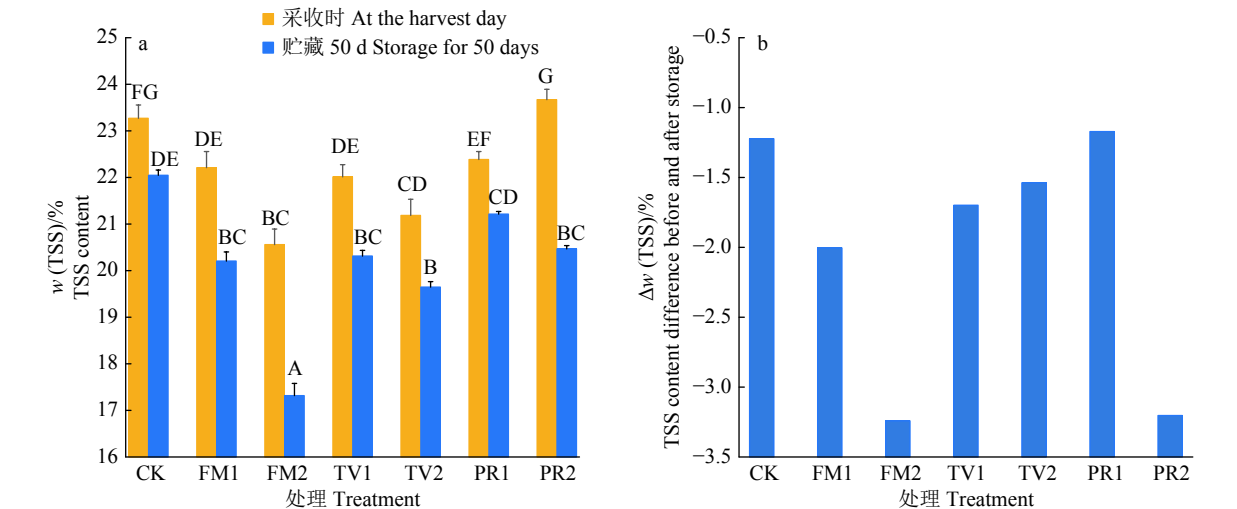


图 a 中, 相同颜色柱子上的不同大写字母表示处理间差异达到 0.01 的显著水平 (Duncan's 法); CK、FM1、FM2、TV1、TV2、PR1 和 PR2 分别表示对照、适熟、过熟、衰弱树、强壮树、病害防治和营养调控处理

In figure a, different capital letters on columns of the same color indicate that the difference among treatments reaches 0.01 significance level(Duncan's method); CK, FM1, FM2, TV1,TV2, PR1 and PR2 represent the following treatments including control, appropriate maturity, over maturity, weak tree, strong tree, disease control and nutrition regulation, respectively

图 3 不同采前处理龙眼果实贮藏前后可溶性固形物 (TSS) 含量及差异

Fig. 3 Comparison of total soluble solids (TSS) contents in *Dimocarpus longan* fruits before and after storage with different preharvest treatments and the differences of TSS contents before and after storage

TSS 含量明显降低 ($P<0.01$)。3 种树势中, CK 果实的 TSS 含量最高, 其次是衰弱树, 而强壮树稍低, 后两者差异较小 ($0.01<P<0.05$)。3 种采前调控处理中, 营养调控果实采收时的 TSS 含量最高, 其次是 CK, 而病害防治稍低于 CK($0.01<P<0.05$)。低温贮藏 50 d 后, 各处理果实 TSS 含量均不同程度地下降 ($P<0.01$), 处理间的水平差异与贮藏前基本一致。图 3b 显示, 贮藏 50 d 后, 3 种成熟度中, 过熟果的 TSS 含量下降最多, 其次是适熟果, CK 最少。3 种树势中, CK 果实的 TSS 含量下降较少, 其次为强壮树, 而衰弱树稍多一些。3 种采前调控处理中, 病害防治和 CK 果实的 TSS 含量下降较少, 幅度相似, 而营养调控果实则下降较多。综上, 所有处理中, CK 与病害防治果实贮藏前后 TSS 含量保持较好, 其次是强壮树、衰弱树和适熟期果实, 营养调控与过熟期果实保持较差。

