

低压静电场结合包装对采后樱桃番茄品质的影响

曾敏, 王军*

(江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究常温环境下低压静电场 (Low Voltage Electrostatic Field, LVEF) 结合不同商业包装处理对樱桃番茄果实贮藏品质的影响, 探索基于 LVEF 处理的樱桃番茄采后常温货架期间适宜的商业包装方式。**方法** 待测樱桃番茄随机分为 LVEF 处理组、LVEF+PP 组、LVEF+PET 组和无任何处理的对照组, 在温度为 (23 ± 1) °C 和相对湿度为 75% 的同一培养箱中储存 16 d, LVEF 处理在整个储存期内持续进行, 定期测定樱桃番茄在贮藏期间的品质变化。**结果** LVEF 处理能抑制质量损失率和丙二醛含量的上升, 同时减缓亮度、硬度、可溶性固形物、可滴定酸、抗坏血酸和番茄红素含量的下降。在 LVEF 贮藏环境下, PET 包装在采后樱桃番茄的质量、硬度、色度、可溶性固形物和抗坏血酸等质量指标方面优于 PP 包装和未包装的樱桃番茄。**结论** LVEF 处理对采后樱桃番茄有一定保鲜效果, 且在 LVEF 贮藏环境下, PET 包装樱桃番茄比 PP 包装的保鲜效果更好。

关键词: 樱桃番茄; 低压静电场; 包装; 品质

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)17-0025-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.17.004

Effects of Low Voltage Electrostatic Field Combined with Packaging Treatment on Quality of Postharvest Cherry Tomatoes

ZENG Min, WANG Jun*

(Jiangnan University, Jiangsu Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of low voltage electrostatic field (LVEF) combined with different commercial packaging treatments on the storage quality of cherry tomatoes to explore the LVEF-based suitable commercial packaging ways of postharvest cherry tomatoes kept on shelves at room temperature. Cherry tomatoes were kept under 3 conditions, unpacked, PP cling bags and PET cling boxes, and then stored at LVEF, (23 ± 1) °C and 75% relative humidity for 16 d, while cherry tomatoes without packaging nor LVEF treatment were used as controls. The LVEF treatment worked continuously during the whole storage period. The quality change of cherry tomatoes during storage was measured periodically. The results showed that LVEF treatment slowed down the increase in weight loss rate and malondialdehyde content and inhibited the decrease in brightness, hardness, soluble solids, titratable acid, ascorbic acid and lycopene. Under LVEF storage conditions, cherry tomatoes in PET cling boxes outperformed those in PP cling bags and without packaging in terms of weight, hardness, color, soluble solids and ascorbic acid. In conclusion, LVEF treatment is effective in preserving postharvest cherry tomatoes, and PET cling boxes have better preservation effect on cherry tomatoes under LVEF storage conditions than PP cling bags.

KEY WORDS: cherry tomato; low voltage electrostatic field (LVEF); packaging; quality

樱桃番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 又名圣女果、小番茄, 属茄科番茄属的变种。樱桃番茄富含蛋白质、钾、钙等多种矿物质和多种维生素^[1]。另外, 樱桃番茄还含有丰富的番茄红素和酚类物质, 具有极高的抗氧化活性^[2]。但樱桃番茄属于呼吸跃变型果实, 在运输、贮藏、销售中感官品质与营养价值会加速恶化^[3]。因此, 需要进行适当的采后处理, 以保持新鲜樱桃番茄的贮藏品质。

目前, 包括冷藏保鲜技术、气调保鲜技术、涂膜保鲜技术、超声波处理、热处理、辐照处理和化学保鲜剂处理等在内的多种保鲜手段, 在采后樱桃番茄的保鲜上进行了研究^[4]。但这些方法仍有很多局限, 如低温冷藏易造成樱桃番茄发生冷害、产生异味^[5]; 而化学保鲜剂保鲜则容易引起食品安全问题, 不符合绿色无添加的理念^[6]; 辐照处理和超声波处理技术则面临成本高、操作困难、存在安全隐患等问题^[7]。

低压静电场 (Low Voltage Electrostatic Field, LVEF) 是一种非热的物理保鲜技术, 具有成本低、安全性高、节能环保等优点, 在肉类和果蔬的保鲜方面具有较大作用。果蔬是一种生物体, 它内部本身存在固有电场, LVEF 处理通过造就外部电场环境来改变果蔬内部固有电场, 从而使果蔬表现为某些生理上的变化^[8]。张浩宇等^[9]发现 LVEF 可以抑制灵武长枣的呼吸作用。何定芬等^[10]也发现 LVEF 结合低温处理可以明显缓解爱媛橙在贮藏期间的品质下降。此外, LVEF 处理应用于舟山杨梅^[11]、水蜜桃^[12]、草莓^[13]和红梅杏^[14]等水果的保鲜上, 也展现了良好的效果。

