

不同包装结合低温贮藏 对‘保研-7号’红毛丹品质的影响

林玉钦^{1,2}, 邓浩¹, 刘建卓², 王世萍¹, 张容鹤^{1,*}, 冯建成^{3,*}

(1.海南省农业科学院农产品加工设计研究所,海南省热带果蔬冷链研究重点实验室,海南海口 571100;

2.海南大学化学工程与技术学院,海南海口 570228;

3.海南大学理学院,海南海口 570228)

摘要:比较三种包装对红毛丹(*Nephelium lappaceum* L.)果实在低温贮藏下品质的影响,获得实用的绿色保鲜技术。以海南红毛丹‘保研-7号’为材料,在(6±1)℃下,以不包装作为对照CK,研究聚乙烯袋(PE)、硅窗袋(SW)、复命袋(FM)3种包装及CK对红毛丹果实贮藏品质的影响。结果显示贮藏16d,PE、SW、FM包装及CK果实褐变指数分别为0.67、0.62、0.64和0.92,好果率分别为45.56%、53.33%、65.56%和5.56%;PE、SW、FM包装的果肉可溶性固形物分别为17.60%、18.47%、19.80%均高于CK 16.70%,可滴定酸分别为0.47%、0.56%、0.60%也高于CK 0.40%,可溶性蛋白分别为29.29、29.53、31.92 mg·100 g⁻¹高于CK 27.75 mg·100 g⁻¹;PE、SW、FM包装的红毛丹果皮相对电导率和丙二醛增长速率小于CK,FM包装的果皮相对电导率40.88%和丙二醛10.21 mmol·g⁻¹·FW为最低;贮藏后期红毛丹果皮总酚含量均减少,PE、SW、FM包装的红毛丹总酚7.82、8.81、9.87 OD₂₈₀·g⁻¹均高于CK 6.22 OD₂₈₀·g⁻¹;果皮花青素在贮藏期间也不断下降,FM包装红毛丹果皮花青素下降速率最慢,贮藏后花青素含量0.75 U·g⁻¹为最高;贮藏第16d,PE、SW、FM包装的红毛丹多酚氧化酶活性(354、313、290 U·g⁻¹)均小于CK(367 U·g⁻¹),过氧化物酶活性(13.22、13.78、12.19 U·g⁻¹)同样也小于CK(21.19 U·g⁻¹)。与CK相比,3种包装均能有效抑制红毛丹品质劣变并保持其新鲜品质,FM包装红毛丹果肉和果皮在低温贮藏中11个指标变化均最小,保持新鲜品质最好,是3种包装中保持品质最佳的包装,可为红毛丹采收后包装技术的应用提供技术支持。

关键词:包装材料,红毛丹,贮藏保鲜,褐变,促氧化酶

Effects of Different Packaging Materials Combined with Low Temperature Storage on Quality of ‘Baoyan-7’ Rambutan

LIN Yu-qin^{1,2}, DENG Hao¹, LIU Jian-zhuo², WANG Shi-ping¹, ZHANG Rong-hu^{1,*}, FENG Jian-cheng^{3,*}

(1. Institute of Processing & Design of Agriproducts, Hainan Academy of Agricultural Science, Hainan Tropical Fruit and Vegetable Cold-chain Key Laboratory, Haikou 571100, China;

2. School of Chemical Engineering and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China;

3. School of Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Three kinds of packaging combined with low temperature storage on quality of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) were compared in order to obtain the suitable green technology. Packed with polyethylene (PE) film, silicon window (SW) film, fuming (FM) film and no packing film as CK at (6±1) °C, the fresh-keeping effect of ‘baoyan-7’ rambutan were evaluated. The results showed as flows: The browning indexes of PE, SW, FM and CK were 0.67, 0.62, 0.64 and 0.92, respectively, and the intact fruit rate was 45.56%, 53.33%, 65.56% and 5.56%, respectively. The soluble solids of pulp packaged with PE, SW and FM were 17.60%, 18.47% and 19.80%, which was 16.70% higher than CK, titratable acids were also 0.47%, 0.56% and 0.60% higher than CK 0.40%. The soluble proteins were 29.29, 29.53 and 31.92 mg·100 g⁻¹, 27.75 mg·100 g⁻¹ higher than CK. The relative electric conductivity and MDA growth rate of PE, SW and FM were lower than that of CK. Meanwhile, the relative electrical conductivity of FM packaged pericarp was 40.88% and that of MDA 10.21 mmol·g⁻¹·FW was the lowest. In the later stage of storage, the total phenolic content of rambutan peel decreased, and the total phenols were 7.82, 8.81 and 9.87 OD₂₈₀·g⁻¹ packaged by PE, SW and FM, which was 6.22 OD₂₈₀·g⁻¹ higher than that of CK. Anthocyanin in pericarp also decreased continuously during storage. The decline rate of anthocyanin in rambutan pericarp in FM package was the slowest, and the highest was 0.75 U·g⁻¹ after storage. At the 16 d of storage, the activity of the polyphenol oxidase (354, 313, 290 U·g⁻¹) in

收稿日期:2019-12-17

作者简介:林玉钦(1994-),女,硕士研究生,研究方向:生物化工,E-mail:1065117368@qq.com。

*通讯作者:张容鹤(1970-),女,硕士,研究员,研究方向:农产品贮藏与加工,E-mail:zrh0912@126.com。

冯建成(1973-),男,硕士,教授,研究方向:生物化工,E-mail:fzc197228@126.com。

基金项目:海南省重点研发项目(ZDYF2018052)。

PE, SW and FM packaging was less than CK ($367 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$), and the activity of peroxidase ($13.22, 13.78, 12.19 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$) was also lower than CK ($21.19 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$). Compared with CK, the three kinds of packaging can effectively inhibit the deterioration of the quality of rambutan and maintain its fresh quality. 11 indexes from the pulp and pericarp of rambutan packed with FM have the smallest change during low temperature storage and the fresh quality is the best among the three kinds of packaging, which can provide technical support for the application of postharvest packaging technology of rambutan.

