

低温等离子体协同气调保鲜处理对香蕉李保鲜效果的影响

刘佳¹, 王华¹, 周倩², 李晓雪¹, 马云啸¹, 王翠芳¹, 倪娜¹

(1. 内蒙古民族大学 生命科学与食品学院, 内蒙古 通辽 028000;

2. 沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110000)

摘要: 目的 为了延长香蕉李的保鲜期, 探究低温等离子体协同气调保鲜处理对香蕉李保鲜效果及品质的影响。方法 以香蕉李为实验材料, 分别通过 MAP 组 (3% O₂+6% CO₂+91% N₂)、CAP 组 (功率 800 W、射流距离 8 mm、时间 60 s)、协同组对香蕉李进行保鲜处理, 分析低温贮藏期间的感官评分、硬度、质量损失率、腐烂率、PPO 活性、POD 活性以及 MDA、TSS、VC 含量的变化。结果 在 4 °C 下贮藏过程中, 各组均能延缓果实品质劣变, 其中协同组保鲜效果最佳。贮藏 35 d 时, 协同组香蕉李的感官评分为 (7.9±0.36) 分 (>5 分), 在可食用范围内; 硬度为 (4.12±0.22) kg/cm², 分别较 MAP 组和 CAP 组显著提高 32.05%、7.01% ($P<0.05$); 质量损失率、腐烂率分别为 (1.8±0.16)%、(12±1.23)%, 显著低于对照组 ($P<0.05$); PPO、POD 活性分别为 (1.7±0.28) U/g、(14.4±1.36) U/g; MDA 含量为 (25.4±1.32) nmol/g, 均保持较低水平。研究结果表明, 协同处理通过整合 2 种保鲜方法的优势, 在抑制酶活性以延缓酶促褐变的同时, 有效降低香蕉李的生理代谢速率和呼吸强度, 从而显著减缓果实的氧化进程。这种协同效应不仅延长了香蕉李的保鲜期, 还能更好地维持其品质特性。结论 相较于对照组, 协同组可将香蕉李的保鲜期延长 14 d 并维持其可食用价值, 进而为香蕉李的保鲜与贮藏提供理论参考。

关键词: 气调保鲜; 低温等离子体; 香蕉李; 保鲜; 贮藏期

中图分类号: TB489; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)09-0152-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.09.017

Effect of Cold Atmospheric Plasma with Modified Atmosphere Packaging on Fresh-keeping of Banana Plums

LIU Jia¹, WANG Hua¹, ZHOU Qian², LI Xiaoxue¹, MA Yunxiao¹, WANG Cuifang¹, NI Na¹

(1. College of Life Science and Food, Inner Mongolia Minzu University, Inner Mongolia Tongliao 028000, China;

2. Food Science College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110000, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of cold atmospheric plasma combined with modified atmosphere packaging (MAP) on the preservation and quality of banana plums, so as to extend the shelf life of banana plums. Banana plums used as experimental materials were subject to treatment in groups of MAP (3% O₂, 6% CO₂, 91% N₂), CAP (power 800 W, jet distance 8 mm, time 60 s), and the combined treatment. Changes in sensory scores, firmness, weight loss rate, decay rate, polyphenol oxidase (PPO) activity, peroxidase (POD) activity, and malondialdehyde (MDA), total soluble solids (TSS), and vitamin C (VC) content during low-temperature storage were analyzed. During storage at 4 °C, all groups could delay the deterioration of fruit quality, with the combined treatment showing the best preservation effect. After 35 days of storage, the sensory score of the combined treatment group was (7.9±0.36) points (>5 points), within the edible range; The firmness was (4.12±0.22) kg/cm², significantly increased by 32.05% and 7.01% compared with the MAP

收稿日期: 2024-12-05

基金项目: 辽宁省大石桥市果品保鲜科技特派团 (2023JH5/10400114)

*通信作者

group and the CAP group ($P<0.05$); The weight loss rate and decay rate were $(1.8\pm 0.16)\%$ and $(12\pm 1.23)\%$, respectively, significantly lower than the control group ($P<0.05$); PPO and POD activities were (1.7 ± 0.28) U/g and (14.4 ± 1.36) U/g, respectively; the MDA content was (25.4 ± 1.32) nmol/g, all maintained at a low level. The results indicated that the combined treatment, by integrating the advantages of the two preservation methods, not only inhibited enzyme activity to delay enzymatic browning but also effectively reduced the physiological metabolic rate and respiratory intensity of banana plums, thereby significantly slowing down the oxidation process of the fruit. This synergistic effect not only extended the shelf life of banana plums but also better maintained their quality characteristics. Compared with the control group, the combined treatment could extend the shelf life of banana plums by 14 days and maintain their edible value, providing a theoretical reference for the preservation and storage of banana plums.