合适的商业包装不仅便于消费者购买, 提升商品的附加价值, 还能隔离有害微生物, 一定程度上降低果蔬生理代谢速度, 进而达到保鲜的效果^[15]。本文以樱桃番茄为实验材料, 分别结合商业 PP 保鲜袋和 PET 保鲜盒进行包装处理, 然后进行 LVEF 处理; 以不包装也不进行静电场处理为对照组, 探讨 LVEF 对采后樱桃番茄品质的影响, 并筛选出合适 LVEF 贮藏环境下的商业包装方式, 对延长樱桃番茄货架期、选择适用于基于 LVEF 处理的樱桃番茄的商业包装方式提供依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 樱桃番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.), 品种为千禧, 于 2022 年 4 月 25 日采自江苏省江阴市青阳镇。挑选无机械损伤、大小均匀、完全转色的红熟期樱桃番茄, 采后立即运往实验室。商业 PP 保鲜袋, 规格为 27 cm×21 cm, 双面共开 16 个直径为 0.5 cm 圆形透气孔, 由万家塑业包装有限公司生产提供; 商业 PET 保鲜盒, 规格为 17.5 cm×13.5 cm×7.5 cm, 暗卡扣设计, 上盖共开 10 个直径为 0.5 cm 圆形透气

孔, 由河北博瑞塑业有限公司生产提供。

主要仪器: AX124ZH/E 电子天平, 奥豪斯仪器 (常州) 有限公司; TMS-Pro 质构仪, 美国 FTC 公司; CR-400 色差仪, 日本柯尼卡美能达公司; PAL-BX/ACID F5 糖酸度计, 日本 ATAGO 公司; UV-1800 紫外分光光度计, 日本岛津国际贸易公司; LC-LX-HR165A 高速冷冻离心机, 上海力辰邦西仪器科技有限公司; HWS-12 恒温水浴锅, 上海一恒科技有限公司; KTHA-215TBS 恒温恒湿箱, 昆山庆声电子科技有限公司; 定制静电场装置, 无锡博亚电子科技有限公司。

1.2 实验设计

将樱桃番茄果实随机分为 4 组: 对照组, 既不包装也不施加 LVEF; LVEF 组, 不包装, 仅施加 LVEF; LVEF+PP 组, 用 PP 保鲜袋包装后施加 LVEF; LVEF+PET 组, 用 PET 保鲜盒包装后施加 LVEF。LVEF 实验系统由直流电源、导线和 2 块镀铜电极板组成。直流电源的输出电压为 600 V, 上下极板之间的距离为 10 cm。4 组均在温度为 (23±1) °C 和相对湿度为 75% 的同一培养箱中储存 16 d, LVEF 系统在整个储存期内持续工作。在第 0、1、4、7、10、13 和 16 天随机选择樱桃番茄果实进行分析, 所有实验均重复 3 次。

1.3 测定方法

1.3.1 质量损失率

每组固定 20 个樱桃番茄作为质量损失率测量对象, 每 3 d 用电子天平测量一次质量, 每次测量都使用相同的樱桃番茄。质量损失率用质量损失差值与番茄果实初始质量的质量分数 (%) 表示。

1.3.2 硬度

硬度通过质构仪的穿刺程序确定。使用一个 50 N 的称重传感器和一个直径为 2 mm 的不锈钢圆柱形探针, 用刀片削去樱桃番茄的赤道区的表皮, 并选择 3 个距离相等的位点进行穿刺。穿刺距离为 8 mm, 穿刺速度为 300 mm/s。每组处理随机选取 6 个水果样品进行测定, 记录力与穿刺距离曲线, 取最大峰值力 (N) 作为硬度指标。

1.3.3 色度值

色度值采用色差仪测定。每组固定 20 个樱桃番茄作为色度值测量对象, 每次测量都在相同的位置测量色度值。 L^* 值表示明度, L^* 越大果实表皮越亮; a^* 值表示红绿程度, 数值越大表示越红, 越小表示越绿。

1.3.4 可溶性固形物

使用糖酸度计测定可溶性固形物 (Total Soluble Solids, TSS) 含量。每组取 3 颗水果样品均质后过滤, 滤液用于 TSS 的测定。TSS 表示为番茄汁的质量分数 (%), 每次操作均重复 3 次, 结果取 3 次测定

的平均值。

1.3.5 可滴定酸

使用糖酸度计测定可滴定酸 (Titratable Acid, TA) 含量。每组取 3 颗水果样品均质后过滤, 取 1.0 mL 滤液用蒸馏水稀释至 50 mL, 用以测量样品的 TA。TA 表示为番茄汁中苹果酸的质量分数 (%), 每次操作均重复 3 次, 结果取 3 次测定的平均值。

1.3.6 抗坏血酸

参考 Xu 等^[13]的紫外分光光度计法测定抗坏血酸 (Ascorbic Acid, AsA) 的含量, 结果以 mg/kg 表示。

1.3.7 总酚

参考 Jagadeesh 等^[16]的紫外分光光度计法测量总酚含量, 结果表示为没食子酸当量, 单位为 g/kg。

1.3.8 番茄红素

参考 Sun 等^[17]的紫外分光光度计法测定番茄红素的含量, 结果以 mg/kg 表示。

1.3.9 丙二醛

参考 Chen 等^[18]的紫外分光光度计法测定丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量, 结果以 $\mu\text{mol/g}$ 表示。

