

纳他霉素结合 ϵ -聚赖氨酸对火龙果贮藏品质的影响

黎晓媚¹, 何雪梅^{2,3}, 李静¹, 戴涛涛^{3,4}, 王艳华¹, 李丽^{2,3}, 孙健^{3,4*}, 杜丽清⁵

(1. 桂林理工大学 化学与生物工程学院, 广西 桂林, 541006; 2. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 南宁 530007; 3. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 南宁 530007; 4. 广西壮族自治区农业科学院, 南宁 530007; 5. 农业农村部热带果树生物学重点实验室/中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091)

摘要: **目的** 探究纳他霉素与 ϵ -聚赖氨酸复配对火龙果贮藏品质的协同作用, 为火龙果保鲜技术提供参考。**方法** 以红肉火龙果为材料, 采用 3 个复配浓度 (纳他霉素与 ϵ -聚赖氨酸的复配比例为 1:1, 质量浓度分别为 400、800、1 200 mg/L, 分别记作处理 1、处理 2、处理 3) 处理火龙果, 于温度(25±2)℃、相对湿度(75±5)%下贮藏, 对火龙果的感官指标、内容物和抗氧化酶活性的变化进行分析。**结果** 贮藏 0~12 d, 与对照组相比, 3 个处理组的质量损失率明显降低, 降低幅度为 45.50%~57.06% ($P < 0.05$); 腐烂率明显降低, 降低幅度为 16.31%~38.30%; 硬度和 L^* 的降低幅度分别为 8.88%~21.02%、4.25%~6.24%; 可溶性固形物 (TSS) 含量和呼吸强度的降低幅度分别为 3.13%~11.79%、2.41%~46.76%。在贮藏 10 d 期间, 丙二醛 (MDA) 含量显著降低 (19.47%~33.98%); 超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 活性分别显著增加了 1.09%~27.59%、1.11%~32.77%。在贮藏 8 d 内, 过氧化氢酶 (CAT) 活性增加了 11.52%~36.19%; 在贮藏 12 d 时, 抗坏血酸过氧化氢酶 (APX) 活性显著提高了 1.73%~23.98%。**结论** 3 种处理均可延缓火龙果质量损失率和腐烂率的上升, 减缓果皮 L^* 和硬度的下降速度, 降低呼吸强度和 MDA 含量, 提高 SOD、CAT、POD、APX 活性。其中, 处理 1 (即 400 mg/L ϵ -PL+400 mg/L Natamycin) 更好地维持了火龙果的商业品质。

关键词: 火龙果; 纳他霉素; ϵ -聚赖氨酸; 贮藏品质; 酶活性

中图分类号: S59 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)17-0033-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.17.005

Effects of Natamycin Combined with ϵ -polylysine on Storage Quality of Pitaya

LI Xiao-mei¹, HE Xue-mei^{2,3}, LI Jing¹, DAI Tao-tao^{3,4}, WANG Yan-hua¹,
LI Li^{2,3}, SUN Jian^{3,4*}, DU Li-qing⁵

(1. College of Chemistry and Bioengineering, Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541006, China; 2. Agro-Food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning 530007, China; 4. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 5. Key Laboratory of Tropical Fruit Biology, Ministry of Agriculture & Rural Affairs/South Subtropical Crops Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Guangdong Zhanjiang 524091, China)

收稿日期: 2023-02-07

基金项目: 国家自然科学基金 (31860579); 广西自然科学基金创新团队项目 (2021GXNSFGA196001); 广西农业科学院基本科研业务费项目 (2021YT116)

ABSTRACT: The work aims to explore the synergistic effect of natamycin and ϵ -polylysine on the storage quality of pitaya to provide reference for the preservation technology of pitaya. The red-fleshed pitaya was used as the material, and the pitaya was treated with three compound concentrations (the ratio of natamycin to ϵ -polylysine was 1 : 1 and the concentrations were 400, 800 and 1 200 mg/L, respectively, which were recorded as treatment 1, treatment 2 and treatment 3, respectively), and stored at (25±2) °C and (75±5%) RH. The changes of sensory indexes, contents and antioxidant enzyme activities of pitaya were analyzed. The results showed that compared with the control group, the mass loss rate of the three treatment groups was significantly reduced by 45.50%-57.06% ($P<0.05$), and the decay rate was significantly reduced by 16.31%-38.30%. The hardness and L^* value of pitaya was decreased by 8.88%-21.02% and 4.25%-6.24%, respectively. The total soluble solids (TSS) content and respiratory intensity of pitaya were decreased by 3.13%-11.79% and 2.41%-46.76%, respectively. During storage of 10 d, the content of malondialdehyde (MDA) was decreased significantly by 19.47%-33.98%. The activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) were significantly increased by 1.09%-27.59% and 1.11%-32.77%, respectively. The activity of catalase (CAT) increased by 11.52%-36.19% within 8 d of storage. The activity of ascorbate catalase (APX) was significantly increased by 1.73%-23.98% at 12 d of storage. Comprehensive analysis shows that the three treatment groups can delay the increase of weight loss rate and decay rate of pitaya, slow down the decrease of peel L^* value and hardness, reduce respiratory intensity and MDA content, and increase SOD, CAT, POD and APX activities. Among them, treatment 1 (400 mg/L ϵ -PL+400 mg/L natamycin) can better maintain the commercial quality of pitaya.