KEY WORDS: modified atmosphere packaging; cold atmospheric plasma; banana plums; retain freshness; storage period

香蕉李 (*Prunus salicina*) 为蔷薇属果实, 是一种具有独特风味和营养价值的水果, 其果实饱满, 风味独特, 深受消费者喜爱^[1]。香蕉李属于呼吸跃变型果实, 其果皮偏薄, 含水量高, 持续的呼吸作用和蒸腾作用加速了后熟进程, 易出现软化、脱水、褐变甚至腐烂等品质劣变现象, 严重影响其商品价值和货架期^[2-3]。因此, 开发安全高效的保鲜技术已成为亟需解决的关键问题。

传统保鲜技术如低温贮藏、化学杀菌剂处理、辐照保鲜等虽有一定效果, 但存在化学残留风险、对环境不友好、影响果蔬品质等弊端^[4-6]。近年来, 非热保鲜技术及气调保鲜技术因高效、安全、环保的特性成为研究热点。

低温等离子体 (Cold Atmospheric Plasma, CAP) 是一种非热杀菌的新型保鲜技术, 可以高效灭活表面微生物并延缓酶促褐变, 同时避免营养成分的破坏, 广泛应用于国内外食品保鲜领域^[7-8]。王卓等^[9]发现, 低温等离子体在 45 kV 电压下处理蓝莓, 能够明显降低蓝莓表面细菌、真菌的数量, 并抑制蓝莓细胞壁水解酶的活性, 减少腐烂现象。气调保鲜 (Modified Atmosphere Packaging, MAP) 是通过改变内部环境来调节气体的组成, 抑制呼吸强度, 降低生理代谢速率, 延缓果实的软化, 从而保持果实的新鲜程度^[10]。黄冰等^[11]采用 4%O₂+2%CO₂ 对千禧果进行气调处理, 贮藏 12 d 后的果实质量损失率比普通冷藏组低 2.37%, 有效延长了千禧果的货架期, 保持了其品质。

单一的保鲜技术虽能改善部分品质指标, 但仍具有局限性, 难以全面调控果实采后的生理机制。本研究拟采取物理杀菌和生理调控双重机制, 突破单一技术的局限, 探究协同处理的保鲜方式对香蕉李贮藏品质的影响, 旨在为延长香蕉李保鲜期的实际应用提供参考。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 香蕉李, 产地通辽, 选用八九成熟、新鲜、无病虫害、无机械损伤、大小和色泽均一的果实, 采后立即运回实验室, 进行不同的保鲜处理;

乐扣保鲜包装盒 (PP 材质, 尺寸为 205 mm×134 mm×69 mm, 带气孔), 浙江龙士达塑业有限公司; 盐酸等试剂 (均为分析纯), 天津天力有限公司。

主要仪器: MICRO PETTE PIUS 移液器, 大龙兴创实验仪器股份公司; Centrifuge 5804R 高速冷冻离心机, 德国艾本德股份公司; Infinite M200 酶标仪, 南京德铁实验设备有限公司; UV-5500 紫外可见分光光度计, 上海精密仪器仪表有限公司; WYT 糖度计, 成都豪创光电仪器有限公司; GY-4 水果硬度仪, 北京电子科技有限公司; G-Q 300 气调箱, 广州标际包装设备有限公司; TS-APR01 低温等离子体, 成都金创立科技有限责任公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

挑选无机械损伤、大小一致、成熟度相同的香蕉李进行以下 4 组处理。

1) 对照组 (CK 组): 对香蕉李果实不作任何处理, 平均分组放入盒中封盖贮藏。

2) 等离子体处理组 (CAP 组): 在功率为 800 W、射流距离为 8 mm、时间为 60 s 的条件下, 将香蕉李果实平均分组放入包装盒, 带盒进行等离子体杀菌处理后封盖贮藏。