Key words: packaging materials; rambutan; preservation; browning; oxidase

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)14-0186-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.030

引文格式: 林玉钦, 邓浩, 刘建卓, 等. 不同包装结合低温贮藏对‘保研-7号’红毛丹品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 186-191, 215.

‘保研-7号’红毛丹是中国红毛丹果的品种之一, 其年产量较高, 每年可结两次果, 果大果甜果圆具有较高的稳产性、耐寒性、耐旱性等特点^[1]。红毛丹在高温高湿季节成熟, 采后快速褐变, 货架期短是影响红毛丹运输和销售的主要原因。以往的研究认为果实采后褐变的发生与衰老、失水、冷害, 病原菌侵染等因素有关^[2]。大多数红毛丹果皮褐变仍以表皮失水干燥为主。果实表皮失水干燥从柔刺状突起(果毛)颜色开始逐渐变黑, 并向其基底部发展, 然后向果皮延伸^[3]。柔刺状突起(果毛)与果皮高度发达的微管组织相连, 此外, 果毛气孔密度远大于果皮, 其特殊的果皮结构决定果毛与环境有更大的接触面, 蒸腾速度更快, 同时果毛及果皮水势的下降也是水分快速流失的主要因素^[4-6]。高湿度(相对湿度90%~95%)贮藏可能延缓果实的干燥^[7-8]。仅依靠高湿度贮藏是无法控制红毛丹失水褐变的, 包装材料与冷藏相结合能降低果实呼吸速率、改善水分保持和抑制生理恶化来延长农产品的贮藏寿命已被广泛推广^[9-10]。Varit等^[11]报道无孔低密度聚乙烯包装能延缓红毛丹褐变指数和失水率增大, 降低果实呼吸速率和乙烯产量, 保鲜时间延长至16 d。然而, 包装材料的透性不足会引起无氧呼吸, 导致乙醇、乙醛和异味的形成^[12]。为防止果实采后因包装膜的低渗透性导致无氧呼吸, 一些研究在聚乙烯薄膜基础上嵌加一定面积的具有高度渗透性的有机硅膜即硅窗膜(SW), 薄膜与周围大气之间通过硅胶薄膜窗口进行气体交换, 诱导出包装最佳气氛, 防止无氧呼吸并能保持相对低的呼吸率和乙烯浓度, 减少抗坏血酸的损失, 有效抑制叶绿素降解^[13]。SW已广泛运用于一些农场品保鲜, 如绿芦笋^[13]、茶树菇^[14]、双孢蘑菇^[12, 15]等。复命袋(FM)是一种新型的物理保鲜材料, 其设计理论原理是基于不同种类果蔬的活性数据(呼吸速率、呼吸熵和/或酶活性)和各保鲜因素(温度、湿度、氧气浓度、氮气浓度、二氧化碳浓度和/或乙烯浓度)之间建立保鲜因子方程如下:

$$F = f(T, O_2, N_2, CO_2, H_2O, CH_2, \dots) \\ = (\sum_{i=1}^n \beta_i x_i^1 + \beta_{OT}) (\sum_{i=1}^n \beta_i x_i^2 + \beta_{O_2}) (\sum_{i=1}^n \beta_i x_i^3 + \beta_{O_N})$$

这种物理果蔬保鲜材料是根据保鲜因子方程, 获得的最优保鲜因素和保鲜参数制得, 该材料是采用热力学透析理论, 基于如下热力学方程: $F2 = f(T, P1, P2, P3 \dots H_2O)$; $F3 = f(M1, M2, M3, M4, \dots)$ 制备的具有自发气调性, 能较好维持抗白菜、草莓品质^[16]。

红毛丹果皮的特殊结构加快果实蒸腾速度, 如何减少红毛丹果水分流失, 延缓果皮褐变是维持果实外观品质亟待解决的问题。PE是常用的果蔬保鲜包装材料, 但果实贮藏后期可能因持续低 O_2 高 CO_2 环境导致无氧呼吸, SW的有机硅膜的高渗透性可避免果实发生无氧呼吸, FM是上海复命新材料科技有限公司研发的一种新型自发气调保鲜材料, 在新鲜红毛丹包装中具有很大的应用潜力。根据本实验室研究成果, 最佳贮藏温度为 $5 \sim 8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。为避免 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下的冷害干扰, 在 $(6 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ 下用PE、SW和FM包装, 通过对红毛丹品质、生理及酶活性的评价, 以确定最佳包装材料, 为红毛丹的采后冷链及贮藏保鲜技术的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘保研-7号’红毛丹 采自海南省保亭红毛丹生产基地, 采摘后放入筐中, 5 h内送到海口预冷, 挑选浅红色果皮和绿色的果毛, 大小、形状均匀、无机械损伤、无昆虫或病原感染的果实进行研究; 牛血清蛋白、马斯亮蓝 G250、盐酸、甲醇 国产分析纯试剂; 多酚氧化酶试剂盒 苏州科铭检测试剂盒; 过氧化物酶试剂盒 南京建成检测试剂盒; 托盘($180 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$)、普通低密度聚乙烯薄膜($400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, 0.05 mm) 购买自当地超市; 硅窗薄膜($400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, 0.015 mm)、硅窗($50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) 济南果品研究所; 复命保鲜薄膜($400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, 0.09 mm) 上海复命新材料科技有限公司。