KEY WORDS: pitaya; natamycin; ϵ -polylysine; storage quality; enzyme activity

火龙果是仙人掌科植物,原产于中美洲的热带雨林及沙漠地区^[1]。火龙果营养丰富,功能独特,果形诱人,深受消费者喜爱^[2]。作为我国新兴发展的水果产业,2019年火龙果种植面积约4万公顷,年产值约为150亿元^[3],广西的火龙果种植面积和产量均为全国第1名^[4]。火龙果的呼吸作用强、水分高,其鳞片易失水皱缩、萎蔫,腐烂速度较快,从而缩短了其贮藏时间,每年火龙果的损失率为20%~25%^[5],严重影响了火龙果产业的发展。为了延长火龙果的货架期,增加火龙果产业的收益,亟须安全、高效、经济的火龙果保鲜技术。

火龙果保鲜技术主要采用低温贮藏和化学防腐技术^[6]。低温贮藏保鲜技术和化学防腐保鲜技术能抑制火龙果采后病害,但存在成本昂贵、化学残留等缺点^[7]。火龙果的抗冷能力较弱,过低的温度会导致其出现冷害现象,在冬季低温保鲜的优势不突出^[8]。化学防腐保鲜剂有多菌灵、二氧化氯等,它们存在残留量高、易产生抗性、对人体健康有风险等缺点^[9]。

纳他霉素(Natamycin)和 ϵ -聚赖氨酸(ϵ -polylysine, ϵ -PL)在国际上获得了食品使用许可^[10]。Natamycin属于多烯类抗菌素,具有安全性高、剂量低且抗菌能力强等特点,已应用于苹果^[11]、樱桃^[12]的贮藏保鲜。 ϵ -PL是 ϵ 位点聚合多肽的聚合物,有25~30个赖氨酸^[13]。 ϵ -PL的抑菌范围较广、水溶性较好和稳定性较好,在赣南脐橙^[14]、鸡毛菜^[15]保鲜上有相关研究报道。

目前,Natamycin结合 ϵ -PL对火龙果的生物保鲜研究鲜见报道。Natamycin抑制霉菌的质量浓度为0.5~6 $\mu\text{g/mL}$,抑制酵母菌的质量浓度为1~5 $\mu\text{g/mL}$,

抑制桃吉尔菌的质量浓度为1~10 $\mu\text{g/mL}$ ^[16]。为了抑制病原菌或霉菌的生长,扩大抑菌范围,将Natamycin与抗菌剂结合使用成为研究热点,Natamycin与壳聚糖、1-甲基环丙烯联用较常见^[17]。文中实验以‘红宝龙’火龙果为研究对象,采用 ϵ -PL+Natamycin复配处理火龙果,分析火龙果品质的变化规律,探索复配保鲜对火龙果贮藏品质的协同作用,为火龙果贮藏的生物保鲜提供参考。

1 实验

1.1 材料

‘红宝龙’火龙果采摘于广西隆安县火龙果种植基地,在采摘后3 h内运回实验室,在(10±1)°C下预冷24 h,以去除田间热。挑选成熟度均一、无斑点的果实进行处理。

主要试剂: ϵ -PL、Natamycin,≥95%,上海源叶生物有限公司;SOD试剂盒、POD试剂盒、PPO试剂盒、CAT试剂盒,北京索莱宝科技有限公司。

主要仪器设备:CT3质构仪,上海人和科学仪器有限公司;CM-3600A分光测色计,柯尼卡美达(中国)投资有限公司;Sigma 3-18KS高速冷冻离心机,北京博励行仪器有限公司;H1650R离心机,长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司;UV-6100紫外/可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;UV-1800紫外/可见分光光度计,上海美析仪器有限公司;YP台式电子秤,上海佑科仪器仪表有限公司;日本Atago爱拓PAL-1/2/3便携式水果测糖仪;HH-2数显恒温水浴锅,常州普天仪器制造有限公司。

1.2 方法

将火龙果随机分为 4 组, 每组 33 个果实。对照组: 在蒸馏水中浸泡。处理 1: 400 mg/L ϵ -PL+400 mg/L Natamycin; 处理 2: 800 mg/L ϵ -PL+800 mg/L Natamycin; 处理 3: 1 200 mg/L ϵ -PL+1 200 mg/L Natamycin。每组浸泡 5 min, 充分晾干, 于温度(25±1)℃、相对湿度(75±5)%下贮藏。每 2 d 取样, 用液氮冷冻样品, 在-80℃超低温保存箱中保存备用。

质量损失率和腐烂率均参照巴良杰等的方法^[18], 用差量法计算果实的质量损失率, 分级判断火龙果的腐烂率。硬度参考刘瑞玲等^[19]的方法, 用 CT3 质构仪测试, 探头直径为 6 mm (TA41 探头), 在火龙果无鳞片的赤道处进行穿刺。采用分光测色计测量果皮的 L^* , L^* 为亮度, L^* 越大表明果实越鲜艳。采用便携式水果测糖仪测量可溶性固形物 (TSS) 含量。

呼吸强度、丙二醛 (MDA) 含量和抗坏血酸过氧化氢酶 (APX) 活性的测定参照曹建康等^[20]的方法。在干燥器中静置 0.5 h 后滴定, 以测量呼吸强度。在 450、532、600 nm 处测定吸光值, 表示 MDA 含量。在 290 nm 处测量吸光度, 表示 APX 活性。

参照试剂盒说明书, 分别于 560、240、470、410 nm

处测量吸光值, 表示超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO) 和过氧化氢酶 (CAT) 的活性。