1.4 实验数据处理方法

所有实验至少重复 3 次, 采用 Excel 2016 对数据进行整理, 并利用 IBM SPSS Statistics 26 软件对数据进行统计分析, 采用 Origin 2018 进行绘图。实验数据以平均值 $\pm$ 标准差表示, 采用单因素 ANOVA 法分析数据间差异性, $P < 0.05$ 为差异显著, 在图中用不同小写字母表示。

2 结果与分析

2.1 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄质量损失率和硬度的影响

采后水果在储存过程中的质量损失主要是由蒸

腾和呼吸过程引起的。各组樱桃番茄的质量损失率变化如图 1a 所示, 随着贮藏时间的延长, 对照组和处理组的质量损失率均显著增加。贮藏 4 d 前对照组与 LVEF 处理组的质量损失率无显著性差异 ($P > 0.05$), 贮藏 4 d 至贮藏期结束, 对照组的质量损失率显著高于 LVEF 处理组的 ($P < 0.05$)。贮藏期结束时, 对照组樱桃番茄的质量损失率比 LVEF 组的高 16.9%, 比 LVEF+PP 组的高 7.8%, 比 LVEF+PET 组的高 31.2%。这可能是因为 PET 保鲜盒在顶部打孔, 既不干扰静电场发挥作用, 又可以阻止水分的过度散失, 而 PP 保鲜袋在两侧开孔, 减弱了静电场的作用。

硬度是反映水果新鲜度的重要指标, 直接影响水果的商业价值和消费者接受度^[19]。采后果实的软化主要是由于细胞壁结构和组分的分解, 细胞壁组分主要分为纤维素、半纤维素、果胶和蛋白质, 而包含果胶酶、纤维素酶等在内的细胞壁降解酶则催化细胞壁组分的分解过程^[20]。有研究表明, 静电场处理可以降低细胞壁降解酶的活性, 从而延缓果实硬度下降^[13]。如图 1b 所示, 各组樱桃番茄的硬度在贮藏过程中逐渐降低。在整个贮藏期内, LVEF 处理的 3 组樱桃番茄的硬度整体高于对照组的, 但贮藏前 4 d 对照组与 LVEF 处理组的硬度无显著性差异 ($P > 0.05$); 贮藏 4 d 至贮藏期结束, 对照组的硬度损失显著高于 LVEF 处理组的 ($P < 0.05$)。

这些结果表明, LVEF 处理可以有效保持樱桃番茄的质地特性, 延缓硬度下降和质量损失率上升。在 LVEF 贮藏环境下, PET 包装盒比 PP 包装袋维持硬度和质量损失率的效果更好。

2.2 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄色度值的影响

L^* 值显示了樱桃番茄的亮度, 樱桃番茄的 L^* 值随时间的变化规律如图 2a 所示。新鲜樱桃番茄光泽度随时间逐渐下降, 这是由于水分持续散失, 表皮皱缩, 促使樱桃番茄表面亮度变低。LVEF 处理的各组樱桃番茄的 L^* 值总体高于不经 LVEF 处理对照组的。贮藏

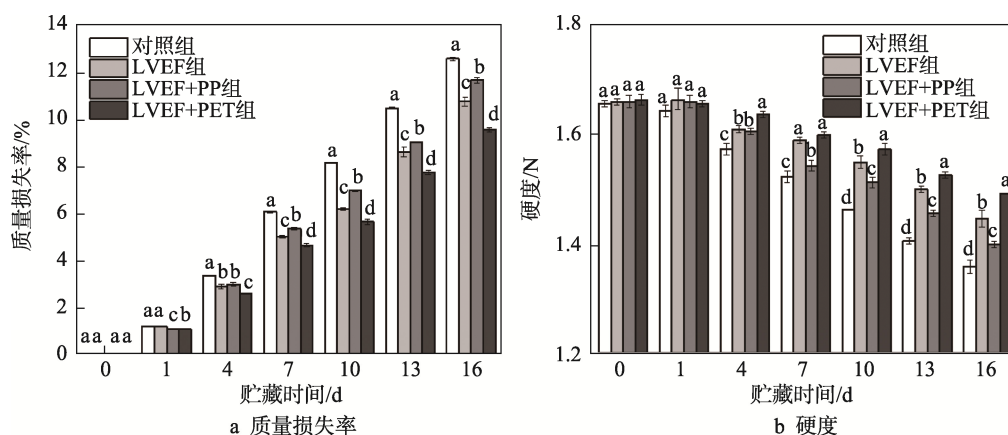


图1 LVEF结合包装处理对质量损失率和硬度的影响

Fig.1 Effect of LVEF combined with packaging treatment on weight loss and hardness

