

张琴,董晓庆,林欣,等.不同薄膜包装对火龙果贮藏品质和生理特性的影响[J].食品工业科技,2022,43(20):352-360. doi:10.13386/j.issn1002-0306.2022010219

ZHANG Qin, DONG Xiaoping, LIN Xin, et al. Effects of Different Film Packaging on Storage Quality and Physiological Characteristics of Pitaya[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(20): 352-360. (in Chinese with English abstract). doi:10.13386/j.issn1002-0306.2022010219

· 贮运保鲜 ·

不同薄膜包装对火龙果贮藏品质和生理特性的影响

张琴¹,董晓庆^{1,*},林欣¹,罗登灿¹,彭俊森¹,黄世安¹,马玉华²

(1.贵州大学农学院,贵州省果树工程技术研究中心,贵州贵阳 550025;

2.贵州省果树科学研究所,贵州贵阳 550025)

摘要:为研究不同薄膜包装对火龙果贮藏品质及生理特性的影响,以‘紫红龙’火龙果为试材,采用聚乙烯保鲜袋(Polyethylene, PE)、聚氯乙烯保鲜袋(Polyvinyl chloride, PVC)、聚乙烯微孔保鲜袋(Polyethylene microporous, WK)3种薄膜包装对果实进行处理,包装后于(6±1)℃下进行贮藏。结果表明:与对照(CK)相比,不同薄膜包装均能延缓火龙果果实的失重率及腐烂率上升,并推迟呼吸高峰的出现,抑制火龙果可溶性固形物(Total soluble solids, TSS)、可滴定酸(Titratable acid, TA)、可溶性蛋白、可溶性糖、维生素C(Vitamin C, V_C)和还原型谷胱甘肽(Glutathione, GSH)含量的下降,减少丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、超氧阴离子(O₂⁻)的积累,提高超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)和过氧化物酶(Peroxidase, POD)的活性。其中,在贮藏30d时,CK、PVC、WK、PE组的火龙果腐烂率分别为44.44%、33.33%、22.22%、11.11%。采后用PE薄膜包装处理火龙果的保鲜效果最好,可以有效延缓火龙果采后果实品质劣变,更利于果实货架品质的保持。

关键词:火龙果,聚乙烯薄膜(PE),聚氯乙烯薄膜(PVC),聚乙烯微孔薄膜(WK),果实品质,生理特性

中图分类号:TS255.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)20-0352-09

本文网刊:

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010219



Effects of Different Film Packaging on Storage Quality and Physiological Characteristics of Pitaya

ZHANG Qin¹, DONG Xiaoping^{1,*}, LIN Xin¹, LUO Dengcan¹,

PENG Junsen¹, HUANG Shian¹, MA Yuhua²

(1. Agricultural College, Guizhou University, Guizhou Engineering Research Center for Fruit Crops, Guiyang 550025, China;

2. Institute of Pomology, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to study the effect of different film packaging on storage quality and physiological characteristics of pitaya fruit, with 'Zihonglong' pitaya as the experimental material, three film packaging bags of polyethylene fresh-keeping bag (PE), polyvinyl chloride fresh-keeping bag (PVC), and polyethylene microporous fresh-keeping bag (WK) were used to process and package the fruit. Then they were stored at (6±1) °C. The results illustrated that compared with the control (CK), the different film packaging could inhibit the increase of pitaya fruit decay rate and weight loss rate, and delay the appearance of respiration peak of pitaya fruit, inhibit the decrease of the total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), soluble protein and soluble sugar, vitamin C (V_C) and glutathione (GSH), reduce the accumulation of malondialdehyde

收稿日期: 2022-01-25

基金项目: 贵州省第六批人才基地项目“贵州省精品水果产业人才培养基地”(RCJD2018-16);大学生“SRT”项目(贵大SRT字2017085)。

作者简介: 张琴(1998-),女,硕士研究生,研究方向:果蔬采后生理与贮藏保鲜,E-mail: 1872563440@qq.com。

*通信作者: 董晓庆(1980-),女,博士,副教授,研究方向:果蔬采后生理与分子生物学,E-mail: xiaoqingdong09@163.com。

(MDA), increase superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) activities. The decay rates of pitaya fruit in groups CK, PVC, WK, PE were 44.44%, 33.33%, 22.22% and 11.11%, respectively after storage for 30 d. PE film packaging had the best preservation effect, which could effectively delay the deterioration of pitaya after harvest and was more conducive to the maintenance of fruit quality.

Key words: pitaya; PE; PVC; WK; fruit quality; physiological characteristic

火龙果(*Hylocereus undulatus* Britt.), 别称红龙果、仙蜜果、龙珠果, 隶属仙人掌科(Cactaceae)、三角柱属(*Hylocereus*)植物^[1]。火龙果因其独特的外形和清甜的风味而深受消费者青睐, 其果实富含甜菜色素、多酚、类黄酮、糖、有机酸、氨基酸和植物蛋白^[2-4]及大量的 Mg、Ca、Fe 等微量元素^[5]。火龙果果籽是脂肪酸的主要聚集地, 种子中不饱和脂肪酸可占总重量的 80.83%^[6]。火龙果在夏季高温多雨季节成熟, 采后容易受到真菌病害的侵染, 导致果实发生生理伤害^[7]。‘紫红龙’本身含水量高、果皮鳞片易失水萎蔫, 常温贮藏鲜食期较短^[8]。高温潮湿的环境会加强火龙果采后的呼吸作用, 进而加快果实腐烂变质速度, 降低果实品质及缩短货架期, 给火龙果产业造成严重的经济损失, 极大地限制了火龙果产业的发展。在采后流通过程中, 我国火龙果产业每年损失率高达 20%~25%, 而欧美发达国家采后损失率仅为 1.7%~5.0%^[9], 两者相比差距很大。因此, 寻求适宜的火龙果贮藏保鲜技术与方法, 减少果实采后腐烂损失, 延缓果实品质的下降, 提高商品附加值, 以及延长果实贮藏期和货架期, 是火龙果产业中迫切需要解决的问题。

近年来, 对火龙果贮藏保鲜的研究大多是从抑制火龙果生理活性出发, 主要分为物理保鲜^[8]、化学保鲜^[10]和涂膜保鲜^[11]等。薄膜包装也称自发气调包装(modified atmosphere packaging, MAP), 是利用果蔬呼吸和薄膜材质透气性间的动态平衡, 通过抑制呼吸作用、减少物质转化和呼吸基质的消耗来影响果蔬新陈代谢, 延长贮藏期^[12]。与其它保鲜技术相比, 薄膜包装因具有简便快捷、绿色无污染、经济实惠等特点而广泛应用于果蔬保鲜中。赵欢欢等^[13]研究发现使用聚乙烯薄膜包装樱桃番茄果实, 有效抑制了果实呼吸作用和腐烂, 保持其较高的可溶性固形物、可滴定酸和 V_C 等营养成分的含量, 延缓了品质的下降速度。林玉钦等^[14]研究表明, 薄膜包装能有效抑制红毛丹品质劣变并保持其新鲜品质、延缓衰老进程。此外, 经过薄膜包装处理的香梨^[15]、猕猴桃^[16]、桔柚^[17]、香菇^[18]等果蔬也表现出较好的贮藏特性, 有效延长贮藏期和货架期。然而, 不同果蔬薄膜包装的选择取决于果蔬的品种、贮藏的温度、包装的材料及其厚度^[19]。目前有关薄膜包装应用于火龙果采后保鲜上的研究还不是很明确, 基于此, 本实验以‘紫红龙’火龙果为试材, 分别用聚乙烯(PE)保鲜袋、聚氯乙烯(PVC)保鲜袋、聚乙烯微孔(WK)保鲜袋这 3 种保鲜袋进行包装处理, 探讨其对采后‘紫红龙’火龙果贮藏品质和生理特性的影响, 以期筛选出合适的薄膜