1.3 统计分析

实验均重复 3 次。数据用 Excel 2010 统计, 结果用平均值±标准差表示。采用 SPSS 25.0 的 Duncan 检验差异性 ($P < 0.05$ 为差异性显著, $P > 0.05$ 为差异性不显著)。采用 Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 复配保鲜剂对火龙果质量损失率、腐烂率、果皮 L^* 和硬度的影响

如图 1a 所示, 火龙果的质量损失率呈现上升趋势。在贮藏 0~12 d, 对照组的质量损失率从 0 增至 14.44%, 且增长速度较快; 与对照组相比, 3 个处理组果实的质量损失率分别降低了 57.06%、55.40%、45.50% ($P < 0.05$, 下同)。其中, 处理 1 组果实的质量损失率最低。3 种处理方法不同程度地抑制了火龙果质量损失率的增加, 减缓了火龙果质量损失的速度, 保持了火龙果的商品价值。

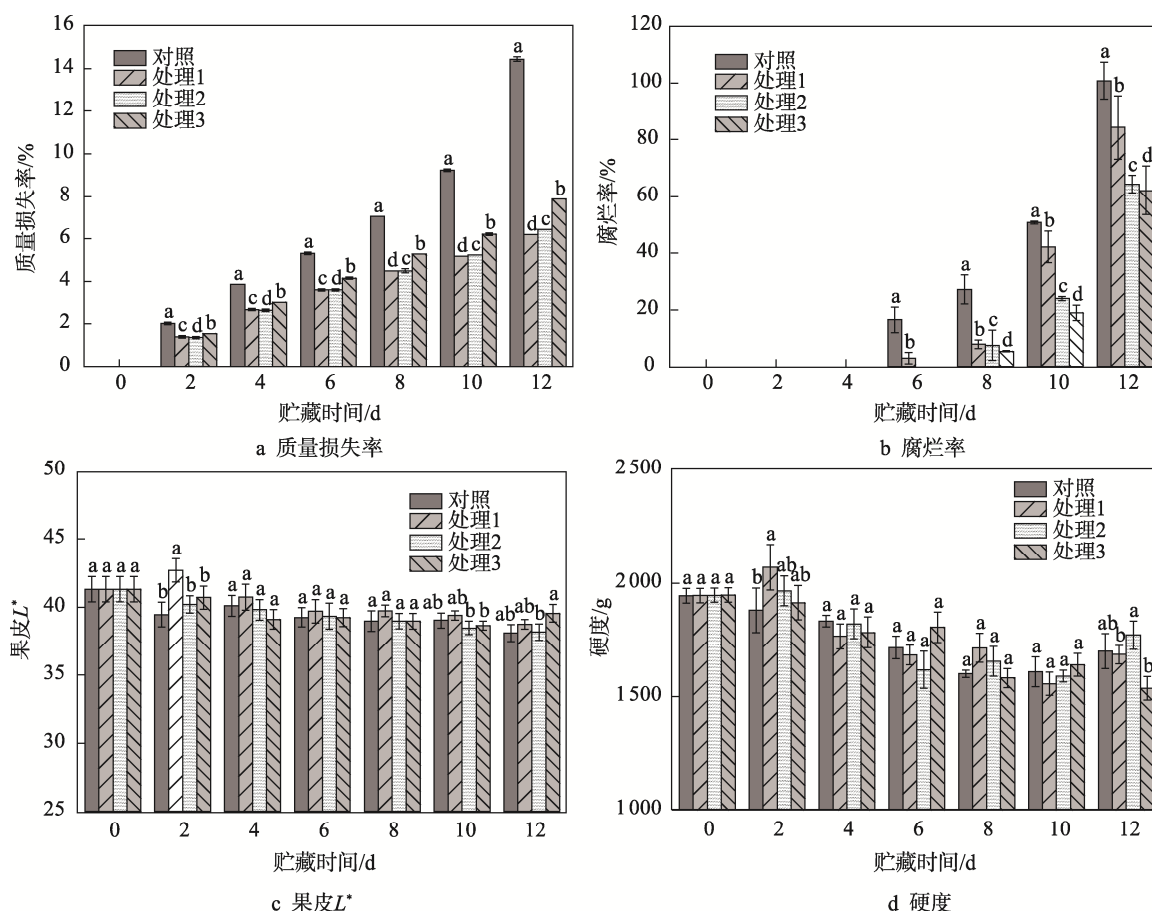


图 1 复配保鲜剂对火龙果质量损失率、腐烂率、果皮 L^* 、硬度的影响
Fig.1 Effects of compound preservatives on mass loss rate, decay rate, peel L^* value and hardness of pitaya

注: 同一贮藏时间图柱上小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

如图 1b 所示,火龙果的腐烂率总体呈上升趋势。在贮藏 12 d 时,对照组、处理 1 组、处理 2 和处理 3 组果实的腐烂率分别为 100%、84.29%、64.29%、62.14%。3 种处理方法均能显著降低果实的腐烂率,幅度约为 16%~38%。3 种处理均降低了火龙果的腐烂率,较好地保持了火龙果的商品价值。