2.2 不同采前处理的石硖龙眼果实货架表现比较

2.2.1 货架期间的好果率比较 随着货架存放时间延长, 各组处理果实的好果率均呈逐渐下降趋势 (图 4)。图 4a 中, 不同成熟度之间, 货架期间与出库时的好果率差异一致, 适熟果最高, 其次为 CK, 过熟果最低, 后两者水平相近 ($P>0.05$), 但与适熟果差异极显著 ($P<0.01$)。树势比较中, 强壮树果实好果率最高, 其次是衰弱树, CK 最低, 但衰弱树果实在货架存放 5 d 时好果率迅速下降并低于

CK, 彼此间差异极显著 ($P<0.01$)(图 4b)。3 种采前调控处理间差异极显著 ($P<0.01$), 病害防治果实好果率最高, 其次是营养调控, CK 最低, 后两者在货架存放 5 d 时相近 (图 4c)。所有处理中, 病害防治果实好果率在整个货架期间始终保持最高 ($P<0.01$), 其次是强壮树和营养调控果实, 适熟期和衰弱树果实在货架存放 4 d 前相近 ($P>0.05$), CK 果较差, 过熟果最差, 后两者货架好果率相近 ($P>0.05$); 另外, 衰弱树果实在货架存放 5 d 时好果率最低 (图 4d)。

2.2.2 货架期间的霉烂率比较 随着货架期延长, 各处理果实霉烂率呈逐渐升高趋势 (图 5)。不同成熟度中, 过熟果货架霉烂率最低, 其次是适熟果, CK 最高 ($P<0.01$)(图 5a)。不同树势中, 衰弱树和强壮树果实货架霉烂率水平接近 ($P>0.05$), 均极显著低于 CK ($P<0.01$)(图 5b)。采前调控处理中, 3 个处理彼此之间差异极显著 ($P<0.01$), CK 果实最高, 其次营养调控, 病害防治最低 (图 5c), 说明采前病害防治能够有效降低货架霉烂率。所有处理中, 病害防治果实货架霉烂率最低, CK 最高, 两者与其他处理之间的差异极显著 ($P<0.01$); 适熟果的货架霉烂率次高, 但与 CK 差异极显著 ($P<0.01$), 其他处理 (过熟果、衰弱树、强壮树、营养调控) 之间水平相近, 差异不显著 ($P>0.05$) (图 5d)。

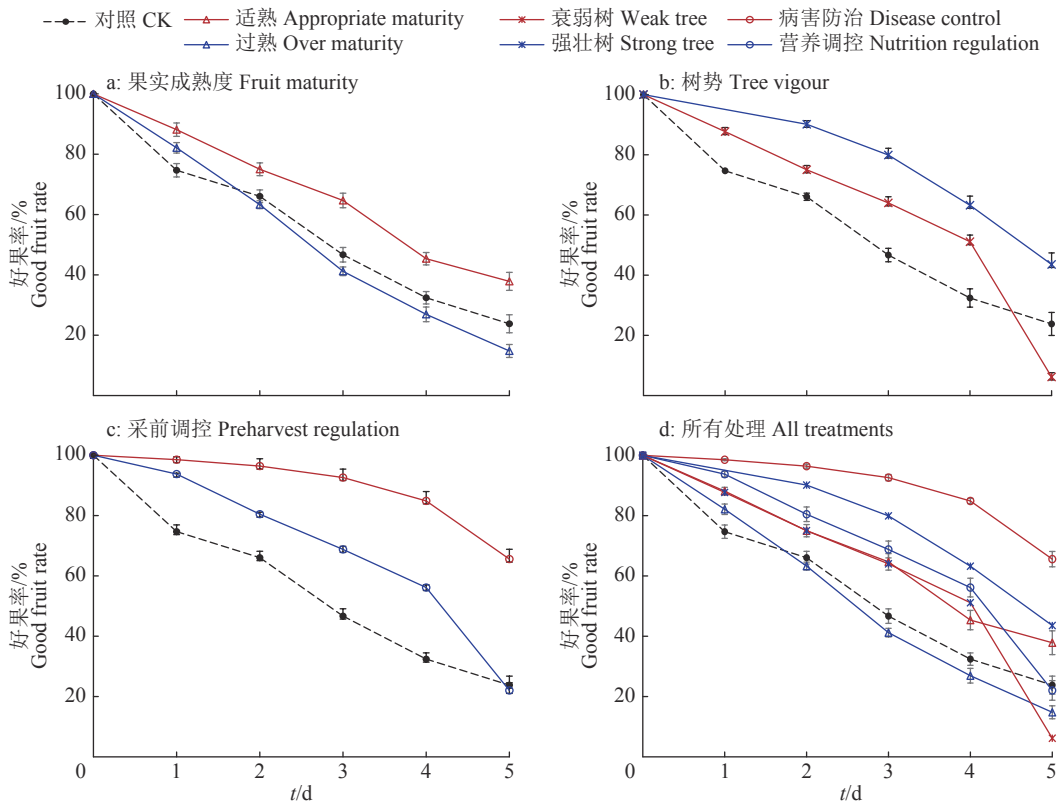


图 4 不同采前处理龙眼果实货架期间的好果率变化比较

Fig. 4 Comparison of changes in good fruit rates during shelf life for *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments

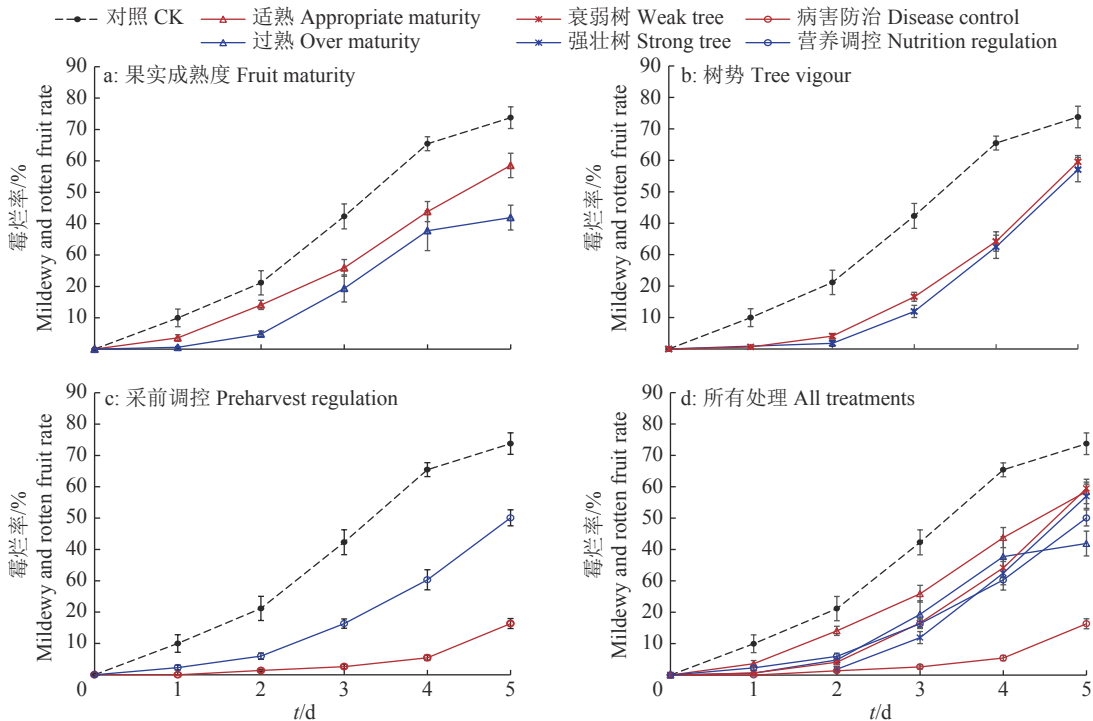


图 5 不同采前处理龙眼果实货架期间的霉烂率变化比较

Fig. 5 Comparison of changes in mildewy and rotten fruit rates during shelf life for *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments

2.2.3 货架期间的质损率比较 3 个处理组的果实在货架期间的质损率均呈线性上升趋势 (图 6)。3 种成熟度中, 过熟果货架质损率最高, 其次是适熟果, CK 货架质损率最低 ($P<0.01$)(图 6a)。3 种树势