PAL-1 手持糖度计 日本爱拓公司; NS800 分光测色仪 深圳三恩驰科技有限公司; COM-100 电导率仪 韩国 HM 品牌; i3 型紫外可见分光光度计 济南海能仪器股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 红毛丹包装试验设计 随机挑选红毛丹果, 分为4组: a. CK组: 将红毛丹直接放置在4个托盘上, 每个托盘有1.5 kg红毛丹果; b. 用PE薄膜包装, 分装4袋, 每袋1.5 kg; c. 采用SW薄膜包装, 分装4袋, 每袋1.5 kg; d. 用FM薄膜包装, 分装4袋, 每袋1.5 kg。包装后所有的水果都储存在 $(6 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ 和在第0、4、8、12、16 d 每组取一袋红毛丹果, 此外, 每个处理和取样日期保持一致, 对红毛丹果实品质评估(果皮褐变指数, 果肉可溶性固形物, 可滴定酸, 可溶性蛋白质), 生理参数(相对电导率, 丙二醛, 可溶性总酚, 花青素)及相关

酶(PPO, POD)活性进行评价,重复三次。

1.2.2 果皮褐变指数和好果率测定 按照 Shao 等^[17]方法根据红毛丹果皮褐变面积进行分级;依据果皮褐变面积进行分级评价,使用以下等级:褐变阶段 0 级:无褐变;1 级: $\leq 1/4$ 面积褐变;2 级: $1/4 \sim 1/2$ 面积褐变;3 级: $1/2 \sim 3/4$ 面积褐变;4 级: $3/4 \sim$ 完全褐变,按照公式计算:

褐变指数 = (\sum 褐变级数 \times 相应级数果实个数) / (4 \times 果实总数)

好果率 (%) = (0 级果实个数 + 1 级果实个数 + 2 级果实个数) / 果实总数 \times 100

1.2.3 果肉品质评估可溶性固形物、可滴定酸、可溶性蛋白质测定 参照 Hafiz 等^[18]有所修改。从每组中随机选取 5 个红毛丹果,称取 3 g 红毛丹果肉,用匀浆机磨成匀浆后纱布过滤取汁液,用手持糖度计测量可溶性固形物;按照仪器操作要求,稀释 50 倍后测定可滴定酸。可溶性蛋白质测定:参照曹建康等^[19]的考马斯亮蓝法测定。

1.2.4 果皮生理参数评估 相对电导率测定:按照 Shao 等^[17]方法用便携式电导率仪测定。丙二醛(MDA)测定:采用硫代巴比妥酸反应法^[17,20],用紫外-可见分光光度计在最大吸收波长 532 nm 测定其吸光度并可计算出丙二醛的含量。

可溶性总酚、花青素测定:按照 Nurhuda 等^[21]方法,并稍作修改。将 10 g 红毛丹果皮加入 100 mL 1% HCl-CH₃OH 溶液,在 4 °C 的摇床中避光振荡提取 20 min。提取完毕后再避光过滤,收集红毛丹皮提取液。以 1% HCl-CH₃OH 溶液作空白参比调零,用紫外-可见分光光度计在最大吸收波长 280 nm 吸光度值表示总酚含量 $OD_{280} \cdot g^{-1}$;在波长 530 nm 处和波长 600 nm 处波长吸光度值之差表示花青素含量(U),即 $U = OD_{530} - OD_{600}$ 。此方法仅作为比较样品间总酚、花青素的相对含量。

1.2.5 酶活性测定 将每组不同包装的果皮剪成小块,放入液氮中,再放入 -50 °C 的低温冰箱中保存,测定单位鲜重中多酚氧化酶、过氧化物酶。测定多酚氧化酶用多酚氧化酶试剂盒;过氧化物酶活性用过氧化物酶试剂盒。

1.3 数据处理

每组测试都设置三次平行,取平均值。采用 Excel 软件处理数据,Origin 9.0 软件绘图,SPSS 19.0 软件进行邓肯氏多重比较法 ($P < 0.05$) 差异显著性分析,符号 * 表示每个时间点的独立样本邓肯氏多重范围检验的显著性差异 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同包装下红毛丹果皮褐变指数及好果率的变化

红毛丹采后贮藏过程中果皮褐变逐渐加剧,是果实衰老的特征标志之一,果皮褐变同荔枝、龙眼一样,是果实产业采后最严重的问题^[22]。如图 1A 所示,红毛丹果皮褐变指数随着时间的延长而增大。相同的低温条件下,贮藏第 16 d,FM/SW 及 PE 包装的果实褐变指数显著低于 CK ($P < 0.05$),这表明 3

种包装均能显著延缓果皮褐变上升,原因可能是薄膜充当了环境和水果之间的屏障,氧含量的降低减缓了红毛丹的衰老^[18]。图 1A 显示,在整个贮藏期间 FM 包装的红毛丹果皮褐变指数最小,这表明同 SW 及 PE 包装比较,FM 包装更能明显抑制红毛丹果皮的褐变,原因可能是 FM 的自发气调性调节了薄膜内 O₂ 和 CO₂ 含量,适宜的氛围更能降低红毛丹呼吸代谢,减少褐变发生。