如图 1c 所示,果皮 L^* 的变化呈逐渐下降趋势。在贮藏 2 d 时,处理 1 组果实的 L^* 出现最高峰,与对照组存在显著差异。在贮藏 4~8 d,各组果实表皮出现皱缩、颜色光泽暗淡等现象, L^* 的下降率平均在 1.92%,且各组的 L^* 差异不大 ($P>0.05$,下同)。在贮藏 0~12 d,对照组与 3 个处理组果实的果皮 L^* 的降幅分别为 7.77%、6.24%、7.60%、4.25%,对照组 L^* 的下降率较高,处理 3 组 L^* 的下降率较低。

如图 1d 所示,火龙果的硬度在贮藏期内呈现下降趋势。在贮藏 0~8 d,对照组火龙果硬度的下降速度较快,3 个处理组硬度的下降速度较缓慢。在贮藏 8 d 时,对照组和 3 个处理组果实硬度的降幅分别为 17.69%、11.81%、14.91%、18.78%,处理 1 组和处理 2 组的硬度略比对照组的硬度高,但差异不明显。

2.2 复配保鲜剂对火龙果 TSS 含量和呼吸强度的影响

TSS 含量是表征果蔬采收时间和耐贮藏性的重要指标^[21]。如图 2a 所示,火龙果的 TSS 含量呈现缓慢上升后下降的规律。在贮藏 2 d 时,3 个处理组果实的 TSS 含量均高于对照组。在贮藏 4~12 d,对照组和 3 个处理组果实的 TSS 含量的下降率分别为 4.06%、3.13%、6.47%、11.79%,处理 3 组 TSS 含量的下降率较高。在贮藏 12 d 时,处理 1 组果实的 TSS 含量与对照组的差异性不大。处理 1 组对 TSS 含量的维持效果较好,果实之间的呼吸代谢差异较大。

如图 2b 所示,火龙果的呼吸强度呈先上升再下

降再上升后下降的趋势。3 个处理组果实的呼吸强度均在贮藏 2 d 时达到最高峰,处理 2 组和处理 3 组果实的呼吸强度较高,这可能是因果实之间的呼吸代谢差异较大。在贮藏 2~6 d 时,对照组果实的呼吸强度的变化量为 45.99%,但在 6~8 d 时迅速上升,其变化量为 78.84%。在贮藏 8~12 d 时,对照组、处理 1 组、处理 2 组和处理 3 组果实的呼吸强度的变化率分别为 88.44%、16.48%、18.97%、45.17%,对照组的呼吸强度与 3 个处理组之间存在明显差异。在贮藏 12 d 时,对照组的呼吸强度显著低于 3 个复配保鲜组,这可能是火龙果在衰老腐烂过程中呼吸代谢减慢所致。

2.3 复配保鲜剂对火龙果中 MDA 含量的影响

MDA 是果蔬膜脂氧化的产物之一,将 MDA 作为脂质过氧化指标^[22],反映细胞膜脂过氧化的程度。如图 3 所示,火龙果的 MDA 含量整体上呈现先上升后下降的趋势。在贮藏 10 d 时,与对照组相比,3 个处理组果实的 MDA 含量显著降低了 19.48%~33.98%,处理 1 组的 MDA 含量在 10 d 和 12 d 分别显著下降了 40.06%、19.48%,且在 12 d 时显著低于其他处理组。

2.4 复配保鲜剂对火龙果酶活性的影响

SOD 广泛存在于动植物及微生物体内,是氧自由基的专一清除剂^[23]。如图 4a 所示,对照组果实的 SOD 活性在贮藏 4 d 时略有下降,此后缓慢上升,在 8~10 d 期间达到最大值。在贮藏 10 d 时,SOD 值从高到低依次是处理 2 组、处理 1 组、处理 3 组、对照组,3 个处理组果实的 SOD 活性均高于对照组。3 种复配浓度均可有效保持 SOD 活性,其中处理 1 组果实的 SOD 活性较稳定。

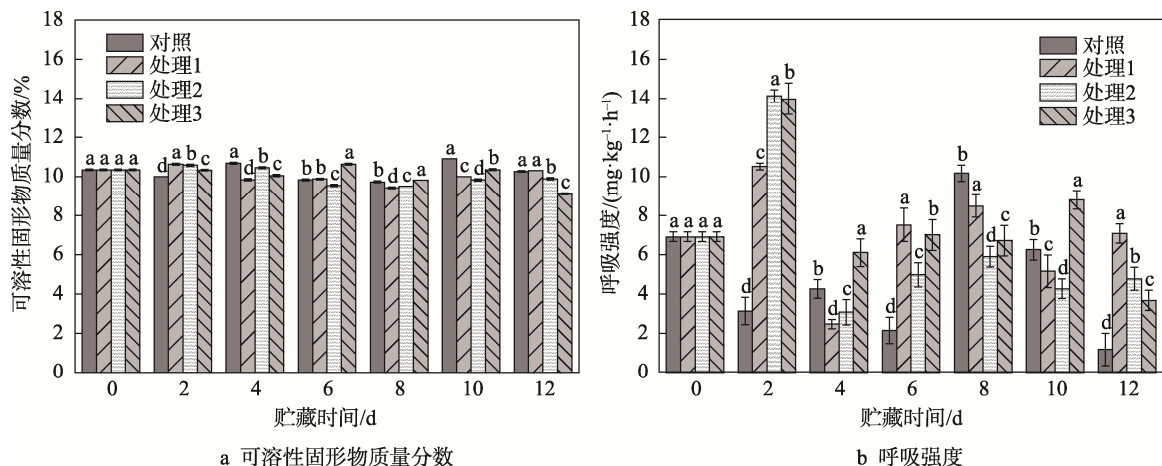


图 2 复配保鲜剂对火龙果 TSS 含量、呼吸强度的影响

Fig.2 Effects of compound preservatives on TSS content and respiration intensity of pitaya