前4 d, 处理组与对照组 L^* 值差异不大, 且随贮藏时间延长, 各组 L^* 值基本保持不变 ($P>0.05$)。贮藏至4 d后 L^* 值逐渐降低, 且 LVEF 处理组始终比对照组高 ($P<0.05$), 说明 LVEF 能有效延缓樱桃番茄亮度降低。在贮藏结束时, LVEF+PET 组樱桃番茄的亮度显著高于 LVEF+PP 组和 LVEF 处理组的, 这与上述质量损失率的变化趋势一致。

a^* 值显示了樱桃番茄的红绿程度, 数值越大表示果实越红。樱桃番茄的 a^* 值随时间的变化规律如图 2b 所示, 各组樱桃番茄的 a^* 值随时间逐渐上升后降低。贮藏前4 d, LVEF 处理组、LVEF+PP 组和 LVEF+PET 组与对照组的 a^* 值没有显著性差异 ($P>0.05$), 对照组的樱桃番茄在贮藏至第10天时 a^* 值达到峰值, 随后逐渐降低, 而 LVEF 处理组在第13天时开始下降。贮藏后期 LVEF 处理组的 a^* 值始终比对照组的高 ($P<0.05$), 说明 LVEF 能有效抑制樱桃番茄的红色的降低。LVEF 处理组、LVEF+PP 处理组和 LVEF+PET 处理组总体上没有显著性差异, 但 LVEF+PET 组的 a^* 值在上升过程中最低, 表明 LVEF+PET 处理能有效抑制樱桃番茄色泽劣变。

2.3 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄 TSS 和 TA 的影响

TSS 和 TA 反映了果实的成熟度, 直接影响果实的风味^[21]。一般来说, 番茄果实收获后 TSS 的增加是由于多糖降解为单糖和有机酸的转化, 而降低是由于贮藏后期能量代谢对碳水化合物的消耗。如图 3a 所示, 各组樱桃番茄随贮藏时间延长 TSS 含量均持续上升, 达到峰值后下降。对照组和 LVEF+PP 组樱桃番茄的 TSS 含量在第10天到达峰值, 而 LVEF 组和 LVEF+PET 组樱桃番茄的 TSS 含量在第13天达到峰值, 13 d 后对照组的 TSS 含量显著低于 LVEF 处理的各组 ($P<0.05$)。结果表明, LVEF 推迟了 TSS 峰值的到来, 抑制了多糖的降解和有机酸的转化; 不同商业包装在抑制 TSS 含量降低方面, PET 保鲜盒优于 PP 保鲜袋。

酸是水果呼吸作用的重要底物, TA 含量通常会随着时间的推移而下降。如图 3b 所示, 各组樱桃番茄的 TA 在贮藏前4 d没有显著变化, 贮藏4 d后逐渐上升, 贮藏结束时又下降。贮藏前10 d, TA 的含