包装材料, 对延长火龙果果实货架期以及提高其果实品质和商业价值具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘紫红龙’火龙果 采自贵州省罗甸县一管理水平良好的火龙果示范基地, 果实九成熟采收, 采后立即运回贵州大学园艺实验室; 聚乙烯(PE)保鲜袋、聚氯乙烯(PVC)保鲜袋、聚乙烯微孔(WK)保鲜袋 厚度分别为 20、30、20 μm , 规格均为 65 cm \times 65 cm, 均由国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)提供; 草酸、抗坏血酸、牛血清蛋白质、二硫代硝基苯甲酸、核黄素、红菲啉 分析纯, 贵州省格瑞恩科技有限公司; 磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、浓硫酸、考马斯亮蓝 G-250、三氯乙酸、无水乙醇、氢氧化钠、还原型谷胱甘肽、硫代巴比妥酸、冰醋酸、无水醋酸钠、聚乙烯吡咯烷酮、TritonX-100、30% H_2O_2 、L-蛋氨酸、氮蓝四唑、EDTA、PVPP 分析纯, 贵州省塞兰博科技有限公司。

TEL-7001 型呼吸仪 上海金泉仪器有限公司; FA-2104 型分析天平 上海良平仪器仪表有限公司; PAL-BX/ACD1 糖酸度计 ATAGO 公司; YG16W 型台式高速冷冻离心机 长沙平凡仪器仪表有限公司; UV752 紫外分光光度计 上海佑科仪器有限公司; DW-HL678 型超低温冰箱 成都川弘科生物技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 挑选成熟度一致、大小均一、无病虫害及机械损伤的果实随机分为四组, 每组设置 3 个重复, 每个重复用果 10 个。对照(CK)组, 不用任何薄膜包装, 直接放于塑料筐中, 其它三组分别用 PE、PVC、WK 材料薄膜包装, 挽口放于大小为 50 cm \times 35 cm \times 30 cm 的塑料筐中。贮藏于 6 ± 1 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 85%~95% 的环境条件下。每 5 d 取样一次, 测定相关指标。

1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 失重率和腐烂率测定 失重率测定: 参照石其宇等^[20]方法测定, M_1 表示采收当天果实的初始重量, g; M_2 表示实验当天果实的重量, g。失重率(%)= $[(M_1-M_2)/M_1]\times 100$ 。

腐烂率测定: 当火龙果果实的腐烂和病斑面积超过表面积的 50% 时, 即为腐烂果。腐烂率(%)=腐烂果个数/总果数 $\times 100$ 。

1.2.2.2 呼吸速率 参考石其宇等^[20]的方法。用

CO₂ 分析仪测定:将火龙果果实同干燥器一起放入(6±1)℃环境下,每组随机选取3个果实,放入9.4 L的干燥器中,同时放入CO₂分析仪,密封,每10 min读数1次,共3次。结果以CO₂计,单位mg/(kg·h)。

1.2.2.3 TSS、TA含量和TSS/TA 用糖酸度计测定TSS含量(%)、TA含量(%),固酸比=TSS/TA。

1.2.2.4 可溶性蛋白含量和可溶性糖含量测定 采用考马斯亮蓝染色法^[21]测定可溶性蛋白。将果肉以缓冲液研磨成匀浆,离心并收集上清液,反应体系包含0.1 mL提取液,0.9 mL蒸馏水,5 mL考马斯亮蓝溶液,混匀放置2 min,测定其在595 nm处的吸光度值,结果以mg/g FW表示。

采用蒽酮比色法^[21]测定可溶性糖,将果肉以蒸馏水研磨成匀浆后,转入刻度试管中,薄膜封口煮沸20 min,取出待冷却后过滤,重复两次,反应体系包括0.5 mL提取液、1.5 mL蒸馏水、0.5 mL蒽酮乙酸乙酯试剂和5 mL硫酸,测定其在630 nm处的吸光度值,结果以%表示。

1.2.2.5 V_C含量和GSH含量测定 V_C含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[21]测定,将果肉以草酸溶液研磨成匀浆,过滤,取上清液用2,6-二氯酚靛酚溶液滴定至微红色、15 s不褪色为止,记录2,6-二氯酚靛酚溶液所消耗体积。同时,以草酸溶液作为空白,以同样方法进行滴定。结果以100 g鲜重样品中含有的抗坏血酸的质量表示,即mg/100 g(FW)。

GSH含量的测定参考文献^[21]进行测定。将果肉以三氯乙酸溶液研磨成匀浆,离心得到上清液。反应体系包括1 mL上清液、1 mL磷酸缓冲液、0.5 mL DTNB溶液,反应液混匀后,于25℃保温10 min,测定其在412 nm处的吸光度值,结果以μmol/100 g FW表示。

1.2.2.6 MDA含量和O₂^{·-}产生速率测定 采用硫代巴比妥酸法^[21]测定,将果肉以三氯乙酸(TCA)溶液研磨成匀浆,离心收集上清液。反应体系包括1 mL提取液和2 mL 0.6%的硫代巴比妥酸(TBA),测定反应体系在450、532和600 nm处吸光度值,结果以μmol/g FW表示。

O₂^{·-}产生速率采用羟胺氧化法^[21]测定,将果肉以磷酸钠缓冲液研磨成匀浆,离心并收集上清液,加入磷酸缓冲液和盐酸羟胺溶液,混匀后于25℃保温20 min,再加入α-萘胺溶液、对氨基苯磺酸溶液,混匀于30℃水浴显色反应30 min,测定其在530 nm处吸光度值,结果以nmol/min·kg FW表示。

1.2.2.7 SOD、POD、CAT活性测定 参考曹健康等^[21]的方法,SOD活性测定:将果肉以预冷的磷酸缓冲液在冰浴上研磨成匀浆,离心后收集上清液,反应体系包括0.5 mL酶液、130 mmol·L⁻¹甲硫氨酸(MET)溶液、750 μmol·L⁻¹氮蓝四唑(NBT)溶液、100 μmol·L⁻¹EDTA-Na₂和2 mmol·L⁻¹核黄素,反应液混合后在4000 lx日光灯下反应5 min后,测定其