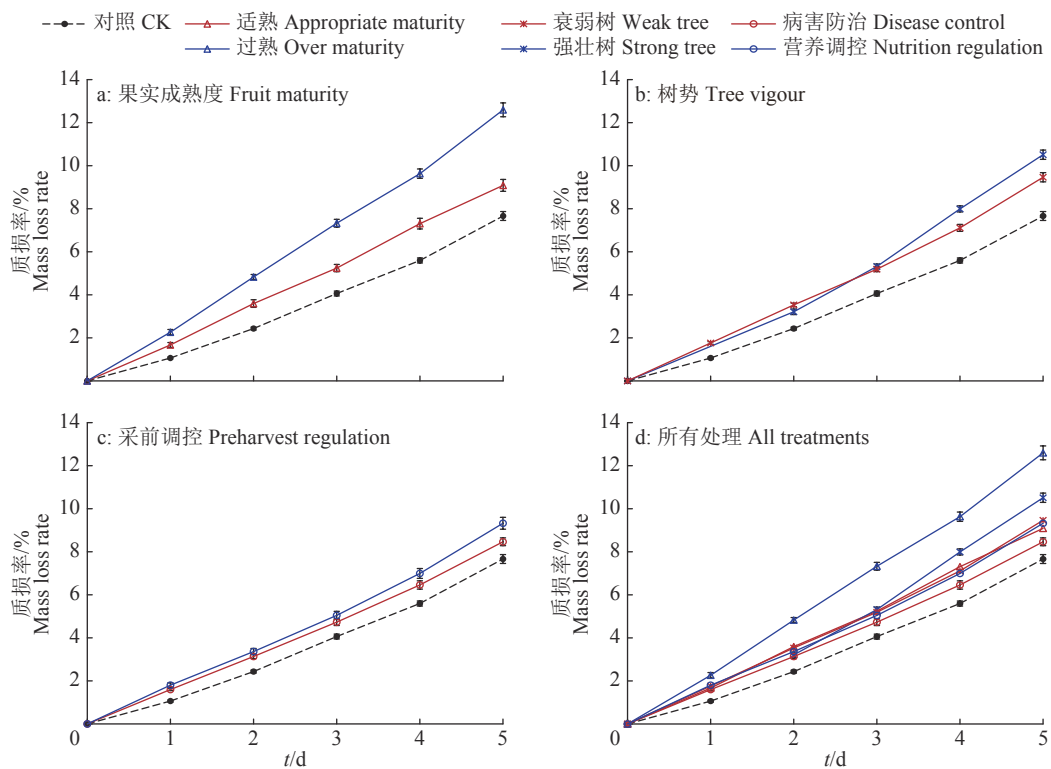
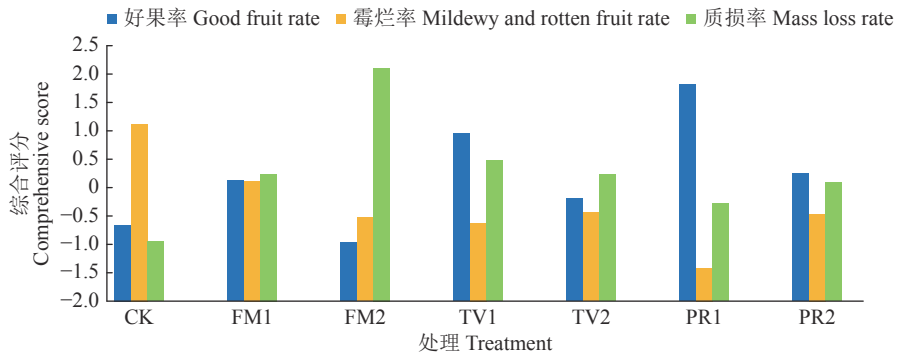


图 6 不同采前处理龙眼果实货架期间的质损率变化比较

Fig. 6 Comparison of changes in mass loss rates during shelf life for *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments

中, CK 果实的货架质损率最低, 强壮树与衰弱树相近, 均显著高于 CK($P<0.01$)(图 6b)。3 种采前调控处理中, 病害防治与营养调控果实的货架质损率相近, 均显著高于 CK($P<0.01$)(图 6c)。所有处理中, CK 果的货架质损率最低 ($P<0.01$), 病害防治果实次低; 过熟果最高 ($P<0.01$), 强壮树果实次高; 其他处理在货架 4 d 前水平相近 ($P>0.01$), 但 4 d 后差异显著 ($P<0.01$), 且与 CK 和过熟果差异极显著 ($P<0.01$)(图 6d)。可见处理不同, 货架期间的质损率高低有着显著差异。

2.2.4 货架表现综合评价 对 3 个处理组共 7 个处理的龙眼果实在货架期间的表现进行了综合评分比较, 由图 7 可以看出, 除了过熟果外, 其他处理果实的货架好果率均高于 CK, 其评分高低顺序为: 病害防治>强壮树>营养调控>适熟果>衰弱树>CK>过熟果; 所有处理果货架霉烂率均低于 CK, 其评分高低顺序为: CK>适熟果>衰弱树、营养调控、过熟果>强壮树>病害防治, 其中病害防治明显低于其他处理; 所有处理果质损率评分均高于 CK, 其高低顺序为: 过熟果>强壮树>适熟果、衰弱树>营养调