3) 气调保鲜处理组 (MAP 组): 以 3% O₂+6% CO₂+91% N₂ 为条件, 将香蕉李果实放置于气调箱内贮藏, 按比例一次性充气保鲜。

4) 等离子体协同气调保鲜处理组 (协同组): 对香蕉李果实先进行等离子体处理, 再放置于气调箱内贮藏。

需要注意: 每一个处理组中保鲜盒内贮藏的样品质量均为 (300 ± 5) g, 均置于 0~4 °C 下, 在 0~35 d 贮藏期内每 7 d 取样一次进行测定。

1.2.2 测定方法

1.2.2.1 感官评分的测定

参照 NY/T 839—2004《鲜李》^[12]并稍做修改, 制定香蕉李的感官评分标准, 参照此标准对采后果实进行评分, 感官评分为 4 个感官指标分数的平均值, 具体标准如表 1 所示。通过感官评分及理化指标测

表 1 香蕉李感官评分
Tab.1 Sensory rating scale of banana plums

评价项目	评价标准/分			
	7.5~10	5~7.4	2.5~4.9	0~2.4
颜色	紫红色	鲜红色	红色偏暗	紫黑色
外观	果实无褐变, 很有光泽	果实轻微褐变、脱水, 有光泽	果实中等褐变、脱水, 稍暗淡	果实严重褐变、脱水且暗淡
质地	质地非常硬挺, 富有弹性	质地硬挺, 有弹性	质地稍微发软, 弹性减弱	质地很软, 无弹性
气味	具有浓郁的李子果实香气, 无异味	具有李子果实香气, 无异味	李子果实香气变淡, 有轻微腐烂异味	不具有清新李子果实香气, 有腐烂异味

定, 当感官评分<5 分、硬度<4.0 kg/cm²、质量损失率>3%时, 果实不再具有食用品质^[13]。

1.2.2.2 硬度的测定

利用硬度计分析硬度, 探头的标准直径约为 7.9 mm, 将探头均匀压入香蕉李正中心, 压至刻度线处即可测得硬度值^[14]。

1.2.2.3 质量损失率的测定

准确称取每组香蕉李贮藏前后的质量, 采用称量的方法测定并分析其质量损失率, 计算见式 (1)^[15]。

$$W_{\text{loss}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为样品贮藏前的质量, g; m_2 为样品贮藏后的质量, g。

1.2.2.4 腐烂率的测定

果实腐烂率的计算见式 (2)^[16]。

$$D = \frac{M}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式中: M 为样品中腐烂果实的数量; N 为样品果实总数。

1.2.2.5 多酚氧化酶、过氧化物酶、丙二醛的测定

将香蕉李去核、打碎、均质, 分别取 0.2 g 样品与提取液混合均匀, 将匀浆 (8 000 r/min, 离心 10 min) 冰浴, 按照试剂盒方法测定不同波长的吸光度值, 并分别计算多酚氧化酶 (PPO) 的活性、过氧化物酶 (POD) 的活性和丙二醛 (MDA) 的含量^[17-19], 见式 (3)~(5)。

$$C_{\text{PPO}} = \frac{A_1 - A_2}{0.003} \quad (3)$$

$$C_{\text{POD}} = \frac{A_3 - A_4}{W} \times 4\ 900 \quad (4)$$

$$C_{\text{MDA}} = \frac{53.763 \times (\Delta A_{532} - \Delta A_{600})}{W} \quad (5)$$

式中: A_1 、 A_2 分别为样本在 420 nm 处时测定管和对照管的吸光度值; A_3 、 A_4 分别为样本反应 30、90 s 时在 470 nm 处的吸光度值; W 为样本质量, g; ΔA_{532} 、 ΔA_{600} 分别为样本在 532、600 nm 处时测定管

和空白管的吸光度值差值。

1.2.2.6 可溶性固形物的测定

利用糖度计进行可溶性固形物 (Total Soluble Solid, TSS) 的测定。

1.2.2.7 维生素 C 的测定

参照王洋样^[20]的方法并稍做修改, 测定波长为 243 nm 时的吸光度值, 并代入式 (6) 计算得到维生素 C (VC) 的含量^[15]。以 VC 浓度为横坐标, 243 nm 处测得的吸光度值为纵坐标, 建立的回归方程为 $Y=0.205\ 7X-0.053\ 2$, $R^2=0.999\ 1$ 。

$$C_{\text{VC}} = \frac{c \times V_1 \times V_2}{V_3 \times W' \times 10} \quad (6)$$