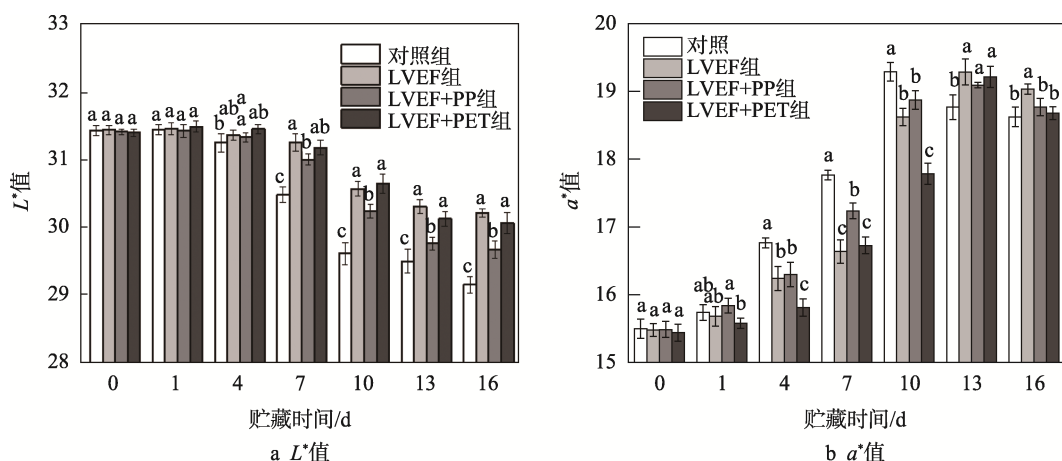


图2 LVEF 结合包装处理对 L^* 值和 a^* 值的影响

Fig.2 Effect of LVEF combined with packaging treatment on L^* and a^* values

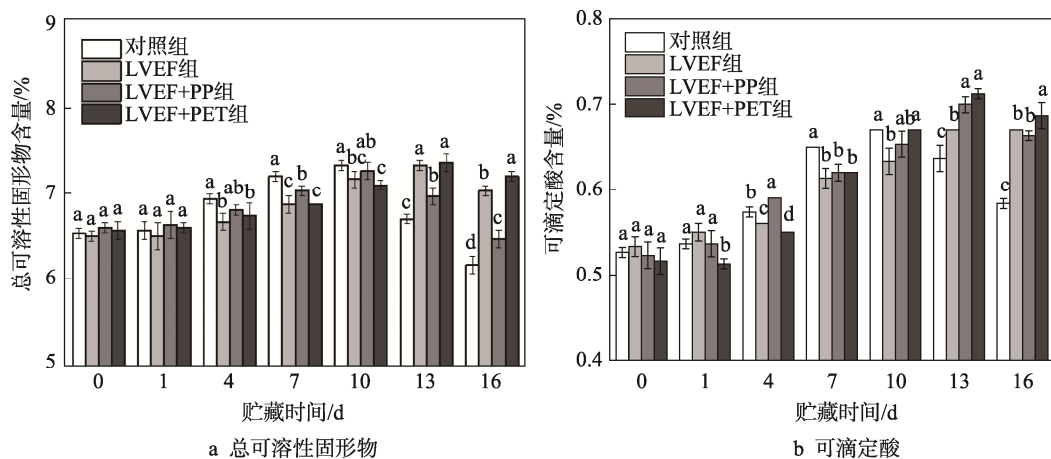


图3 LVEF 结合包装处理对总可溶性固形物和可滴定酸的影响

Fig.3 Effect of LVEF combined with packaging treatment on total soluble solids and titratable acids

量缓慢增加,这可能是由于较低的储存湿度,导致有机酸的消耗量低于水分的损失量,所以贮藏前 10 d, TA 的相对含量略有上升。对照组樱桃番茄的 TA 含量在第 10 天到达峰值后下降,而 LVEF 处理的各组在第 13 天到达峰值,且在随后的贮藏期 TA 含量显著高于对照组 ($P<0.05$)。结果表明, LVEF 可以在贮藏后期抑制 TA 的下降,不同的商业包装在抑制 TA 含量变化方面的影响不明显。

2.4 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄 AsA 含量的影响

AsA 作为低分子质量的抗氧化剂,不仅有助于维持细胞的氧化还原状态,而且还极大地增加了果实的营养价值^[22]。如图 4 所示,各组樱桃番茄果实的 AsA 含量在贮藏期间先升高后降低。贮藏前期由于果实的后熟作用, AsA 含量仍呈上升趋势,在前人的研究中也出现了相同的现象^[23]。贮藏后期 AsA 由于被呼吸消耗,消耗量大于合成量,因而缓慢降低。对照组樱桃番茄的 AsA 含量的增加主要发生在 10 d 前, LVEF 处理的各组均在第 13 天到达峰值,且对照组的 AsA 含量在 1~16 d 内始终显著低于处理组 ($P<0.05$)。结果表明, LVEF 通过延缓衰老,减缓了 AsA 下降趋势,从而提高了 AsA 含量。LVEF+PP 组的 AsA 含量低于 LVEF 处理组的和 LVEF+PET 处理组的,表明 PP 保鲜袋可能削弱了包装内的电场强度,从而导致 PP 保鲜袋内 AsA 含量更接近于对照组。

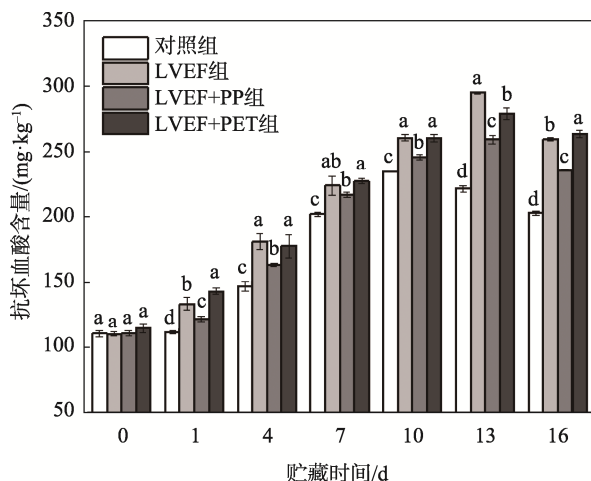


图 4 LVEF 结合包装处理对抗坏血酸的影响
Fig.4 Effect of LVEF combined with packaging treatment on ascorbic acid

2.5 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄总酚含量的影响

酚类物质是植物中的关键抗氧化剂,可以缓解氧化应激,保护细胞结构免受损伤^[24]。如图 5 所示,各组樱桃番茄总酚含量随时间增加变化趋势一致。LVEF 处理的各组樱桃番茄的总酚含量在贮藏前 10 d

显著高于对照组 ($P<0.05$),表明 LVEF 提高了酚类物质在贮藏初期的积累。Huang 等^[25]也发现,用静电场处理鲜切卷心菜和玉米时,总酚类物质增加,这可能是因为 LVEF 刺激植物细胞,细胞发生防御反应,进而诱导酚类物质的合成。贮藏 10 d 时, LVEF 处理各组与对照组没有显著性差异 ($P>0.05$),而贮藏 16 d 时对照组的总酚含量高于 LVEF 处理的各组,这可能是因为贮藏 10 d 后樱桃番茄适应了外加电场环境, LVEF 诱导酚类化合物积累的作用减弱。结果表明, LVEF 在贮藏前 10 d 促进了酚类化合物的增加,进一步提高了樱桃番茄的营养价值,前 10 d 内 LVEF 保鲜条件下 PET 保鲜盒比 PP 包装袋更有效地促进了总酚含量的增加。