在560 nm处的吸光度值,以抑制NBT光化还原50%为一个酶活性单位(U),结果以U/g FW表示。

POD活性测定:将果肉以预冷的磷酸缓冲液和聚乙烯吡咯烷酮(PVP)研磨成匀浆后,离心收集上清液用于酶活性的测定。反应体系包括0.5 mL酶液、3 mL 25 mmol/L愈创木酚、200 μL 30% H₂O₂,测定反应体系在470 nm处的吸光度值,每隔1 min读数一次,至少获取6个点的数据,变化值即为酶活力大小,结果以U/g FW表示。

CAT活性测定:反应体系:1.95 mL蒸馏水、0.05 mL酶液、1 mL 0.2% H₂O₂,测定反应体系在240 nm处的吸光度值,每隔30 s测定一次样品的吸光度变化,至少选取6个点,结果表示为U/g FW。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2010软件对数据进行统计整理,利用SPSS 20.0软件进行Duncan法显著性分析($P < 0.05$ 表示差异显著),并利用Origin 2019软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同薄膜包装对火龙果失重率和腐烂率的影响

腐烂率通常是衡量果实贮藏品质的重要指标,可较为直观地展现火龙果的商品价值。如图1A所示,在整个贮藏过程中,4组火龙果失重率都呈现出稳定上升的趋势。在贮藏第30 d,CK、PE、PVC和WK组的失重率分别上升了6.28%、3.63%、5.56%和4.65%,CK组的失重率分别是PE、PVC和WK组

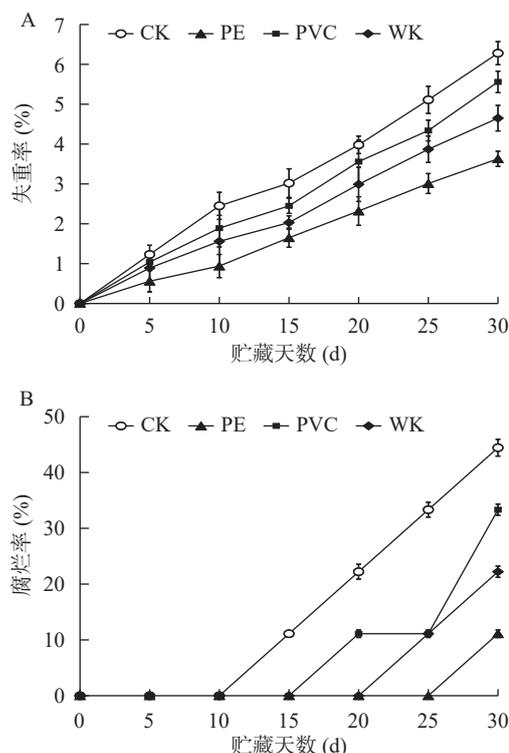


图1 不同薄膜包装对火龙果失重率(A)和腐烂率(B)的影响
Fig.1 Effects of different film packaging on the weight loss rate (A) and decay rate (B) of pitaya

的 1.73、1.53 和 1.28 倍, 各处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。顺序依次为: CK 组 > PVC 组 > WK 组 > PE 组。在果实贮藏过程中, 果实会因蒸腾失水、呼吸代谢等活动而消耗自身的有机物, 造成果实质量降低, 失重率增加^[19]。如图 1B 所示, 贮藏前 10 d, 各组均无果实腐烂, 在贮藏中后期先后出现腐烂, CK 组最先出现腐烂果实, 贮藏第 10 d, CK 组的腐烂率呈现出急速的上升趋势, 在贮藏第 30 d 腐烂率为 44.44%; 其次是 PVC 组, 在贮藏第 15 d, PVC 组出现腐烂果实并以一定的增长速率上升, 贮藏第 30 d 时腐烂率为 33.33%; 在贮藏第 20 d, WK 组开始出现腐烂果实, 在贮藏第 30 d 的腐烂率为 22.22%; PE 组则在贮藏第 25 d 才出现腐烂果实, 在贮藏第 30 d 腐烂率仅为 11.11%。3 组薄膜包装果实腐烂率均明显低于 CK 组。说明 3 种薄膜包装均能抑制火龙果失重率、腐烂率的上升, 延长果实贮藏期。其中, 以 PE 薄膜包装效果最好。

2.2 不同薄膜包装对火龙果呼吸速率的影响

呼吸强度的变化能够反应果实衰老的状况^[22], 果实的呼吸强度越大, 表明果实内部的生理变化越快。如图 2 所示, 4 组果实呼吸强度在整个贮藏过程均呈先升高后降低的变化规律, CK 组在贮藏第 10 d 达到峰值为 27.06 mg/(kg·h), PE、PVC 和 WK 组在贮藏第 15 d 出现峰值, 分别为 22.97、25.38 和 24.43 mg/(kg·h), 3 组果实的呼吸高峰推迟 5 d, 且差异显著 ($P < 0.05$)。说明薄膜包装均能有效抑制火龙果的呼吸作用, 降低其峰值, 且推迟呼吸峰值的出现, 其中以 PE 薄膜包装组效果最佳。

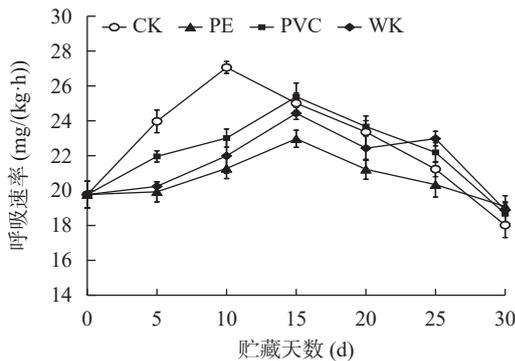


图 2 不同薄膜包装对火龙果呼吸速率的影响

Fig.2 Effects of different film packaging on the breathing rate of pitaya

2.3 不同薄膜包装对火龙果 TSS、TA 含量和 TSS/TA 的影响

TSS 含量是衡量果实品质的重要指标^[23], TA 含量直接影响果实的风味品质^[24], 与果实的成熟密切相关。由图 3A 可知, 在整个贮藏期, 4 组果实 TSS 含量均呈下降趋势, 其中 PE 组的 TSS 含量下降速率最为缓慢, CK 组的下降最快。与贮藏第 0 d 果实 TSS 含量 14.28% 相比, 贮藏第 30 d 的 CK、PE、PVC 和

WK 组的 TSS 含量分别下降了 4.52%、2.83%、4.07% 和 3.50%, 顺序依次为: PE 组 > WK 组 > PVC 组 > CK 组。结果表明, 3 组薄膜均能在一定程度上抑制火龙果果实 TSS 的下降, 延缓果实的衰老进程, 以 PE 薄膜包装最好。由图 3B 可知, 4 组火龙果中的 TA 含量均为匀速下降。4 组的 TA 初始含量为 0.72%, 在贮藏第 30 d 时, CK、PE、PVC、WK 组的果实 TA 含量分别降至 0.25%、0.43%、0.32% 和 0.36%, 分别下降了 65.28%、40.28%、55.56% 和 50.00%, 顺序依次为: CK 组 > PVC 组 > WK 组 > PE 组。说明 3 种薄膜包装都能有效维持火龙果中的 TA 含量, 延缓果实的衰老进程, 其中 PE 包装效果最好。由图 3C 可知, 4 组果实的固酸比均呈上升趋势, 在贮藏第 0~5 d, 缓慢上升且无明显差异; 从贮藏第 5 d, CK 组的固酸比快速上升并始终高于其它 3 组, 且差异显著 ($P < 0.05$)。在整个贮藏期, PE 组的固酸比始终保持着较低的上升幅度。