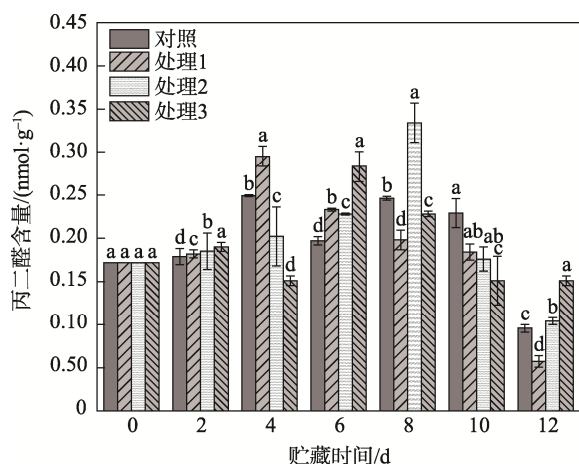


图 3 复配保鲜剂对火龙果 MDA 含量的影响
Fig.3 Effects of compound preservatives on MDA content in pitaya

CAT 是植物体内活性氧的抗氧化酶之一, CAT 活性的变化反映了植物的抗性^[24]。如图 4b 所示, CAT 活性整体呈现先上升后下降的趋势。在贮藏 0~6 d, 各组的 CAT 活性处于上升阶段; 在 6~12 d, 各组的 CAT 活性处于下降阶段。处理 3 组、对照组和处理 1 组分别在 2、4、6 d 达到峰值, 分别为 33.33、17.18、34.92 U/g。在贮藏 2~8 d, 3 个处理组果实的 CAT 活性明显高于对照组的 CAT 活性。说明复配保鲜剂能够提高 CAT 活性, 在一定程度上减缓了自由基的积

累, 延缓了火龙果的衰老进程。

POD 在植物组织内能消除细胞内的氧自由基, 起到延缓衰老的作用^[25]。如图 4c 所示, 火龙果的 POD 活性呈现先上升后下降的趋势。在贮藏 0~4 d, 各处理组果实的 POD 活性呈上升趋势。在贮藏 0~10 d 期间, 对照组和 3 个处理组果实 POD 活性的下降率分别为 37.04%、6.36%、31.48%、36.34%, 处理 1 组果实的 POD 活性下降幅度较缓慢。处理 1 在一定程度上维持了火龙果的 POD 活性。

PPO 能催化酚类物质产生褐变, 即褐变程度与 PPO 活性和含量存在密切关系^[26]。如图 4d 所示, 火龙果的 PPO 活性呈先下降再上升后下降的趋势。在贮藏 2~8 d 期间, 果实的 PPO 活性呈现上升的趋势。在贮藏 10~12 d 期间, 果实的 PPO 活性呈现下降趋势。在贮藏 10 d 时, 火龙果的 PPO 值从高到低依次是处理 1、处理 2、对照、处理 3, 从 PPO 活性来看, 3 个处理对火龙果果肉的抗褐变作用均不大。

APX 可以清除活性氧和减少自由基的积累, 起到保护植物正常生长的作用^[27]。如图 4e 所示, 果实的 APX 活性呈现先上升后下降的趋势。对照组和处理组的 APX 活性在贮藏 4 d 时出现最大值, 组间差异性不大。在贮藏 12 d 时, 与对照组相比, 3 个处理组果实的 APX 活性显著增加了 1.74%~23.98%, 且处理 1 和处理 2 维持火龙果 APX 活性的效果更好。