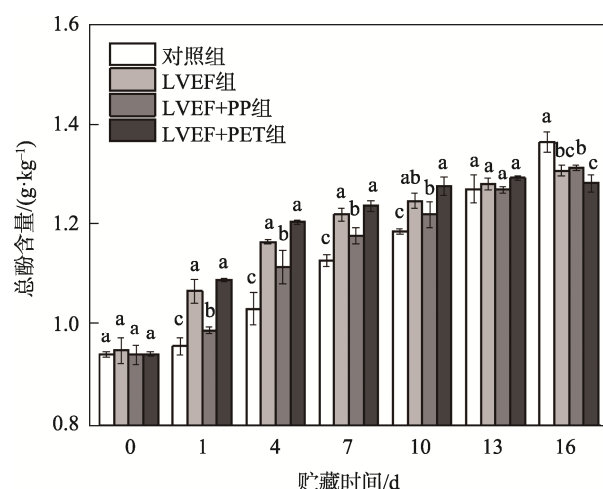


图 5 LVEF 结合包装处理对总酚含量的影响
Fig.5 Effect of LVEF combined with packaging treatment on total phenolic content

2.6 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄中番茄红素的影响

番茄红素是番茄中含量最丰富的类胡萝卜素,作为维生素 A 的前体和有效抗氧化剂,可以清除自由基,是番茄重要的营养元素之一^[21]。如图 6 所示,各组樱桃番茄的番茄红素含量随贮藏时间先上升后下降。对照组樱桃番茄的番茄红素含量在贮藏前 7 d 总体高于 LVEF 处理的各组,且在 7 d 到达峰值,然后下降。贮藏 10 d 之后, LVEF 处理组、LVEF+PP 组和 LVEF+PET 组显著高于对照组 ($P<0.05$),总体上 PET 包装组樱桃番茄在后期具有更高的番茄红素含量。结果表明, LVEF 处理延缓了番茄红素的积累,推迟了峰值的到来, PET 保鲜盒比 PP 保鲜袋能更有效地抑制了番茄红素的损失。

2.7 LVEF 结合包装处理对樱桃番茄 MDA 含量的影响

采后果蔬在贮藏过程中逐渐成熟和衰老,细胞膜中的脂质会逐渐氧化,细胞膜流动性变差。

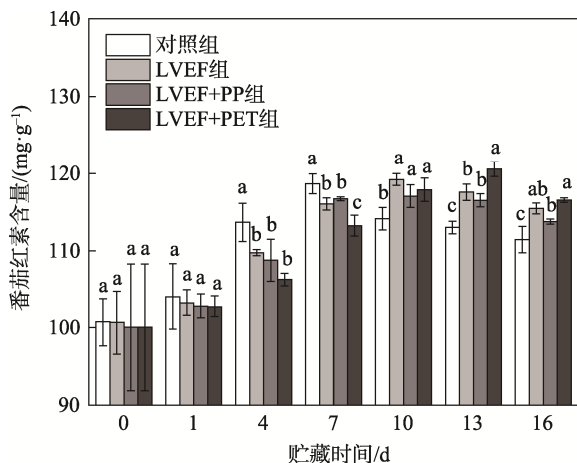


图6 LVEF结合包装处理对番茄红素的影响
Fig.6 Effect of LVEF combined with packaging treatment on lycopene

MDA是脂质过氧化的产物,可以表示植物细胞膜的氧化损伤程度^[26]。由图7可知,各组樱桃番茄的MDA含量均随时间的增加而不断增加。贮藏前4d, LVEF处理组的MDA含量与对照组的没有显著性差异($P>0.05$)。在4d后, LVEF处理组的MDA含量开始显著低于对照组的($P<0.05$),并持续到储存期结束。贮藏结束时, LVEF处理组樱桃番茄的MDA含量比对照组的低35.7%。结果表明, LVEF处理可以显著抑制樱桃番茄组织中MDA含量的增加,从而减少MDA对樱桃番茄细胞的毒害,抑制细胞衰老,延长其货架期。LVEF+PP组的MDA含量高于LVEF处理组和LVEF+PET处理组的含量,表明PP保鲜袋可能削弱LVEF的作用,从而导致MDA含量更接近于对照组。