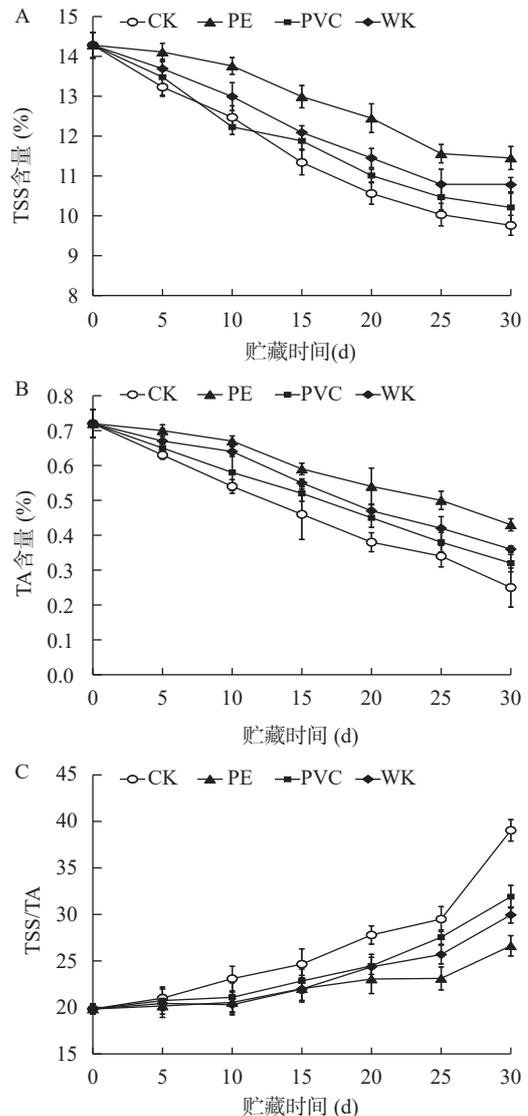


图 3 不同薄膜包装对火龙果 TSS(A)、TA(B)含量和 TSS/TA(C)的影响

Fig.3 Effects of different film packaging on the TSS(A), TA (B) and content and TSS/TA (C) of pitaya

2.4 不同薄膜包装对火龙果可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

可溶性蛋白是一种重要的渗透调节物质和营养物质,常被用作筛选抗性的指标之一。由图 4A 可知,在整个贮藏期 4 组火龙果果实的可溶性蛋白含量呈先上升后下降的趋势,CK 组在贮藏第 5 d 出现峰值,而其它 3 组薄膜包装在贮藏第 10 d 出现峰值,比 CK 延迟 5 d。在贮藏第 30 d,PE、WK、PVC 组的可溶性蛋白含量分别是 CK 组的 1.88、1.46、1.2 倍,PVC 组与 CK 组的差异不显著($P>0.05$)。可溶性糖是果蔬受到冷害时产生的一种抗寒性物质,对果蔬细胞具有保护作用。由图 4B 可知,4 组果实的可溶性糖含量与可溶性蛋白变化趋势相似。PE、WK、PVC、CK 组在贮藏第 10 d 达到峰值,分别为 8.78%、8.04%、7.45%、7.12%。在贮藏第 30 d,PE、WK、PVC、CK 组可溶性糖含量分别为 4.94%、4.15%、3.59% 和 2.78%,CK 下降速率最快,PE 组下降最为缓慢,差异显著($P<0.05$)。说明,3 种薄膜包装均有效保持火龙果果实中可溶性糖、可溶性蛋白的含量,其中 PE 薄膜包装效果最好。

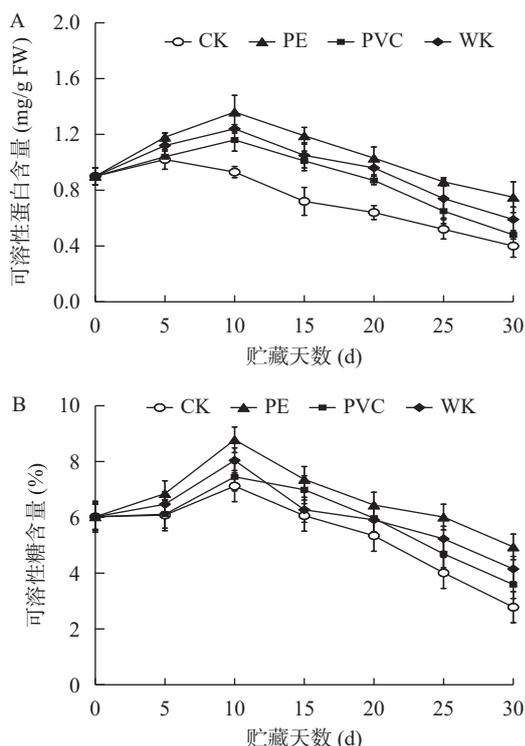


图 4 不同薄膜包装对火龙果可溶性糖(A)和可溶性蛋白(B)含量的影响

Fig.4 Effects of different film packaging on soluble sugar (A) and soluble protein (B) content of pitaya

2.5 不同薄膜包装对火龙果 V_C 和 GSH 含量的影响

V_C 含量作为火龙果营养价值的重要组成部分之一,在火龙果贮藏期间呈逐渐下降的趋势。如图 5A 所示,4 组火龙果果实 V_C 含量随着贮藏时间的延长而下降。在贮藏第 30 d,CK、PVC、WK 和 PE 组的值分别为 5.65、6.45、7.56 和 8.34 mg/100 g,分别下降

了 70.20%、66.00%、60.13% 和 56.01%。GSH 对活性氧自由基的清除具有重要作用,如图 5B 所示,在贮藏过程中,薄膜包装处理的火龙果果实 GSH 含量均缓慢升高,贮藏 30 d 时,CK 果实的 GSH 含量为 27.15 μmol/100 g,PE、PVC 和 WK 分别为 36.38、29.92 和 31.85 μmol/100 g,分别是 CK 果实的 1.34、1.10 和 1.17 倍,且各组果实 GSH 含量差异达到显著水平 ($P<0.05$),顺序依次为: PE 组>WK 组>PVC 组>CK 组。