CK、FM1、FM2、TV1、TV2、PR1 和 PR2 分别表示对照、适熟、过熟、衰弱树、强壮树、病害防治和营养调控处理

CK, FM1, FM2, TV1, TV2, PR1 and PR2 represent the following treatments including control, appropriate maturity, over maturity, weak tree, strong tree, disease control and nutrition regulation, respectively

图 7 不同采前处理龙眼果实货架期间表现的综合评价

Fig. 7 Comprehensive evaluation of performance during shelf life for *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments

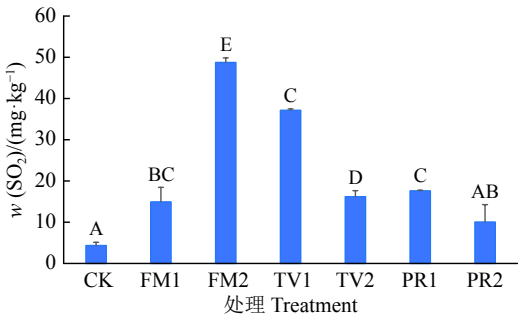
控>病害防治>CK。可见, 在所有处理中, 采前病害防治处理果实货架综合表现最好, 其次是强壮树果实, 过熟果表现最差; CK 好果率仅稍优于过熟果, 因此表现较差; 衰弱树好果率稍优于 CK, 但低于适熟果。至于质损率, 货架表现较差的对照和过熟果分别列于最低和最高水平, 其他处理水平中等。

2.3 不同采前处理的石硃龙眼果实出库时果肉中 SO₂ 残留量比较

图 8 显示, 7 种处理果实低温贮藏 50 d 后出库时, 果肉中的 SO₂ 残硫量 (以亚硫酸根离子计算), 除过熟果和衰弱树果实超标外, 其他处理均在 20 mg/kg 以下, 未超国家标准 (≤30 mg/kg)^[27], 处理之间差异显著 ($P<0.01$)。CK 果实中含有微量 SO₃²⁻, 视为本底值; 其他处理的 SO₂ 残留量均超过 CK。

2.4 石硃龙眼果实出库及货架表现与内外品质之间的相关性

表 2 的相关性分析结果显示, 出库好果率较高的处理, 出库烂果率较低, 果表偏亮绿色 (ΔL^* 和



柱子上的不同大写字母表示处理间差异达到 0.01 的显著水平 (Duncan’s 法); CK、FM1、FM2、TV1、TV2、PR1 和 PR2 分别表示对照、适熟、过熟、衰弱树、强壮树、病害防治和营养调控处理

Different capital letters on columns indicate that the difference among treatments reaches 0.01 significance level(Duncan’s method); CK, FM1, FM2, TV1,TV2, PR1 and PR2 represent the following treatments including control, appropriate maturity, over maturity, weak tree, strong tree, disease control and nutrition regulation, respectively

图 8 不同采前处理龙眼果实贮藏 50 d 后果肉 SO₂ 含量比较

Fig. 8 Comparison of SO₂ contents in *Dimocarpus longan* fruits with different preharvest treatments after stored for 50 days

表 2 龙眼果实出库及货架表现与品质指标之间的相关性¹⁾

Table 2 Correlations between the performance of *Dimocarpus longan* fruit after storage and during shelf life and quality indexes

项目 Item	w采收 (TSS)	Δw (TSS)	出库好果率	出库烂果率	ΔL [*]	Δa [*]	Δb [*]	ΔC [*]	Δh ^o	货架好果率	货架霉烂率	货架质损率	w果肉 (SO ₂)
w采收(TSS)	1.000												
TSS content at harvest													
Δw(TSS)	0.810*	1.000											
出库好果率	0.195	0.364	1.000										
Good fruit rate after storage													
出库烂果率	-0.259	-0.340	-0.966**	1.000									
Rotten fruit rate after storage													
ΔL [*]	0.424	0.323	0.785*	-0.837*	1.000								
Δa [*]	-0.548	-0.740	-0.825*	0.861*	-0.706	1.000							
Δb [*]	-0.557	-0.513	0.506	-0.478	0.331	0.053	1.000						
ΔC [*]	-0.746	-0.797*	0.004	0.097	-0.087	0.548	0.863*	1.000					
Δh ^o	0.418	0.597	0.928**	-0.949**	0.800*	-0.972**	0.178	-0.343	1.000				
货架好果率	0.109	0.352	0.917**	-0.808*	0.624	-0.672	0.608	0.177	0.784*	1.000			
Good fruit rate during shelf life													
货架霉烂率	0.355	0.328	-0.619	0.529	-0.588	0.120	-0.935**	-0.719	-0.345	-0.670	1.000		
Mildewy and rotten fruit rate during shelf life													
货架质损率	-0.801*	-0.997**	-0.356	0.331	-0.280	0.735	0.528	0.807*	-0.586	-0.342	-0.361	1.000	
Mass loss rate during shelf life													
w果肉(SO ₂)	-0.757*	-0.798*	-0.366	0.370	-0.165	0.629	0.369	0.621	-0.506	-0.387	-0.358	0.825*	1.000
SO ₂ content in flesh													