红毛丹的好果率是指具有商品价值的果个数占总果实数的比值。图 1B 中,红毛丹好果率在整个贮藏期间受贮藏温度及呼吸代谢影响持续下降。贮藏第 16 d,FM 薄膜包装的红毛丹好果率(67.78%)显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 好果率(5.56%),此外 SW 薄膜的红毛丹好果率也高达 53.33%,PE 薄膜包装的红毛丹好果率 45.56% 同样高于 CK,FM 薄膜包装的红毛丹好果率最高,其次是 SW 和 PE 薄膜。结果显示 3 种包装薄膜均能提高红毛丹好果率,FM 薄膜包装的红毛丹好果率提高效果最为显著。

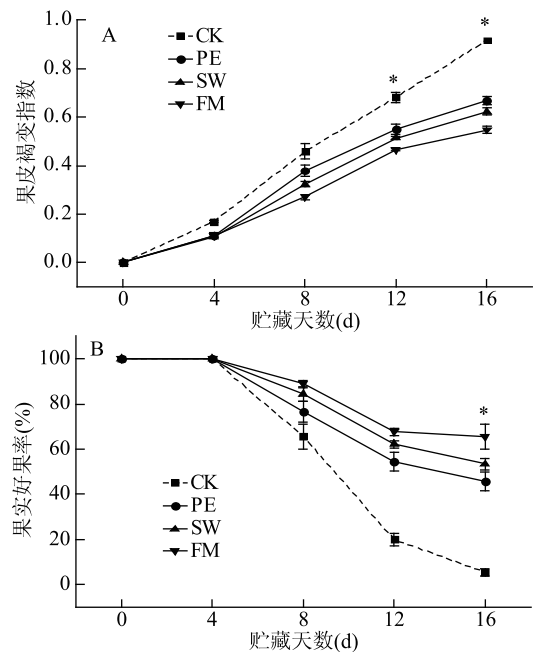


图 1 包装材料对红毛丹果皮褐变及好果率的影响

Fig.1 The effect of packing materials on the

pericarp browning index and intact fruit of rambutan

注:“*”表示同一贮藏天数 FM、SW、PE 三种包装分别与 CK 相比有显著差异 ($P < 0.05$);图 2~图 4 同。

2.2 不同包装下红毛丹果肉可溶性固形物、可滴定酸、可溶性蛋白质的变化

为了更好地观察包装对红毛丹果肉品质的影响,分析了可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)及可溶性蛋白质。由图 2A 看出,红毛丹果肉可溶性固形物含量先增加后减少,Latifah 等^[23]也认为红毛丹在包装中的 TSS 值随整个贮藏时间逐渐上升后下降。相同低温条件下,FM 薄膜包装的红毛丹 TSS 含量显著高于 SW、PE 膜 ($P < 0.05$),这表明与 CK 及 SW、PE 包装相比,FM 包装更能延缓红毛丹果肉 TSS 的减少,其次是 SW。

图2B中,红毛丹果肉可滴定酸含量在整个贮藏期间持续下降,其中CK红毛丹果肉TA在第12~16 d快速下降,3种包装均延缓了红毛丹果肉TA的减少,FM包装的红毛丹果肉TA含量最高,其次是SW薄膜,这表明FM薄膜包装能保持红毛丹果肉TA含量,维持红毛丹果肉风味,其次是SW薄膜。

图2C中,红毛丹果可溶性蛋白质含量先减少后增大。贮藏第16 d,3种包装的红毛丹果可溶性蛋白质含量均高于CK,其中FM包装的红毛丹果肉可溶性蛋白含量最高,SW薄膜包装的红毛丹果可溶性蛋白质与PE包装组无明显差异。从果肉TSS、TA、可溶性蛋白质的变化结果可得FM薄膜包装延缓了果肉TSS和TA的减少,保持果肉可溶性蛋白质含量,维持红毛丹果肉风味效果最好。

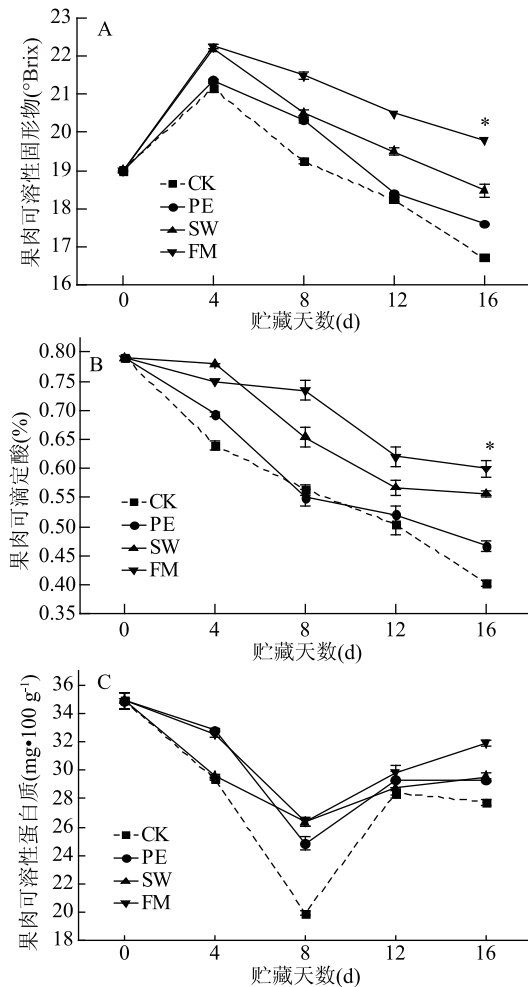


图2 包装材料对红毛丹果肉可溶性固形物、可滴定酸及可溶性蛋白质的影响

Fig.2 The effect of packing materials on total soluble solids, titratable acidity, soluble protein of rambutan