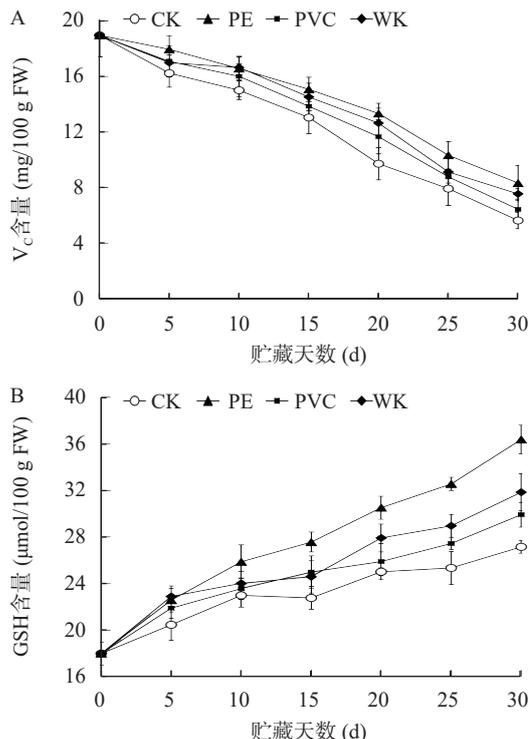


图 5 不同薄膜包装对火龙果 V_C(A)和 GSH(B)含量的影响
Fig.5 Effects of different film packaging on V_C (A) and GSH (B) content of pitaya

2.6 不同薄膜包装对火龙果 MDA 含量和 O₂⁻产生速率的影响

MDA 是膜脂过氧化的产物之一,其含量的大小可以衡量膜脂的过氧化程度^[25]。由图 6A 可知,在整个过程中,4 组火龙果果实的 MDA 含量均呈稳定上升的趋势,CK 组上升速率最快,且 MDA 含量在整个贮藏期始终高于其它 3 组,PE 组上升速率最慢且 MDA 含量在整个贮藏期始终低于其它 3 组。贮藏 0 d,4 组的初始值为 1.01 μmol/g,在贮藏第 30 d,CK、PVC、WK、PE 组的 MDA 含量分别为 10.43、9.25、8.33 和 7.59 μmol/g,CK 组与 PE 组差异显著 ($P<0.05$),顺序依次为: CK 组>PVC 组>WK 组>PE 组,表明 3 种薄膜包装处理均能有效抑制火龙果中 MDA 含量的上升,以 PE 薄膜包装处理效果最佳。O₂⁻ 积累过多,则会破坏活性氧的代谢平衡,进而加速果实衰老。由图 6B 可知,4 组火龙果果实的 O₂⁻ 产生速率缓慢升高,其中 CK 果实 O₂⁻ 产生速率最快,贮藏第 30 d 时,为 1.36 nmol/(min·kg),PE、PVC、

WK 组分别为 0.90、1.15 和 1.03 nmol/(min·kg)。PE、PVC 和 WK 处理的比 CK 分别低 33.82%、15.44% 和 24.26%，说明 3 种薄膜包装处理显著($P < 0.05$)降低了火龙果中 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率，其中以 PE 薄膜包装处理效果最佳。

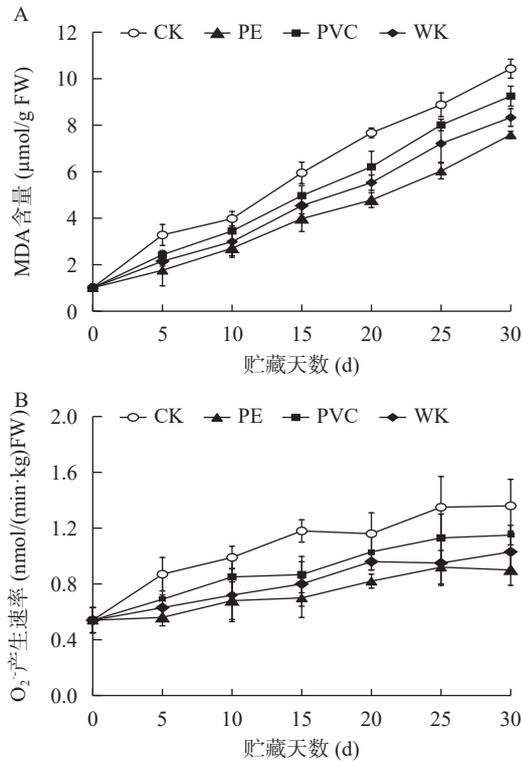


图 6 不同薄膜包装对火龙果 MDA(A) 含量和 $O_2^{\cdot-}$ (B) 产生速率的影响

Fig.6 Effects of different film packaging on MDA (A) content and $O_2^{\cdot-}$ (B) generation rate of pitaya

2.7 不同薄膜包装对火龙果 SOD、CAT 和 POD 活性的影响

随着贮藏时间的延长，火龙果果实的衰老程度逐渐增加，其组织细胞内活性氧代谢失去平衡，进而造成组织体内自由基过量累积。SOD、CAT 和 POD 是活性氧代谢的主要酶，这些酶相互协调以清除体内过多的自由基，对于维持果实体内的活性氧代谢平衡具有重要作用^[26]，由图 7A 可知，在整个贮藏过程中，4 组火龙果果实 SOD 活性均呈先增加后降低的趋势，在贮藏第 10 d 达到峰值，CK 组的 SOD 活性增加到 7.96 U/g，PVC、WK、PE 组分别增加到 8.28、9.23 和 10.56 U/g，且均与 CK 组差异显著($P < 0.05$)。在贮藏第 30 d，CK、PVC、WK 和 PE 组的 SOD 活性分别为 5.75、4.98、4.45 和 3.56 U/g，与贮藏第 0 d 的初始值 5.21 U/g 比较，PE 薄膜包装的果实 SOD 活性仍高于初始值，而其它 3 组的 SOD 活性均显著($P < 0.05$)低于初始值。由图 7B 可知，随着贮藏时间的延长，火龙果果实中 POD 活性呈现出明显的上升趋势。在贮藏第 30 d，CK、PVC、WK、PE 组的 POD 活性分别增加到了 8.34、8.89、9.23 和 10.34 U/g，与初始值 4.34 U/g 相比，4 个组 POD 活性分别是初

始值的 1.92、2.04、2.13 和 2.38 倍。由图 7C 可知，在整个贮藏过程中，4 组果实的 CAT 活性都呈现出先增加后降低的趋势，并在贮藏第 10 d 出现峰值，CK 组增加到 17.09 U/g，PVC、WK、PE 组分别增加到 18.22、19.31 和 22.09 U/g。在贮藏第 30 d，CK、PVC、WK 和 PE 组的 CAT 活性分别为 10.48、11.23、12.44 和 14.82 U/g。与贮藏 0 d 的初始值 12.34 U/g 比较，PE 组 CAT 活性显著高于初始值($P < 0.05$)，WK 组果实 CAT 活性略高于初始值；而 PVC 组和 CK 组果实的 CAT 活性都要低于初始值，且两组之间的差异不显著($P > 0.05$)。以上结果表明，PE、PVC、WK 3 种薄膜包装处理均能有效提高火龙果中 SOD、POD、CAT 活性，其中 PE 薄膜包装处理效果最佳。