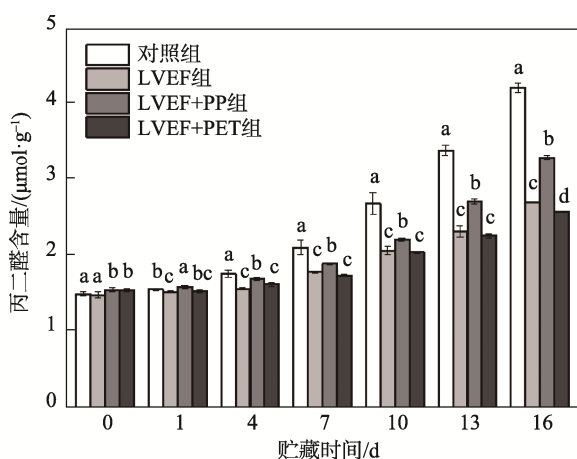


图7 LVEF结合包装处理对丙二醛的影响
Fig.7 Effect of LVEF combined with packaging treatment on malondialdehyde

3 结语

LVEF处理樱桃番茄能有效抑制其采后贮藏期间

的品质变化,保留更多的营养成分。贮藏16d后,与对照组相比,施加LVEF的樱桃番茄质量损失率减少了14.4%,硬度增加了6.4%;LVEF还提高了樱桃番茄AsA、总酚和番茄红素等抗氧化剂的含量,增强了樱桃番茄的营养价值。此外,与仅施加LVEF相比, LVEF联合PET保鲜盒处理的樱桃番茄质量损失率减少了10.9%,硬度、色度、TSS和AsA含量也明显提高,而LVEF联合PP保鲜袋处理则提高了质量损失率,降低了硬度,不利于LVEF贮藏环境下的樱桃番茄保鲜。因此, PET保鲜盒比PP保鲜袋更适合作为LVEF保鲜条件下的商业包装。

参考文献:

- [1] 王羽, 梁敏, 齐小晶, 等. 包装材料对樱桃番茄气调保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2016, 37(19): 91-96.
WANG Yu, LIANG Min, QI Xiao-jing, et al. Effects of Packaging Materials on Modified Atmosphere Preservation of Cherry Tomato[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(19): 91-96.
- [2] 梁凡, 黎晨晨, 李紫硕, 等. 番茄红素生物活性功能及其在食品中的应用研究[J]. 农产品加工, 2022(11): 94-98.
LIANG Fan, LI Chen-chen, LI Zi-shuo, et al. Research on the Biological Activity of Lycopene and Application in Food[J]. Farm Products Processing, 2022(11): 94-98.
- [3] SHAO Zhi-yong, CHEN Hao, HU Song-shen, et al. Chitosan Oligosaccharide Treatment Improves Quality Attributes of Tomato Fruit Stored under Room Temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 189: 14-24.
- [4] 宋耀, 张静. 樱桃番茄采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(5): 116-120.
SONG Yao, ZHANG Jing. Research Progress on Storage Technology of Postharvest Cherry Tomato[J]. Storage and Process, 2016, 16(5): 116-120.
- [5] JANNATIZADEH A, AGHDAM M S, LUO Zi-sheng, et al. Impact of Exogenous Melatonin Application on Chilling Injury in Tomato Fruits during Cold Storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(5): 741-750.
- [6] 张阳阳, 雷磊, 王荣荣, 等. 葫芦巴精油对采后樱桃番茄果实贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 52-57.
ZHANG Yang-yang, LEI Lei, WANG Rong-rong, et al. Effects of Fenugreek Essential Oil on Storage Quality of