2.3 不同包装下红毛丹果皮相对电导率、丙二醛、可溶性总酚、花青素含量的变化

以红毛丹果皮相对电导率表示红毛丹果皮细胞膜渗透率,电导率越高也代表细胞膜完整性越差^[24]。图3A显示,红毛丹果皮相对电导率随贮藏时间的增加呈上升趋势,表明红毛丹果皮细胞膜完整结构逐渐被破坏。贮藏12~16 d,包装处理后的红毛丹相对

电导率低于CK,说明3种薄膜包装能延缓红毛丹相对电导率的上升,其中FM包装的红毛丹果皮相对电导率最小,结果表明FM能维持果实细胞膜完整性。

丙二醛是细胞膜上多不饱和脂肪酸的氧化降解产物之一,被广泛认为是脂质过氧化的生物标志物^[25]。如图3B所示,CK红毛丹果皮MDA在贮藏后期12~16 d急剧上升,红毛丹果皮细胞膜不饱和脂肪酸过氧化损伤较为严重,3种包装处理的红毛丹果皮MDA在贮藏后期均有轻微上升且MDA含量低于CK,在整个贮藏期间FM包装的红毛丹果皮积累的MDA含量最少,结果表明FM延缓红毛丹果皮MDA的增长,降低了红毛丹果皮脂质过氧化损伤。

酚类物质具有较强的抗氧化能力,可以通过抑制氧化链反应的起始或增殖来延缓脂质过氧化,同时酚类物质是酶促反应的底物,能被促氧化系列酶氧化^[25-26]。从图3C可以看出,随着贮藏时间的增加,红毛丹果实果皮总酚含量呈先上升后下降趋势。Supapvanich^[27]也报道了蒸馏水和温水处理红毛丹果在贮藏末期果皮总酚含量也呈逐渐减少趋势,同时Yingsanga等^[28]对比不同品种的红毛丹总酚含量中也观察到类似趋势。CK组红毛丹总酚含量在贮藏4~16 d持续下降;PE包装红毛丹总酚含量在贮藏第8~16 d也逐渐减少;SW和FM膜包装的果实总酚含量在第12~16 d先增加后减少,整个贮藏期间呈“M”型。图3C中,3种包装的红毛丹总酚含量在贮藏12~16 d显著($P < 0.05$)高于CK,其中FM薄膜包装的红毛丹总酚含量远比SW及PE薄膜组高。

花青素也是一种天然抗氧化剂,是果实保持鲜红色的原因之一,花青素的降解也可能导致果实采后褐变^[29-30]。图3D中,红毛丹果实花青素在贮藏0~8 d快速下降,CK和PE薄膜的果皮花青素在贮藏8~16 d先略微上升后下降;SW包装的红毛丹花青素在贮藏12~16 d又略微上升;FM包装的红毛丹在贮藏8~16 d花青素含量增加,表明FM能延缓果实花青素的降解,使花青素的生成速率大于降解速率,从而使花青素含量增加。图3D显示,贮藏12~16 d,同CK相比,3种包装均能显著提高果实花青素含量,FM膜的红毛丹总花青素含量显著高于SW和PE包装($P < 0.05$),SW的果实花青素含量又显著高于PE包装,原因可能是SW薄膜是PE薄膜上嵌加一定面积的具有选择透性的有机硅窗,包装内与周围大气之间通过硅窗膜进行气体交换,最终使包装内气体浓度达到适宜的水平。结果表明3种不同包装材料中,FM包装更能延缓花青素的降解,其次是SW薄膜和PE薄膜。

从果皮相对电导率、MDA、总酚及花青素的变化结果可得相同低温条件下,与CK相比,3种包装均能较好的延缓果皮相对电导率、MDA的积累及总酚、花青素的降解,其中FM的果实相对电导率、MDA最小,总酚和总花青素含量最高。

2.4 不同包装下红毛丹果皮多酚氧化酶、过氧化物酶含量的变化

多酚氧化酶(PPO)是一组含铜金属的氧化还原

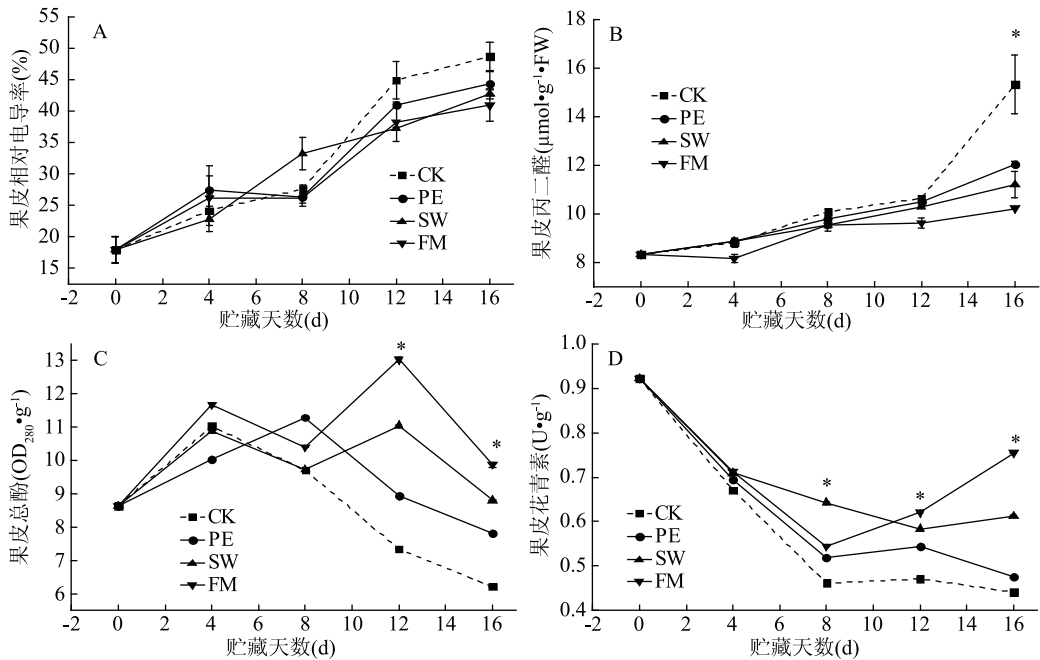


图3 包装材料对红毛丹果皮相对电导率、丙二醛、总酚及花青素的影响

Fig.3 The effect of packing materials on relative conductivity, malondialdehyde content, total polyphenol content, total anthocyanin content of rambutan