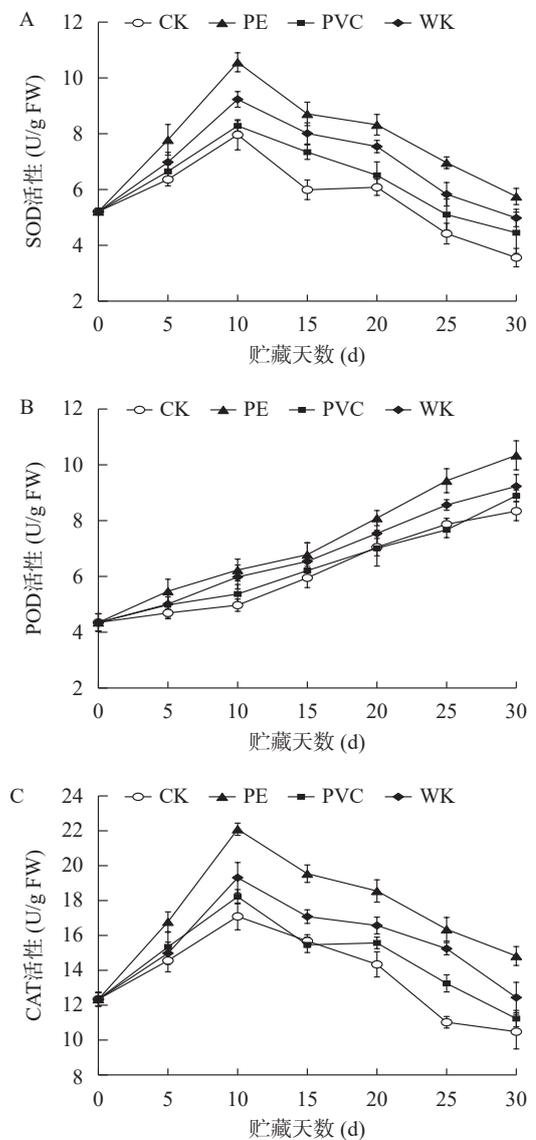


图 7 不同薄膜包装对火龙果 SOD(A)、POD(B) 和 CAT(C) 活性的影响

Fig.7 Effects of different film packaging on the SOD (A), POD (B) and CAT (C) activities of pitaya

2.8 各指标间的相关性分析

由表 1 可知，失重率与 TA、 V_C 含量呈极显著负

表1 火龙果果实各指标间的相关分析
Table 1 Correlation analysis of various indexes of pitaya fruits

指标	失重率	腐烂率	TSS	TA	可溶性蛋白	可溶性糖	V _C	GSH	O ₂ ⁻	MDA	SOD	CAT	POD
失重率	1.000												
腐烂率	0.941	1.000											
TSS	-0.977*	-0.908	1.000										
TA	-0.993**	-0.929	0.991**	1.000									
可溶性蛋白	-0.920	-0.976*	0.909*	0.923	1.000								
可溶性糖	-0.807	-0.948	0.740	0.776	0.892*	1.000							
V _C	-0.992**	-0.963*	0.980**	0.990**	0.935*	0.842	1.000						
GSH	0.981*	0.873	-0.968**	-0.982*	-0.849	-0.698	-0.967**	1.000					
O ₂ ⁻	0.952	0.829	0.238	-0.959	-0.819	-0.655	-0.935*	0.951*	1.000				
MDA	0.991**	0.949	-0.988**	-0.994**	-0.928*	-0.820	-0.997**	0.968*	0.955**	1.000			
SOD	-0.549	-0.786	0.493	0.521	0.765	0.917**	0.599	-0.390	-0.388	-0.577	1.000		
CAT	-0.463	-0.720	0.385	0.415	0.668	0.877*	0.519	-0.310	-0.265	-0.478	0.955*	1.000	
POD	0.971	0.983*	-0.965	-0.970*	-0.969*	-0.880*	-0.989**	0.926*	0.899**	0.983*	-0.682	-0.608*	1.000

注: *表示在0.05水平(双侧)显著相关; **在0.01水平(双侧)显著相关。

相关($P<0.01$), 相关系数分别为 0.993、0.992, 与 MDA 含量呈极显著正相关($P<0.01$)、TSS、GSH 显著相关($P<0.05$); 腐烂率与可溶性蛋白、V_C、POD 显著相关($P<0.05$), 相关系数均达到了 0.96 以上, TSS 与 TA 含量极显著正相关($P<0.01$), 其相关性系数为 0.991, TSS 和 TA 与 V_C、GSH、MDA 的含量均成极显著性相关($P<0.01$), 相关系数都达到了 0.968 以上; 可溶性蛋白与可溶性糖、V_C 呈显著正相关, 而与 MDA、POD 活性成显著负相关($P<0.05$); 可溶性糖与 SOD、CAT 和 POD 显著相关, 相关系数分别为 0.917、0.877、0.880; V_C 与 GSH、MDA 及 POD 活性均呈极显著负相关($P<0.01$), 各相关系数均达到了 0.96 以上; GSH 与 O₂⁻、MDA 及 POD 活性呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数分别为 0.951、0.968 和 0.926; O₂⁻ 与 MDA、POD 呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数为 0.955、0.899; POD 与 MDA、CAT 均呈显著相关($P<0.05$), 相关系数分别为 0.983 和 0.608。在贮藏过程中, 失重率、腐烂率作为评价火龙果品质的直观指标, TSS、TA、可溶性糖、可溶性蛋白、V_C 等作为评价火龙果品质的重要内在指标, 在贮藏前期 TSS、TA 及 V_C 含量高时, 火龙果的失重率、腐烂率都较低; 而贮藏后期随着 TSS、TA、V_C 等营养物质的下降, 与失重率、腐烂率呈现一种负相关的关系。当 TSS、TA、V_C 等营养物质含量都较高时表明火龙果果实品质较好, 果实新鲜度较高。MDA 和 O₂⁻ 可直接反映果实的衰老程度, MDA 和 O₂⁻ 与 POD 活性现一种正相关的关系, 表明 POD 对果实的成熟衰老贡献大于 SOD、CAT。

3 讨论与结论

薄膜包装可通过调控果实的呼吸速率, 进一步调控果实采后的新陈代谢, 最终影响果实的内在品质改变^[27]。糖作为呼吸作用的底物之一, 其含量的变化与果实的呼吸作用密切相关^[13], 可溶性糖、可溶性蛋白等渗透调节物质在植物抗冷害中对活性氧的产生