1) “*” 和 “**” 分别表示在0.05和0.01水平显著相关
1) “*” and “**” represent significant correlation at level 0.01 and 0.05 levels respectively

Δh° 较高, Δa^* 较低); 而货架好果率又与出库好果率呈极显著正相关 ($P<0.01$)。货架霉变率较低的处理, 出库时果表偏黄色 (Δb^* 较高)($P<0.01$)。货架质损率较高的处理, 采收时及出库后的果肉 TSS 含量较低, 出库时果色饱和度 (ΔC^*) 及果肉中 SO_2 含量偏高。另外, 采收时 TSS 含量较高的处理, 贮藏后出库时 $\Delta w(TSS)$ 也较高, 说明 TSS 含量降低较少 ($P<0.05$); 出库时 $\Delta w(TSS)$ 越高, 果肉中 SO_2 含量越低 ($P<0.05$)。可见, 出库与货架好果率的高低主要与果肉的衰老流汁和果皮的护色程度有关, 出库时果实外观色泽偏明亮黄绿色的处理, 出库与货架好果率较高, 霉烂率和质损率较低。

3 讨论

3.1 不同采前处理对龙眼果实贮运品质的影响

果品采后的贮藏性能不仅决定于采后的保鲜技术, 还决定于采前的贮运品质, 后者是前者发挥作用的前提。影响果实贮运品质的采前因素主要包括品种、成熟度、病虫害防治、水肥管理^[28-29]、结果部位^[30]、气候^[31]、土壤^[32]等, 客观与人为因素兼具。广东省最耐贮藏的 2 个龙眼主栽品种为‘石硖’和‘储良’^[21], 因此本研究选择‘石硖’作为研究对象。不同成熟度、树势、采前病害防治与营养调控等处理对‘石硖’龙眼果实的采后贮藏性产生了明显的效果。

3 种成熟度中, 适熟果具有最好的贮藏性, 其次是完全成熟的 CK 果实, 过熟果最差, 此结果与韩冬梅等^[33]前期的研究结果一致。过熟果的出库与货架烂果率最高, 可能与其果肉细胞壁纤维化、细胞器降解导致溃烂流汁^[11]有关。3 种树势中, 强壮树果实表现出最好的贮藏性, 其次是中老年衰弱树果, 而中庸树对照果最差, 此与牛佳佳^[19]研究认为中庸树果实贮藏性较好的结果不太一致, 这可能与结果树挂果率高低、树冠郁闭程度有关。衰弱树枝叶稀疏, 通风透光较好, 经强力疏果后果实正常发育, 采前潜伏病害较少。因此, 树势对果实品质的影响, 还要结合植株树冠形态、通风透光条件、单株挂果率、单穗留果量等因素综合分析。3 种调控措施中, 采前病害防治处理的果实表现出了最优的贮藏性能, 其次是营养调控。其中营养调控果实的研究结果与 Luo 等^[18]研究一致, 果实发育期间适当补充 $ZnSO_4$ 、 $MgSO_4$ 、 KH_2PO_4 可以显著提高果实的抗病性与抗衰老能力, 提高贮藏与货架期间的好果率。