酶,利用分子氧催化多种酚类化合物的氧化^[31-32]。红毛丹果实 PPO 活性随时间的变化如图 4A 所示,先下降后上升。贮藏第 12~16 d,CK 和 PE 包装的果实 PPO 活性显著增大($P < 0.05$),但 PE 薄膜的红毛丹 PPO 活性低于 CK,同时 FM 和 SW 包装的红毛丹 PPO 活性在第 16 d 同 CK 比显著降低,结果表明与 CK 相比,包装抑制了红毛丹 PPO 活性的增大,其中 FM 薄膜能显著抑制红毛丹 PPO 活性,其次是 SW 薄膜和 PE 薄膜。

过氧化物酶(POD)以一组以 H_2O_2 存在为前催化酚类、黄酮类等的氧化酶,POD 活性的高低也可说明细胞内的过氧化情况^[33]。图 4B 中,红毛丹 POD 活性随贮藏时间变化呈先增大后减小。贮藏第 16 d,3 种包装的果实 POD 活性无明显差异但均显著低于 CK($P < 0.05$),表明 3 种包装均能明显抑制红毛丹 POD 活性;贮藏第 12 d,FM 包装的红毛丹 POD 活性显著小于 SW 和 PE 包装($P < 0.05$),SW 和 PE 薄膜包装的果实 POD 活性差异不明显,表明 3 种包装材料中,FM 薄膜更能抑制红毛丹果 POD 活性,降低细胞内的过氧化作用。

3 讨论与结论

与 CK 相比,(6 ± 1) °C 下,3 种保鲜包装材料在低温贮藏 8 d 之前,均能显著抑制红毛丹褐变指数的上升,维持较高的好果率,较好的保持红毛丹品质,8 d 后各种指标变化急剧增减,3 中包装性能对红毛丹果实的保鲜效果差异明显。FM 包装红毛丹果肉和果皮在低温贮藏 16 d,11 个指标变化均最小,保持新鲜品质最好,是 3 种包装中最佳包装材料,可为红毛丹采后包装技术的应用提供技术支持。红毛丹果皮褐变是直接影响品质的因素,果皮结构疏松,与果肉呈现分离状态,低温贮藏后果皮失水褐变,果皮硬

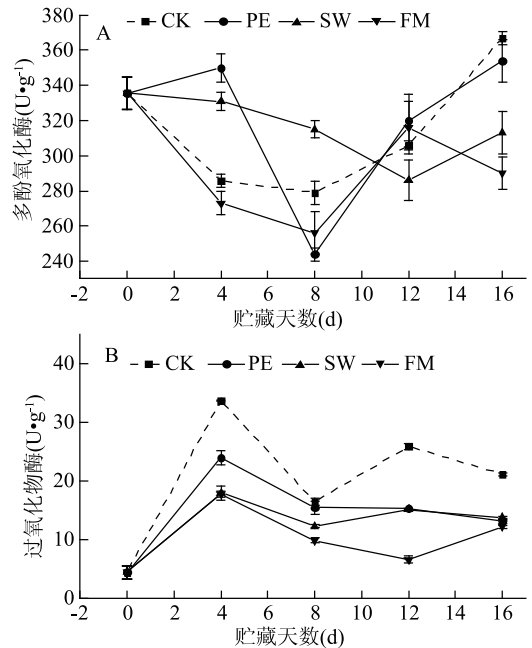


图4 包装材料对红毛丹果皮多酚氧化酶及过氧化物酶的影响

Fig.4 The effect of packing materials on polyphenol oxidase and peroxidase of rambutan

度逐渐变硬,首先劣变在果皮,果肉劣变速度明显低于果皮劣变速度。果皮多酚和花青素的含量、果皮细胞膜透性和丙二醛含量变化直接反映了红毛丹果实的品质变化。

有无包装和不同的包装材料对红毛丹采后保鲜效果有极大影响。本实验仅针对不同包装袋对红毛丹果实品质变化监测,除了薄膜本身厚度对红毛丹果保鲜有极大影响外,对包装材料性能如氧气渗透系数、透湿率、透光率等需进一步研究,同时由于材