具有较好的清除作用^[28], 本试验研究发现, 薄膜包装处理在一定程度上抑制火龙果中可溶性糖和可溶性蛋白含量的降低, 其中 PE 薄膜包装处理效果较好, 且在整个贮藏过程中均表现出有效抑制果实中可溶性糖和可溶性蛋白含量的下降, 有助于保持火龙果果实采后品质。在本试验中, 3 种薄膜包装均有效抑制了火龙果的呼吸速率和可溶糖、TA、V_C 等营养物质的消耗, 这可能是薄膜包装袋内形成了高 CO₂ 和低 O₂ 的气体微环境, 从而降低了火龙果的采后代谢速率, 进而减少了火龙果中营养物质的消耗, 这与赵欢欢等^[13] 在樱桃番茄中研究结果一致。本研究发现, 在火龙果贮藏过程中, TSS 和 TA 含量下降, TSS/TA 上升, 这与王彬等^[29] 在常温贮藏条件下对火龙果生理品质的研究结果一致。TSS/TA 可作为判断果实的成熟度的指标之一, 果实的成熟伴随着固酸比的不断增大。与 CK 相比, 其它 3 种薄膜包装处理均能延缓固酸比的增加, 其中 PE 处理的火龙果固酸比增加最为缓慢, 表明火龙果衰老程度最轻, 贮藏效果最好。随着贮藏时间的延长, 火龙果果实的外观品质上表现为失水皱缩萎蔫以及褐变腐烂。CK 组火龙果的生理衰老特征主要表现为失重率与腐烂率显著上升, 与 CK 相比, PE、PVC、WK 3 组薄膜袋包装处理均能有效抑制果实失重率、腐烂率的上升, 说明薄膜包装具有维持果实较高的品质以及延缓果实衰老的作用。其中, PE 薄膜包装的保鲜效果最优, 其次是 WK, 最差为 PVC, 这与国崇文等^[30] 的研究结果相一致, 但与班兆军等^[31] 的研究结果不一致, 其结果表明 WK 最好, PVC 次之, PE 最差。其原因可能是试验材料生菜和火龙果生理特性差异较大、且所用薄膜保鲜袋厚度、透气性和透湿性不一致等多方面原因造成的。

生物膜过氧化是果实衰老的主要原因之一, 其膜脂过氧化产物会攻击细胞内生物膜系统, 导致膜结构被破坏丧失完整性, 从而影响细胞的正常功能^[32]。

MDA 的大量积累和 O_2^- 水平的高低会破坏酶促和非酶促清除活性氧系统的动态平衡^[33]。本研究结果表明薄膜包装处理有效抑制 O_2^- 的产生, 同时减少 MDA 的积累, 从而抑制火龙果细胞膜脂过氧化物的发生, 延缓果实衰老, 相似的结果也在荔枝^[34] 和芒果^[35] 中得到了证实。V_C 是一类具有较强还原性的抗氧化物质, 对多种活性氧自由基有较好清除的作用。GSH 与 V_C 共同作用, 清除活性氧自由基, 以提高植物机体的抗逆水平。贾晓辉等^[15] 研究发现, 自发气调包装可维持 V_C 和其它抗氧化物水平, 以减少氧化反应, 从而延缓果实抗氧化能力下降。本试验结果表明, PE 薄膜包装处理可较好地维持火龙果采后生理活性, 延缓果实衰老进程。

植物在逆境或衰老过程中细胞内的活性氧代谢会失去平衡, 从而有利于自由基生成, 而自由基的大量积累会加快细胞膜脂过氧化, 对细胞造成一定伤害, 减弱防御病原菌侵入的能力, 进而加速果实衰老^[36]。SOD、CAT 和 POD 等是植物组织中活性氧的清除酶。SOD 是清除活性氧系统中首个发挥作用的抗氧化酶, 也是清除自由基最主要的物质, 与 POD、CAT 等酶协同作用除去活性氧^[37]。POD 可以清除果实体内过 H_2O_2 的积累, 同时利用 H_2O_2 释放 O_2 参与酚类物质的氧化^[38]。CAT 协同参与清除和降低 H_2O_2 对膜系统的氧化伤害^[39]。在本试验中, 3 种薄膜包装处理均提高了火龙果中 SOD、POD 和 CAT 活性, 这与 Nayab 等^[37] 在日本李和 Ali 等^[38] 在荔枝中的研究结果类似。在贮藏过程中, 薄膜包装处理在一定程度上缓解了火龙果的成熟衰老, 有效维持果实品质, 表明火龙果在成熟衰老的过程中其变化情况与 SOD、POD 和 CAT 等酶活性关系密切, 相较而言 PE 薄膜包装对火龙果贮藏保鲜具有较好作用。

综上所述, 3 种薄膜包装均可降低火龙果果实失重率和腐烂率, 推迟呼吸高峰的出现, 维持较高的 TSS、TA、可溶性蛋白、可溶性糖、V_C 等营养物质含量, 减少 O_2^- 和 MDA 的积累, 提高保护酶 SOD、POD 和 CAT 的活性。其中 PE 薄膜包装保鲜效果最为显著, 其次为 WK, 最差为 PVC。PE 薄膜包装处理火龙果保鲜效果最佳, 使得其果实具备更佳的品质, 可以提高果实的食用价值和商品价值。本研究可为火龙果的贮藏保鲜的相关研究提供理论支持, 对火龙果产业的发展有着积极意义。

参考文献

[1] NERD A, MIZRAHII Y. Reproductive biology of cactus fruit crops[J]. Hort Rev, 1997(18): 321-324.
 [2] WU Q X, GAO H J, ZHENG Z G, et al. Deciphering the metabolic pathways of pitaya peel after postharvest red light irradiation[J]. Metabolites, 2020, 10(108): 1-20.
 [3] WU Q X, GAO H J, ZHENG Z G, et al. Effect of blue light on primary metabolite and volatile compound profiling in the peel of red-pitaya[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 160(11059): 1-13.

[4] HUA Q Z, CHEN C B, WANG H C, et al. Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2018, 126: 117-125.
 [5] 王宝森, 白红丽, 郭俊明, 等. 火龙果矿物元素含量分析[J]. 江苏农业科学, 2009(3): 313-314. [WANG B S, BAI H L, GUO J M, et al. Analysis of mineral elements in pitaya fruit[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2009(3): 313-314.]
 [6] 潘艳丽, 芮汉明, 林朝朋. 火龙果种仁营养成分的测定和评价[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2004, 3: 41-43. [PAN Y L, RUI H M, LIN C P. Determination and evaluation of the nutritive composition in the seed kernel of white pitaya[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2004, 3: 41-43.]
 [7] WU Q X, ZHANG Z K, ZHU H, et al. Comparative volatile compounds and primary metabolites profiling of pitaya fruit peel after ozone treatment[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99: 2610-2621.
 [8] 袁启凤, 严佳文, 张绿萍, 等. 不同贮藏温度对‘紫红龙’火龙果品质变化和生理代谢的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(4): 691-696. [YUAN Q F, YAN J W, ZHANG L P, et al. Effects of different storage temperature on the fruit quality, physiology and peel color of 'Zihong long' pitaya in Guizhou province[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2017, 32(4): 691-696.]
 [9] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 不同保鲜剂处理对火龙果贮藏品质和生理指标的影响[J]. 中国南方果树, 2020, 49(1): 75-80. [BA N J, LUO D L, CAO S, et al. Effect of different preservative treatments on storage quality and related physiological indexes of pitaya fruit[J]. South China Fruits, 2020, 49(1): 75-80.]
 [10] TEDEO P R M, CASTILLO K A T, SERRANO E P, et al. Physiological responses and storage quality of freshcut red and white dragon fruit (*Hylocereus* spp.) treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP)[J]. International Food Research Journal, 2018, 25(5): 2090-2098.
 [11] HERNANDEZ V, ROMAN G, AGUILAR S, et al. Cross-linking chitosan into hydroxypropylmethyl cellulose for the preparation of neem oil coating for postharvest storage of pitaya (*Stenocereus pruinosus*)[J]. Molecules, 2019, 24(2): 219.
 [12] SOUSA G, MARIA N. Integrative mathematical modelling for MAP design of fresh-produce: Theoretical analysis and experimental validation[J]. Food Control, 2013, 29(2): 444-450.
 [13] 赵欢欢, 周宏胜, 胡花丽, 等. 不同包装材料对樱桃番茄品质及果蒂保水护绿作用[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 209-216. [ZHAO H H, ZHOU H S, HU H L, et al. Effects of different packaging materials on the quality of cherry tomato, the water loss and color of the fruit sepal[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(9): 209-216.]
 [14] 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. [LIN Y Q, DENG H, LIU J Z, et al. Effects of different packaging materials combined with low temperature storage on quality of 'Baoyan-7' rambutan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(14): 186-191, 215.]
 [15] 贾晓辉, 王文辉, 佟伟, 等. 自发气调包装对库尔勒香梨采后