3.2 TSS 含量与龙眼果实贮藏品质的关系

TSS 中成分复杂, 可溶性糖是龙眼果肉中 TSS 的主要成分^[20], 韩冬梅等^[34]研究了 19 个龙眼品种

成熟果实的 TSS 含量与贮藏性的关系, 认为 TSS 含量高的品种, 贮藏期间质损率较高, 好果率也较高, TSS 含量对果实的贮藏性有一定的影响, 但不是主要因素。本研究中, 采收时 TSS 含量较低的适熟果、强壮树和采前病害防治果实均取得了良好的贮藏效果, 而 TSS 含量较高的 CK 和营养调控果实贮藏效果不佳, 且 CK 最差, 说明在同一品种内, 不同采前处理果实的 TSS 含量不是影响其贮藏及货架好果率的主要因素, 而衰老引起果肉组织崩溃及病害引起的霉烂与其密切相关。本试验中 TSS 含量主要影响了果肉 SO_2 残留量及货架质损率, 采收与贮藏后 TSS 含量较低的处理, 果肉 SO_2 含量和货架质损率均较高, 说明这类果实 (如过熟果、衰弱树果实) 可能存在细胞保护结构受损的情况, 导致呼吸作用加强与失水率增高, 果肉自身降解 SO_3^{2-} 的能力下降。总之, 在其他调控措施并举的影响下, TSS 含量可以作为龙眼成熟果实的营养品质指标, 但不宜作为贮运品质指标。

3.3 龙眼果实贮藏品质采前关键调控措施的筛选与确定

尽管前人在成熟度、树势、病害防治、营养调控等方面分别对龙眼果实的贮藏性进行了比较研究, 取得了一些有价值的结果, 但是在生产管理中, 哪些因素是最重要的, 哪些因素是次要的, 都缺乏明确的结论。通过对 3 组单因素试验、7 个试验处理的结果进行比较, 本研究发现采前病害防治处理果实贮藏与货架表现最好, 其次是强壮树果实, 再次是营养调控、适熟期和衰弱树果实, CK 较差, 过熟果最差。由此可见, 一直以来被生产管理所忽视的采前病害防治, 对龙眼果实采后贮藏性影响最大, 而采后贮藏期间的霉烂率主要决定于采收时果实携带的病原菌数量。至于贮藏性最差的过熟果, 抗衰老能力大幅下降, 主要与其生理衰败、能量代谢不足^[35-36]有关。由此可见, 在果实正常发育的基础上, 影响龙眼采后贮运品质的关键采前因素是病害防治, 其次是树势和营养调控; 而在果期管理措施到位的基础上, 采收成熟度是影响果实贮运品质的主要因素, 合理选择采收成熟度是收获优质果实的必要条件, 尤其需要避免采收过熟果实。

4 结论

采前病害防治对果实采后保鲜效果影响最为显著; 树势强壮、合理挂果有利于提高果实贮运品质; 适熟果实的贮藏性优于完熟果和过熟果; 采前合适的营养调控有利于提高采后贮藏性; 另外, 衰弱树果实配置合适的挂果量也能收获较好的贮运

品质。建议在生产操作中综合运用以上采前优化与调控措施,提高果实贮运品质。另外,TSS含量不宜作为同一品种内不同质量来源果实的贮运品质指标。

参考文献:

[1] SIDDQUI M W. Principles and practices for quality maintenance, postharvest biology and technology of horticultural crops[M]. New Jersey: Apple Academic Press, 2015: 89-95.

[2] REICHEL M, CARLE R, SRUAMSIRI P, et al. Influence of harvest maturity on quality and shelf-life of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn.)[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 57(3): 162-175.

[3] SALVADOR A, ARNAL L, BESADA C, et al. Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. ‘Rojo Brillante’ [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 46(2): 181-188.

[4] JU Z G, DUAN Y S, JU Z Q, et al. Different responses of ‘Snow Giant’ and ‘Elegant Lady’ peaches to fruit maturity and storage temperature[J]. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2000, 75(1): 86-91.

[5] 高豪杰, 贾志伟, 李雯, 等. 采收成熟度与果实贮藏保鲜关系的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(5): 2897-2898.

[6] DONG T, XIA R X, XIAO Z Y, et al. Effect of pre-harvest application of calcium and boron on dietary fibre, hydrolases and ultrastructure in ‘Cara Cara’ navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 121(3): 272-277.

[7] SIDDQUI M W. Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality[M]. Amsterdam: Elsevier, 2018: 169-182.

[8] ROKAYA P R, BARAL D R, GAUTAM D M, et al. Effect of pre-harvest application of gibberellic acid on fruit quality and shelf life of mandarin (*Citrus reticulata* blanco)[J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2016(7): 1033-1039.

[9] 韩冬梅, 杨武, 牛佳佳, 等. 龙眼果实低温贮藏性能常规指标评价体系的构建[J]. *热带作物学报*, 2015, 36(9): 1685-1693.

[10] 韩冬梅, 李建光, 李荣, 等. 不同龙眼品种果实的耐贮性比较[J]. *华南农业大学学报*, 2010, 31(4): 6-11.