料性能不同,包装内 O₂、CO₂ 等气体浓度是否对红毛丹保鲜造成影响,也需对此深入研究。

参考文献

- [1] Li W, Zeng J, Shao Y. Rambutan - *Nephelium lappaceum* [M]. Exotic Fruits Elsevier, 2018:369-375.
- [2] Lin Y, Lin H, Lin Y, et al. The roles of metabolism of membrane lipids and phenolics in hydrogen peroxide - induced pericarp browning of harvested longan fruit [J]. Postharvest Biology Technology, 2016, 111:53-61.
- [3] Paull R E, Reyes M E Q, Reyes M U. Litchi and rambutan insect disinfestation: Treatments to minimize induced pericarp browning [J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 6 (1): 139-148.
- [4] Minh N P, Vo T T, Trung Q V, et al. Application of cmc, xanthan gum as biodegradable coating on storage of rambutan (*Nephelium lappaceum*) fruit [J]. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2019, 11 (3): 1063-1067.
- [5] Landrigan M, Morris S C, Emaus D, et al. Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit [J]. Scientia Horticulturae, 1996, 66(3-4): 201-208.
- [6] Arevalo - Galarza M L, Caballero - Perez J F, Valdovinos - Ponce G, et al. Growth and histological development of the fruit pericarp in rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) [J]. Acta Horticulturae, 2018, 1194: 165-171.
- [7] Landrigan M, Morris S C, Gibb K S. Relative humidity influences postharvest browning in rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) [J]. Hortscience, 1996, 31(3): 417-418.
- [8] O' hare T J. Postharvest physiology and storage of rambutan [J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 6: 189-199.
- [9] Sharma R, Bhatia S, Kaur P. Influence of packaging and storage conditions on biochemical quality and enzymatic activity in relation to shelf life enhancement of fresh basil leaf [J]. Journal of Food Science Technology, 2018, 4: 1-13.
- [10] Singh S, Rai A K, Alam T, et al. Influence of modified atmosphere packaging (MAP) on the shelf life and quality of broccoli during storage [J]. Journal of Packaging Technology Research, 2018: 1-9.
- [11] Varit S, Sirichai K, Yasuo T. Changes in commercial quality of 'rong-rien' rambutan in modified atmosphere packaging [J]. Tokyo: Food Science and Technology International, 2002, 4: 337-341.
- [12] Li T, Zhang M. The Physiological and quality change of mushroom *Agaricus bisporus* stored in modified atmosphere packaging with various sizes of silicone gum film window [J]. Food Sci Technol Res, 2013, 4: 569-576.
- [13] Li T, Zhang M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015: 1046-1053.
- [14] Li T, Zhang M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window and storage temperature on the quality and antioxidant system of stored *Agrocybe chaxingu* [J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 7: 1113-1120.
- [15] Li T, Zhu J. The quality change of mushroom *Agaricus bisporus* stored in the modified atmosphere package with silicon gum film as window [J]. Advanced Materials Research, 2013: 1439.
- [16] 孙兴广, 李丹, 孙娴. 一种果蔬保鲜工艺设计方法及其应用, CN109997908A [P]. 2019-07-12.
- [17] Shao Y, Xie J, Chen P, et al. Changes in some chemical components and in the physiology of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) as affected by storage temperature and packing material [J]. Fruits, 2013, 1: 15-24.
- [18] Hafiz A F A, Keat Y W, Ali A. Effect of integration of oxalic acid and hot water treatments on postharvest quality of rambutan (*Nephelium lappaceum* L. cv. Anak Sekolah) under modified atmosphere packaging [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(7): 1-5.
- [19] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [20] Heath R L, Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation [J]. Archives of Biochemistry Biophysics, 1968, 125 (1): 189-198.
- [21] Nurhuda H H, Maskat M Y, Mamot S, et al. Effect of blanching on enzyme and antioxidant activities of rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel [J]. International Food Research Journal, 2013, 134(3489): 1506-1508.
- [22] Chen X, Wu Q, Chen Z, et al. Changes in pericarp metabolite profiling of four litchi cultivars during browning [J]. Food Research International, 2019, 120: 339-351.
- [23] Latifah M N, Abdullah H, Aziz I, et al. Quality changes of rambutan fruit in different packaging system [J]. Journal of Tropical Agriculture & Food Science, 2009, 37(2): 143-151.
- [24] Liu X, Yang Q, Lu Y, et al. Effect of purslane (*Portulaca oleracea* L.) extract on anti-browning of fresh-cut potato slices during storage [J]. Food Chemistry, 2019, 283: 445-453.
- [25] Liu J, Liu S, Zhang X, et al. Effect of gallic acid grafted chitosan film packaging on the postharvest quality of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Postharvest Biology Technology, 2019, 147: 39-47.
- [26] Kan J, Xie W, Wan B, et al. Heat-induced tolerance to browning of fresh-cut lily bulbs (*Lilium lancifolium* Thunb.) under cold storage [J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43 (5): e12816.
- [27] Supapvanich S. Effects of salicylic acid incorporated with lukewarm water dips on the quality and bioactive compounds of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) [J]. CMU J Nat Sci, 2015, 14(1): 23-27.
- [28] Yingsanga P, Srilong V, Kanlayanarat S, et al. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See - Chompoo [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, (2-3): 164-168.

(下转第 215 页)