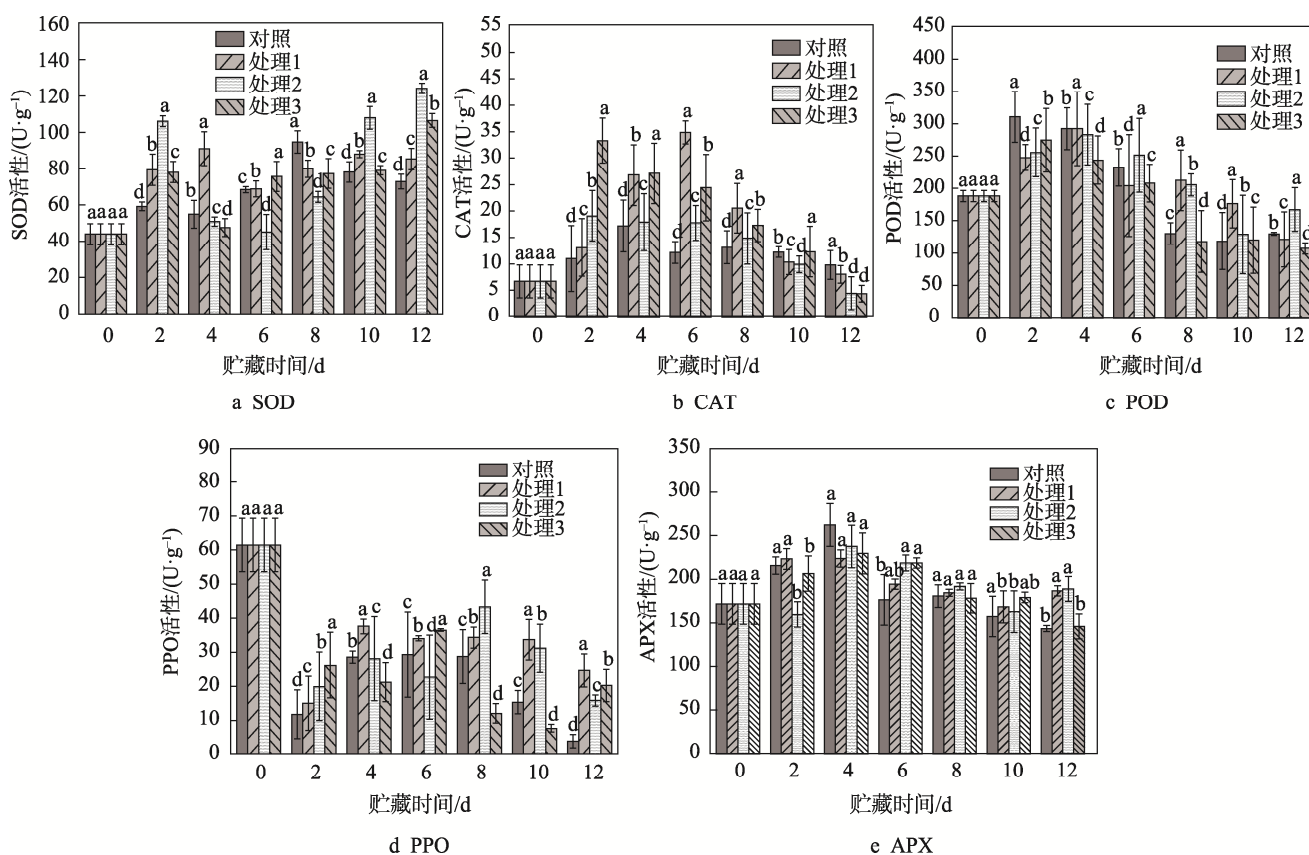


图 4 复配保鲜剂对火龙果 SOD、CAT、POD、PPO 和 APX 活性的影响
Fig.4 Effects of compound preservatives on activities of SOD, CAT, POD, PPO and APX in pitaya

3 讨论

随着贮藏时间的延长,火龙果的表皮逐渐暗淡、鳞片皱缩黄化、果实变软。此次实验结果表明,3种处理均延缓了火龙果质量损失率的上升,推迟了果实的衰老腐烂进程,说明复配保鲜剂对火龙果水分流失和果实腐烂具有抑制作用,与巴良杰等^[3]的研究结果基本一致。果皮 L^* 持续下降,各组之间 L^* 的差异性不大,与朱缘君^[28]研究的 L^* 变化结果一致,这可能是因火龙果在衰老期间果皮颜色的差异不明显。处理1组果实的 TSS 含量基本与对照组持平,这可能是因火龙果在腐败后 TSS 含量变化不大。3个处理组的呼吸强度在贮藏2d时出现高峰,这与文献^[3]的呼吸强度结果存在差异,但在贮藏后期,处理1和处理2对火龙果呼吸强度具有一定抑制作用。随着果实的腐败,MDA 含量逐渐增加,处理1和处理2减少了火龙果 MDA 含量的积累,这与巴良杰等^[21]的研究结果一致,均抑制了 MDA 含量的上升。

果实体内自由基产生和清除的能力被破坏,这加速了果实在贮藏期间的衰老速度,SOD、POD、CAT等抗氧化酶对果蔬体内自由基进行清除,减缓了果蔬的衰老^[29]。此次实验的贮藏后期,3个处理组的 SOD 活性维持在较高水平,这与杜冬冬等^[30]的研究结果一致。处理1推迟了 CAT 活性高峰的出现,这与刘娟^[31]的研究结果一致。POD 活性越高,对应的 MDA 含量越低,处理1组和处理2组果实的 POD 活性与 MDA 含量的变化相对应,本实验中 POD 活性的变化与外源水杨酸提高樟子松的 POD 等抗氧化酶活性的变化一致,均有效降低了 MDA 含量的积累^[32];3种复配处理方法均延缓了 POD 活性峰值的出现,减轻了氧自由基对火龙果的危害。对照组果实的 PPO 活性低于3个处理组,在贮藏末期处理3组果实的 PPO 活性略低于对照组,这可能因复配保鲜剂与氯化钙、乙二胺四乙酸等抑制剂的作用一致,对 PPO 的抑制效果较小,导致 PPO 活性较高^[33]。高活性 APX 减轻了氧化物对火龙果细胞膜的损害,对照组和3个处理组火龙果的 APX 活性均在贮藏4d时出现峰值,在贮藏后期处理1组和处理2组果实的 APX 活性仍维持在较高水平。

4 结语

ϵ -PL+ Natamycin 复配保鲜突破了 Natamycin 或 ϵ -PL 的单一抑菌局限。此次实验对比了3种复配浓度对火龙果的保鲜效果,结果表明, ϵ -PL 和 Natamycin 对火龙果品质的保持具有一定的协同作用,减少了火龙果的质量损失和 MDA 积累,减缓了色度 L^* 的下降、火龙果软化的速度,提高了抗氧化酶活性,较好地维持了火龙果的贮藏品质。其中处理1的综合保鲜效果

较好,更适宜于火龙果保鲜。 ϵ -PL+ Natamycin 对火龙果的协同作用还需通过能量代谢或者分子生物学实验进行深度探索。

参考文献:

- [1] NIZAML OĞLU N M, ÜNVER A, KADAKAL Ç. Mineral Content of Pitaya (*Hylocereus Polyrhizus* and *Hylocereus Undatus*) Seeds Grown in Turkey[J]. Erwerbs-Obstbau, 2021, 63(2): 209-213.
- [2] ARIVALAGAN M, KARUNAKARAN G, ROY T K, et al. Biochemical and Nutritional Characterization of Dragon Fruit (*Hylocereus* Species)[J]. Food Chemistry, 2021, 353: 129426.
- [3] 巴良杰,曹森,吉宁,等. 纳他霉素处理对火龙果贮藏品质的影响[J]. 中国果树, 2021(2): 26-30.
BA Liang-jie, CAO Sen, JI Ning, et al. Effect of Natamycin on the Storage Quality of Pitaya Fruit[J]. China Fruits, 2021(2): 26-30.
- [4] 钱开胜. 广西南宁举办第五届中国火龙果产业高质量发展大会[J]. 中国果业信息, 2020, 37(10): 59.
QIAN Kai-sheng. Guangxi Nanning held the 5th China Dragon Fruit Industry High Quality Development Conference[J]. China Fruit News, 2020, 37(10): 59.
- [5] 罗恩锡,李真琴,洪克前,等. 短波紫外线照射对‘金都’火龙果采后保鲜的影响[J]. 亚热带植物科学, 2021, 50(5): 353-359.
LUO En-xi, LI Zhen-qin, HONG Ke-qian, et al. Effect of UV-C Irradiation on Preservation of *Hylocereus Polyrhizus* 'Jindu' Fruits[J]. Subtropical Plant Science, 2021, 50(5): 353-359.
- [6] 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 Bin, ZHENG Wei, LI Sheng-hai, 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.
- [7] 裴少培. 香芹酚的抑菌效果及其在火龙果保鲜技术中的应用[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2020: 1-4.
PEI Shao-pei. Antibacterial Effect of Carvacrol and Its Application in the Preservation Technology of Pitaya[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2020: 1-4.
- [8] 李英. 海南红心火龙果不同保鲜技术的研究[D]. 海口: 海南大学, 2019: 4-7.
LI Ying. Study on Different Preservation Techniques of Hainan Red Heart Dragon Fruit[D]. Haikou: Hainan

- University, 2019: 4-7.
- [9] 姜爱丽, 胡文忠, 李慧, 等. 纳他霉素处理对采后甜樱桃生理代谢及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 351-356.
- JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, LI Hui, et al. Effect of Natamycin Treatment on Physiological Metabolism and Quality of Postharvest Sweet Cherry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(12): 351-356.
- [10] ALI SHAH A, QIAN Chen, WU Juan-zi, et al. Effects of Natamycin and *Lactobacillus Plantarum* on the Chemical Composition, Microbial Community, and Aerobic Stability of *Hybrid Pennisetum* at Different Temperatures[J]. RSC Advances, 2020, 10(15): 8692-8702.
- [11] 杨德山, 骆健美, 徐广宇, 等. 纳他霉素防治苹果贮运期病害的初步研究[J]. 中国植保导刊, 2006, 26(10): 11-13.
- YANG De-shan, LUO Jian-mei, XU Guang-yu, et al. Preliminary Study on Controlling Apple Diseases during Its Transportation and Storage by the Treatment of Natamycin[J]. China Plant Protection, 2006, 26(10): 11-13.
- [12] 陈东杰, 姜沛宏, 程丽林, 等. 生物保鲜剂对樱桃贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1): 9-13.
- CHEN Dong-jie, JIANG Pei-hong, CHENG Li-lin, et al. Effect of Bio-Preservative on Storage Quality of Cherry[J]. Storage and Process, 2019, 19(1): 9-13.
- [13] 宋遵阳. 乳酸链球菌素、 ϵ -聚赖氨酸和壳聚糖的联合使用对鲜切胡萝卜白化现象的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016: 10-11.
- SONG Zun-yang. Combination of Nisin and ϵ -Polylysine with Chitosan Coating on White Brush of Fresh-Cut Carrots[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016: 10-11.
- [14] 陈秋映, 杨美艳, 高向阳, 等. ϵ -聚赖氨酸对赣南脐橙保鲜效果的研究[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 143-147.
- CHEN Qiu-ying, YANG Mei-yan, GAO Xiang-yang, et al. Effect of E-Polylysine on Gannan Navel Orange Preservation[J]. The Food Industry, 2021, 42(12): 143-147.
- [15] 韩扬, 朱成志, 李沁雨, 等. ϵ -聚赖氨酸复合保鲜剂对鸡毛菜品质及微生物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(18): 205-212.
- HAN Yang, ZHU Cheng-zhi, LI Qin-yu, et al. Effects of ϵ -polylysine Compound Preservatives on Quality and Microorganism of Brassica Rapa L Chinensis Group[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(18): 205-212.
- [16] 汪慧, 顾小炼, 余天, 等. 纳他霉素联合抗菌及活性包装应用分析[J]. 武汉轻工大学学报, 2018, 37(5): 6-12.
- WANG Hui, GU Xiao-lian, YU Tian, et al. Review on the Application of Combined Antibacterial and Active Packaging of Natamycin[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2018, 37(5): 6-12.
- [17] 李慧芸, 李蒙蒙, 余琼, 等. 纳他霉素结合壳聚糖保鲜对鲜食核桃霉变及采后生理的影响[J]. 农产品加工, 2019(1): 23-26.
- LI Hui-yun, LI Meng-meng, YU Qiong, et al. Effect of Natamycin Combined with Chitosan on Mildew and Physiological and of Fresh Walnut[J]. Farm Products Processing, 2019(1): 23-26.
- [18] 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相关生理指标的影响[J]. 中国南方果树, 2020, 49(1): 75-80.
- BA Liang-jie, LUO Dong-lan, CAO Sen, et al. Effects of different preservative treatments on storage quality and related physiological indexes of dragon fruit[J]. South China Fruits, 2020, 49(1): 75-80.
- [19] 刘瑞玲, 潘旭婕, 吴伟杰, 等. 红肉火龙果采后品质劣变及苹果酸代谢研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 300-308.
- LIU Rui-ling, PAN Xu-jie, WU Wei-jie, et al. Studies on Quality Deterioration and Organic Acid Metabolism of Red Pitaya during Storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5): 300-308.
- [20] 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: 152-156.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Post-harvest Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 152-156.
- [21] 巴良杰, 罗冬兰. 赤霉素处理对火龙果贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 12-17.
- BA Liang-jie, LUO Dong-lan. Effect of Gibberellic Acid Treatment on Storage Quality of Pitaya[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(13): 12-17.
- [22] 张新. 壳聚糖+纳他霉素复合处理对梅杏贮藏品质及生理的影响[D]. 石子河: 石子河大学, 2016: 16-25.
- ZHANG Xin. Effect of chitosan and natamycin combine treatments plum apricot fruit quality and physiology[D]. Shihezi: Shihezi University, 2016: 16-25.
- [23] 许雅娟, 胡虹. 果蔬组织中超氧化物歧化酶活力的测定[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2006, 32(4): 742-744.