[11] 韩冬梅, 曾婷, 李建光, 等. 龙眼果实挂树成熟与退糖期间的解剖学结构比较[J]. *广东农业科学*, 2018, 45(4): 43-50.

[12] 张居念, 林河通, 谢联辉, 等. 龙眼果实潜伏性病原真菌的初步研究[J]. *热带作物学报*, 2006, 27(4): 78-82.

[13] 陈艺晖, 林河通, 林艺芬, 等. 拟茎点霉侵染对龙眼果实采后果皮褐变和活性氧代谢的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(23): 4858-4866.

[14] 刘爱媛, 陈维信, 程海慧. 龙眼采后炭疽病及对贮藏效果的影响[J]. *果树学报*, 2006, 23(1): 77-80.

[15] 叶素莲, 陈金洪. 钙硫锌硼肥对龙眼产量及品质的影响[J]. *广西农业科学*, 2009, 40(6): 696-699.

[16] 韦剑锋, 梁和, 韦冬萍, 等. 钙硼营养对龙眼果实品质及耐贮性的影响[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(9): 311-314.

[17] 韦剑锋, 韦冬萍, 何燕文, 等. 喷施钙硼对龙眼叶片和果

实矿物质营养状况的影响[J]. *西南农业学报*, 2007, 20(1): 77-80.

[18] LUO T, NIU J J, GUO X M, et al. Preharvest zinc sulfate spray improves the storability of longan (*Dimocarpus longan* Lour.)fruits by protecting the cell wall components and antioxidants of pericarp[J]. *Journal Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(3): 1098-1107.

[19] 牛佳佳. 采前矿物质营养调控龙眼果实贮藏品质及其分子基础研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2014.

[20] 韩冬梅, 吴振先, 杨武, 等. 龙眼果实品质评价理化指标体系的构建[J]. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(3): 503-511.

[21] 韩冬梅, 杨武, 吴振先, 等. 龙眼果实贮藏品质理化指标评估体系的构建[J]. *华南农业大学学报*, 2015, 36(6): 39-46.

[22] SHUAI L, LI J, NIU J J, et al. Sucrose-metabolizing enzymes and their genes in the arils of two *Dimocarpus longan* cultivars[J]. *Biologia Plantarum*, 2016, 60(4): 741-748.

[23] 吴振先, 韩冬梅. 一种龙眼保鲜纸的应用: ZL 201610227848.7[P]. 2018-03-16.

[24] 中华人民共和国农业部. 水果、蔬菜及其制品中二氧化硫总量的测定: NY/T 1435—2007[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.

[25] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 食品中亚硫酸盐的测定: GB/T 5009.34—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[26] 邓维斌, 唐兴艳, 胡大权, 等. SPSS19.0 统计分析实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 139-141.

[27] 中华人民共和国农业部. 热带水果中二氧化硫残留限量: NY 1440—2007[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.

[28] WOOLF A B, BOWEN J H, FERGUSON I B. Preharvest exposure to the sun influences postharvest responses of ‘Hass’ avocado fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 15(2): 143-153.

[29] 刘兆东. 果树采前管理对果品质量的影响及优化措施分析[J]. *中国果菜*, 2017, 37(3): 28-30.

[30] 丁云龙, 张斌斌, 陈星星, 等. 桃树冠不同部位果实低温贮藏期间的品质变化[J]. *果树学报*, 2019, 36(12): 1731-1743.

[31] KALAJ Y R, GEYER M, HERPPICH W B, et al. Interaction of maximum daily trunk shrinkage and fruit quality in European plum[J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2018, 60(2): 105-112.

[32] 吴大军, 陈妙金, 孙奇男, 等. 采前避雨栽培影响桃果实采后贮藏品质[J]. *果树学报*, 2016, 33(1): 96-105.

[33] 韩冬梅, 吴振先, 李建光, 等. 龙眼果实采收成熟度与耐贮性关系研究[J]. *华南农业大学学报*, 2008, 29(4): 12-16.

[34] 韩冬梅, 李建光, 潘学文, 等. 龙眼果实的主要经济性状与耐贮性关系研究[J]. *中国南方果树*, 2009, 38(6): 12-15.

[35] CHEN M Y, LIN H T, ZHANG S H, et al. Effects of adenosine triphosphate (ATP) treatment on postharvest physiology, quality and storage behavior of longan fruit[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(5): 971-982.

[36] WANG H, QIAN Z J, MA S M, et al. Energy status of ripening and postharvest senescent fruit of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)[J]. *BMC Plant Biology*, 2013, 13: 55.