- Postharvest Cherry Tomato Fruits[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 52-57.
- [7] 章潇天, 张慙, 过志梅. 超声波-气调联合处理对番茄、丝瓜混合贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(12): 62-70.
- ZHANG Xiao-tian, ZHANG Min, GUO Zhi-mei. Effect of Ultrasound Combined with Modified Atmosphere Packaging on Preservation Quality of Tomato and Loo-fah Mixed Storage[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(12): 62-70.
- [8] 蒋耀庭. 果蔬食品静电场保鲜机理研究[J]. 农产品加工(下), 2011(1): 65-67.
- JIANG Yao-ting. Fresh Mechanism of Fruit and Vegetables by High-Voltage Electrostatic Field[J]. Farm Products Processing, 2011(1): 65-67.
- [9] 张浩宇, 刘慧燕, 杨亚丽, 等. 低压静电场对灵武长枣低温贮藏品质及呼吸强度的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(1): 211-215.
- ZHANG Hao-yu, LIU Hui-yan, YANG Ya-li, et al. Effect of Low Voltage Electrostatic Field on Low Temperature Storage Quality and Respiratory Intensity of Zizphus Jujuba Mill Cv. Lingwu Changzao[J]. The Food Industry, 2021, 42(1): 211-215.
- [10] 何定芬, 谢超, 史恬恬, 等. 低压静电场处理对爱媛橙常温贮藏品质的影响[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2020(6): 532-537.
- HE Ding-fen, XIE Chao, SHI Tian-tian, et al. Effects of Low Voltage Electrostatic Field Treatment on Eyuan Orange Storage Quality during Normal Temperature Storage[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2020(6): 532-537.
- [11] 李海波, 谢超, 梁瑞萍, 等. 基于低压静电场技术(LVEF)协同低温对舟山杨梅保鲜过程中品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 265-270.
- LI Hai-bo, XIE Chao, LIANG Rui-ping, et al. Effect of Low Voltage Electrostatic Field Combined with Low Temperature on Quality of Zhoushan Bayberry during Fresh-Keeping[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(7): 265-270.
- [12] 周英杰, 谢超, 梁佳, 等. 低压静电场协同低温对水蜜桃储藏保鲜过程中品质的影响[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2019(5): 429-435.
- ZHOU Ying-jie, XIE Chao, LIANG Jia, et al. Effect of Cooperative Low Temperature Based on Low Voltage Electrostatic Field Technology on the Quality of Honey Peach during Storage and Preservation[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2019(5): 429-435.
- [13] XU Chun, ZHANG Xiaoying, LIANG Jin, et al. Cell Wall and Reactive Oxygen Metabolism Responses of Strawberry Fruit during Storage to Low Voltage Electrostatic Field Treatment[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 192: 17-28.
- [14] 杨亚丽, 刘慧燕, 杨文丽, 等. 保鲜剂结合低压静电场处理对红梅杏贮藏品质的影响及其相关性分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 120-125.
- YANG Ya-li, LIU Hui-yan, YANG Wen-li, et al. Effects of Preservatives Combined with Low-Voltage Electrostatic Field on the Storage Quality of Prunus Armeniaca L. and the Analysis of Its Relative Correlation[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 120-125.
- [15] 王婷婷, 徐冰心. 不同膜袋包装方式对千禧番茄采后保鲜效果的初步研究[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(14): 24-25.
- WANG Ting-ting, XU Bing-xin. The Primary Study on Post-Harvest Preservation Effect of the Millennium Tomato with Different Packaging PE Material[J]. Heilongjiang Science, 2017, 8(14): 24-25.
- [16] JAGADEESH S L, CHARLES M T, GARIEPY Y, et al. Influence of Postharvest UV-C Hormesis on the Bioactive Components of Tomato during Post-Treatment Handling[J]. Food and Bioprocess Technology, 2009, 4(8): 1463-1472.
- [17] SUN Qian-qian, ZHANG Na, WANG Jin-fang, et al. Melatonin Promotes Ripening and Improves Quality of Tomato Fruit during Postharvest Life[J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(3): 657-668.
- [18] CHEN Gui-fang, HOU Yuan-yuan, ZHENG Yong-hua, et al. 2,4-Epibrassinolide Enhance Chilling Tolerance of Loquat Fruit by Regulating Cell Wall and Membrane Fatty Acid Metabolism[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 295: 813-823.
- [19] 贾嘉懿, 王亚蒙, 尹杰文, 等. 微孔包装抑制樱桃番茄高温物流软化品质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(1): 244-252.
- JIA Jia-yi, WANG Ya-meng, YIN Jie-wen, et al. Mechanism of Microporous Packaging Inhibiting Softening

- of Cherry Tomato during High Temperature[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(1): 244-252.
- [20] BU Jian-wen, YU Yu-cong, AISIKAER G, et al. Post-harvest UV-C Irradiation Inhibits the Production of Ethylene and the Activity of Cell Wall-Degrading Enzymes during Softening of Tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.) Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86: 337-345.
- [21] 薛坤, 陈海荣, 陈火英, 等. 樱桃番茄成熟期品质指标动态变化的研究[J]. 上海农业学报, 2021, 37(3): 52-57.
- XUE Kun, CHEN Hai-rong, CHEN Huo-ying, et al. Dynamic Changes of Quality Indexes of Cherry Tomatoes during Maturity[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2021, 37(3): 52-57.
- [22] YAN Ran, LI Shenge, CHENG Yuan, et al. Melatonin Treatment Maintains the Quality of Cherry Tomato by Regulating Endogenous Melatonin and Ascorbate- Glutathione Cycle during Room Temperature[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(10): 14285.
- [23] 弓德强, 李敏, 高兆银, 等. 低温结合 GABA 处理对樱桃番茄果实采后品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(36): 54-60.
- GONG De-qiang, LI Min, GAO Zhao-yin, et al. Effect of Low Temperature Combined with GABA on Post-harvest Quality of Cherry Tomato[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(36): 54-60.
- [24] TAO Xiao-ya, WU Qiong, LI Jia-yin, et al. Exogenous Methyl Jasmonate Regulates Sucrose Metabolism in Tomato during Postharvest Ripening[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 181: 111639.
- [25] HUANG Yu, YANG Yu, SRIDHAR K, et al. Synergies of Modified Atmosphere Packaging and High-Voltage Electrostatic Field to Extend the Shelf-Life of Fresh-Cut Cabbage and Baby Corn[J]. LWT, 2021, 138: 159-167.
- [26] DANNEHL D, HUYSKENS-KEIL S, EICHHOLZ I, et al. Effects of Direct-Electric-Current on Secondary Plant Compounds and Antioxidant Activity in Harvested Tomato Fruits (*Solanum Lycopersicon* L.)[J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 157-165.

责任编辑: 曾钰婵