- (6):1435-1436.
- [3] Liu P, Cheng Y, Yang M, et al. Mechanisms of action for 2-phenylethanol isolated from *Kloeckera apiculata* in control of *Penicillium* molds of citrus fruits[J]. BMC Microbiology, 2014, 14(1):242.
- [4] Etschmann M, Bluemke W, Sell D, et al. Biotechnological production of 2-phenylethanol[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2002, 59(1):1-8.
- [5] 陈先锐, 王肇悦, 何秀萍. 酵母菌合成 2-苯乙醇的研究进展[J]. 生物工程学报, 2016, 32(9):1151-1163.
- [6] Mo E K, Sung C K. Phenylethyl alcohol (PEA) application slows fungal growth and maintains aroma in strawberry[J]. Postharvest Biol Technol, 2007, 45(2):234-239.
- [7] Gupta C, Prakash D, Gupta A S. Biotechnological approach to microbial based perfumes and flavours[J]. Microbiol Exp, 2015, 2(1):34.
- [8] 汪琨, 沈情佳, 魏秀燕, 等. 酿酒酵母 CWY132 发酵罐小试生产 2-苯乙醇[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(4):102-106.
- [9] 崔志峰, 沈情佳, 汪琨, 等. 酿酒酵母 CWY132 以糖蜜为碳源生产 2-苯乙醇的培养条件[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(11):10-13.
- [10] 丁东栋, 崔志峰, 徐翔, 等. 生物转化法合成 2-苯乙醇的研究进展[J]. 工业微生物, 2017, 47(2):53-60.
- [11] Xu P, Hua D, Ma C. Microbial transformation of propenylbenzenes for natural flavor production[J]. Trends in Biotechnology, 2007, 25(12):571-576.
- [12] Etschmann M, Bluemke W, Sell D, et al. Biotechnological production of 2-phenylethanol[J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2002, 59(1):1-8.
- [13] Hazelwood L A, Daran J M, Vanmaris A J, et al. The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: A century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism[J]. Appl Environ Microb, 2008, 74(8):2259-2266.
- [14] Kim T Y, Lee S W, Oh M K. Biosynthesis of 2-phenylethanol from glucose with genetically engineered *Kluyveromyces marxianus*[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2014, 61(62):44-47.
- [15] Wang Y, Zhang H, Lu X Y, et al. Advances in 2-phenylethanol production from engineered microorganisms[J]. Biotechnology Advances, 2019, 37(3):403-409.
- [16] Mierzejewska J, Tymoszevska A, Chreptowicz K, et al. Mating of 2 laboratory *Saccharomyces cerevisiae* strains resulted in enhanced production of 2-phenylethanol by biotransformation of L-phenylalanine[J]. J Mol Microbiol Biotechnol, 2017, 27(2):81-90.
- [17] Chreptowicz K, Mierzejewska J. Enhanced bioproduction of 2-phenylethanol in a biphasic system with rapeseed oil[J]. New Biotechnology, 2018, 42:147-167.
- [18] 温文婷. 中国主栽银耳配对香灰菌的系统发育和遗传多样性[M]. 中国农业出版社, 2010, 43(3):552-558.
- [19] Deng Y, van Peer A F, Lan F S, et al. Morphological and molecular analysis identifies the associated fungus ("Xianghui") of the medicinal white jelly mushroom, *Tremella fuciformis*, as *Annulohyphoxylon stygium*[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2016, 18(3):253-260.
- [20] Deng Y, Hsiang T, Li S, et al. Comparison of the mitochondrial genome sequences of six *Annulohyphoxylon stygium* isolates suggests short fragment insertions as a potential factor leading to larger genomic size[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9:2079.
- [21] 林辉, 赖淑芳, 郑珠霜, 等. 香灰菌与银耳混合培养过程中酶系的相互作用[J]. 中国食用菌, 2015, 34(4):57-61.
- [22] 汪国莲, 陈立国, 陈明. 银耳菌丝生长营养条件的初步研究[J]. 食用菌, 2000, 22(4):12-14.
- [23] 邓优锦, 王庆福, 陈介斌, 等. 具有拮抗关系的 18 个香灰菌株遗传差异性分析[J]. 食用菌学报, 2014(2):25-31.
- [24] 岳小飞, 刘伟, 简永健, 等. 早产儿低体重儿干滤纸血片苯丙氨酸水平的检测及分析[J]. 中国优生与遗传杂志, 2019, 27(6):723-724.
- [25] 贾晨路, 赵德华, 吕书博, 等. GSP 分析仪检测新生儿苯丙氨酸参考限的建立[J]. 标记免疫分析与临床, 2019, 26(8):1314-1316.
- [26] 王玉梅, 刘艳, 邵安良, 等. 11 种新生儿苯丙氨酸检测试剂盒质量分析[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(5):951-956.
- [27] 陈虹, 梅建凤, 陈蔚青. 紫外分光光度法测定发酵液中的 2-苯乙醇含量[J]. 食品与发酵工业, 2007(4):138-140.
- [28] 刘兰. 酵母细胞转化液中乙醇、2-苯乙醇的气相色谱法分析[J]. 江西科学, 2016, 34(2):169-172.
- [29] Lu Z Y, Zhang Y W, Li X J, et al. Determination of β -phenylethanol in rice wine by solid phase extraction - gas chromatography[J]. Food Science, 2017, 38(24):213-217.
- [30] 黎军, 吴嘉碧, 陈侣平. 气相色谱-质谱法测定豉香型白酒中 β -苯乙醇及 3 种二元羧酸的二乙酯[J]. 理化检验(化学分册), 2008, 44(9):883-884.
- [31] 刘东亚, 金征宇, 陈尚卫, 等. 反相高效液相色谱法同时检测发酵液中的 L-苯丙氨酸和 β -苯乙醇[J]. 色谱, 2006(4):414.
- (上接第 191 页)
- [29] Zhang Z, Huber D J, Qu H, et al. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols[J]. Food Chemistry, 2015, 171:191-199.
- [30] Jiang Y, Duan X, Joyce D, et al. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit[J]. Food Chemistry, 2004, 88(3):443-446.
- [31] Guven R G, Guven K, Bekler F M, et al. Biochemical properties of polyphenol oxidase from *Daucus carota*[J]. The Online Journal of Science and Technology - January, 2019, 9(1):62-67.
- [32] Queiroz C, Mendes Lopes M L, Fialho E, et al. Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control[J]. Food Reviews International, 2008, 24(4):361-375.
- [33] 冯程程, 于筠, 王春玲. 不同贮藏温度下鲜切紫甘薯褐变相关酶及底物的变化研究[J]. 食品工业科技, 2019, 35(3):1-10.