- 生理及贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4785-4796. [JIA X H, WANG W H, TONG W, et al. Effect of modified atmosphere packaging on postharvest physiology and quality of 'Korla Xiangli' pears during storage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(24): 4785-4796.]
- [16] JIAO J, GUO L, LIU H, et al. Effect of different packaging film thicknesses on chilling injury in postharvest 'Cuixiang' kiwifruit[J]. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2020, 7(49): 1-14.
- [17] 纪颖, 林河通, 蒋璇靓, 等. 不同保鲜薄膜袋包装对建阳桔柚贮藏保鲜效果的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(7): 1431-1439. [JI Y, LIN H T, JIANG X L, et al. Effects of different film bag packaging on storage behavior of 'Jiayang Tangelo' fruit[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(7): 1431-1439.]
- [18] YE J J, LI J R, HAN X X, et al. Effects of active modified atmosphere packaging on postharvest quality of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) stored at cold storage[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(3): 474-482.
- [19] 李江阔, 李雪, 薛友林, 等. 不同薄膜包装对黄花菜冷藏品质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 40-46. [LI J K, LI X, XUE Y L, et al. Effect of different film packaging on cold storage quality of daylily[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(9): 40-46.]
- [20] 石其宇, 董晓庆, 黄世安, 等. 草酸对采后'蜂糖李'果实品质和抗氧化代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 299-306. [SHI Q Y, DONG X Q, HUANG S A, et al. Effects of oxalic acid treatment on quality and antioxidant metabolism of postharvest fengtang plum fruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(15): 299-306.]
- [21] 曹建康, 赵玉梅, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007, 9: 34-41, 101-105, 154-156. [CAO J K, ZHAO Y M, JIANG W B. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007, 9: 34-41, 101-105, 154-156.]
- [22] 陈焯媚, 张坤, 陈福泉, 等. γ -PGA涂膜对采后黄金柰果实贮藏品质及呼吸代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 365-371. [CHEN Y M, ZHANG S, CHEN F Q, et al. Effect of γ -PGA coating on storage quality and respiratory metabolism of postharvest 'Golden Younai' plum fruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 365-371.]
- [23] 宋汉良, 张善英, 刘帅民, 等. 外源L-精氨酸对采后番木瓜果实冷害及品质影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 285-288, 294. [SONG H L, ZHANG S Y, LIU S M, et al. Effects of exogenous L-arginine treatment on chilling injury and quality of cold-stored Papaya fruits[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(8): 285-288, 294.]
- [24] GAO Y, KAN C N, WAN C P, et al. Quality and biochemical changes of navel orange fruits during storage as affected by cinnamaldehyde-chitosan coating[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 239: 80-86.
- [25] MA Y, HUANG D, CHEN C, et al. Regulation of ascorbate-glutathione cycle in peaches via nitric oxide treatment during cold storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 247: 400-406.
- [26] ZHANG Y, JIN P, HUANG Y P, et al. Effect of hot water combined with glycine betaine alleviates chilling injury in cold-stored loquat fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 118: 141-147.
- [27] 高愿军, 李建光, 张娟, 等. 鲜切苹果自发气调包装研究[J]. 中国农学通报, 2007(9): 166-170. [GAO Y J, LI J G, ZHANG J, et al. Research on modified atmosphere package of fresh-cut apples[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007(9): 166-170.]
- [28] WANG J, MAO L C, LI X W, et al. Oxalic acid pretreatment reduces chilling injury in hami melons (*Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.) by regulating enzymes involved in antioxidative pathways[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018: 241.
- [29] 王彬, 郑伟, 李胜海, 等. 不同贮藏温度对火龙果采后生理和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 429-432. [WANG B, ZHEN W, LI S H, et al. Effects of different storage temperature on postharvest physiology and quality of pitaya[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(2): 429-432.]
- [30] 国崇文, 魏宝东, 张鹏, 等. PE包装对西兰花贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 53-59. [GUO C W, WEI B D, ZHANG P, et al. Effect of PE packaging on the storage quality of broccoli[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(1): 53-59.]
- [31] 班兆军, 张晶琳, 袁秋萍, 等. 不同包装膜对生菜贮藏期品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 31-36. [BAN Z J, ZHANG J L, YUAN Q P, et al. Effects of different packing films on the quality of lettuce during storage[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(5): 31-36.]
- [32] WAN C, KAHRAMANOLU B, CHEN J, et al. Effects of hot air treatments on postharvest storage of newhall navel orange[J]. *Plants*, 2020, 9(2): 170.
- [33] LI Z H, ZHANG Y X, GE H B. The membrane may be an important factor in browning of fresh-cut pear[J]. *Food Chemistry*, 2017, 230: 265-270.
- [34] ALI S, KHAN A S, MALINK A U, et al. Modified atmosphere packaging delays enzymatic browning and maintains quality of harvested litchi fruit during low temperature storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 254: 14-20.
- [35] WEI S C, MEI J, XIE J. Effects of different carbon dioxide-modified atmosphere packaging and low-temperature storage at 13 °C on the quality and metabolism in mango (*Mangifera indica* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 11(636): 3-11.
- [36] KUMARI S, VAISHNAVA A, JAIN S. Bacterial-mediated induction of systemic tolerance to salinity with expression of stress alleviating enzymes in soybean (*Glycine max* L. Merrill)[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2015, 34(3): 558-573.
- [37] NAYAB S, RAZZAQ K, ULLAH S, et al. Genotypes and harvest maturity influence the nutritional fruit quality of mulberry[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 266: 109311.
- [38] ALI S, KHAN A, ANJUM M, et al. Effect of postharvest oxalic acid application on enzymatic browning and quality of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices[J]. *Food Chemistry*, 2020, 32: 106051-106058.
- [39] 黎春红, 张雷刚, 罗淑芬, 等. 不同聚乙烯薄膜包装对红椒贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 64-71. [LI C H, ZHANG L G, LUO S F, et al. Effects of different polyethylene film packages on storage quality of red pepper[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(3): 64-71.]