- XU Ya-juan, HU Hong. The Activity Measurement of Superoxide Dismutase in the Tissue of Vegetables and Fruits[J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2006, 32(4): 742-744.
- [24] 刘树泽, 代惠芹, 刘晨霞, 等. 不同熏蒸保鲜剂对‘巨峰’葡萄抗氧化能力的影响[J]. 北方园艺, 2022(1): 94-100.
- LIU Shu-ze, DAI Hui-qin, LIU Chen-xia, et al. Effects of Different Fumigant Preservatives on Antioxidant Capacity of 'Kyoho' Grape[J]. Northern Horticulture, 2022(1): 94-100.
- [25] 玉新爱. 涂膜保鲜剂对火龙果贮藏品质及生理生化变化的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 43-45.
- YU Xin-ai. Effects of coating Treatments on quality and postharvest physiology of pitaya[D]. Nanning: Guangxi University, 2015: 43-45.
- [26] 崔晓颖, 彭新颜, 贺红军, 等. 芋头多酚氧化酶的分离纯化与酶学特性[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 107-115.
- CUI Xiao-ying, PENG Xin-yan, HE Hong-jun, et al. Separation, Purification and Enzymatic Characterization of Polyphenol Oxidase from Taro[J]. Food Science, 2021, 42(12): 107-115.
- [27] 魏航, 郑言, 郭森. APX 和 SOD 对佛手瓜和南瓜耐水涝和耐低温的影响[J]. 分子植物育种, 2023, 21(14): 4762-4769.
- WEI Hang, ZHENG Yan, GUO Miao. Effects of APX and SOD on Waterlogging and Low Temperature Tolerance of *Sechium Edule* and *Cucurbita Moschata*[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(14): 4762-4769.
- [28] 朱缘君. 火龙果低温贮藏过程中的品质动态变化研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 17-19.
- ZHU Yuan-jun. Quality Changes in Pitaya during Storage at Low Temperature[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016: 17-19.
- [29] LIN Yi-fen, HU Yong-hua, LIN He-tong, et al. Inhibitory Effects of Propyl Gallate on Tyrosinase and Its Application in Controlling Pericarp Browning of Harvested Longan Fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(11): 2889-2895.
- [30] 杜冬冬, 钟荣彬, 黄耀豪, 等. 三种杀菌剂对火龙果采后生理和品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(1): 14-20.
- DU Dong-dong, ZHONG Rong-bin, HUANG Yao-hao, et al. Effects of Three Kinds of Fungicides on Postharvest Physiology and Quality of Pitaya Fruits[J]. Storage and Process, 2018, 18(1): 14-20.
- [31] 刘娟. 贮藏温度与热处理对鲜切火龙果贮藏品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2017: 27-28.
- LIU Juan. Effects of Storage Temperature and Heat Treatment on Storage Quality of Fresh-Cut Dragon Fruit[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017: 27-28.
- [32] 冯海华. 水杨酸对 NaCl 胁迫樟子松抗氧化酶活性及 MDA 含量的影响[J]. 河北林业科技, 2020(1): 1-5.
- FENG Hai-hua. Effect of Salicylic Acid on Antioxidant Enzyme Activity and MDA Content of *Pinus Sylvestris* Var. *mongolica* Litv under NaCl Stress[J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2020(1): 1-5.
- [33] 李敏, 刘磊, 郭玉蓉, 等. 马铃薯多酚氧化酶的特性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 189-192.
- LI Min, LIU Lei, GUO Yu-rong, et al. Properties of Polyphenol Oxidase Extracted from Potato[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 40(2): 189-192.

责任编辑: 彭颖