式中: c 为样品 VC 的浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_1 为提取液总体积, mL; V_2 为待测液总体积, mL; V_3 为样品溶液体积, mL; W' 为样品总质量, g。

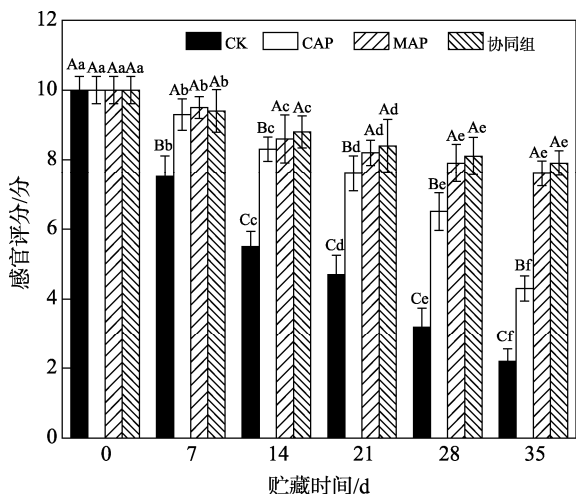
1.2.3 数据处理

使用 Excel 2018 软件整理、分析数据, 利用 Origin 2021 软件进行数据处理, 应用 IBM SPSS Statistics 26 分析数据的显著性差异。每组随机选取 3 个平行样, 并计算平均值。

2 结果与分析

2.1 不同处理方式对香蕉李感官评分的影响

感官品质是衡量果蔬采后新鲜度、商品价值及消费者接受度的核心指标, 其变化直接反映保鲜技术对果实外观、质地与风味等关键属性的调控效能^[21-22]。由图 1 可知, 香蕉李的感官评分随着贮藏时间的延长而降低。贮藏至 21 d 时, CK 组感官评分为 (4.7±0.5) 分, 不具备食用品质, 与协同组差异显著 ($P<0.05$)。贮藏至 35 d 时, 协同组的感官评分为 (7.9±0.36) 分, 仍具有食用品质 ($P<0.05$)。协同组的感官评分下降较为缓慢, 此时的香蕉李果实仍然饱满, 颜色鲜艳, 汁水充足。



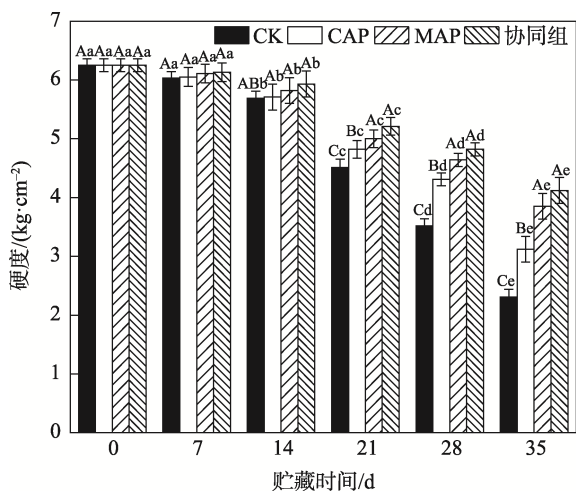
注: 小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图 1 不同处理方式对香蕉李感官评分的影响

Fig.1 Effects of different treatments on sensory scores of banana plums

2.2 不同处理方式对香蕉李硬度的影响

硬度是体现水果成熟程度和商品价值最为直观的指标^[23], 图 2 为香蕉李在贮藏期内的硬度变化, 可见其硬度明显下降。果实不断成熟的过程中, 随着生理变化的增强, 果胶和纤维素含量降低, 加速了果实软化^[24]。贮藏至 21 d 时, CK 组的硬度仅为 (4.51 ± 0.15) kg/cm², 不具备食用品质。贮藏至 35 d 时, 协同组的硬度为 (4.12 ± 0.22) kg/cm², 显著高于 CK 组 ($P<0.05$), 仍然具有较高的食用品质。这是由于协同组延缓了呼吸作用和蒸腾作用, 使果胶酶活性降低, 有效保护了果实细胞壁的完整性^[25]。



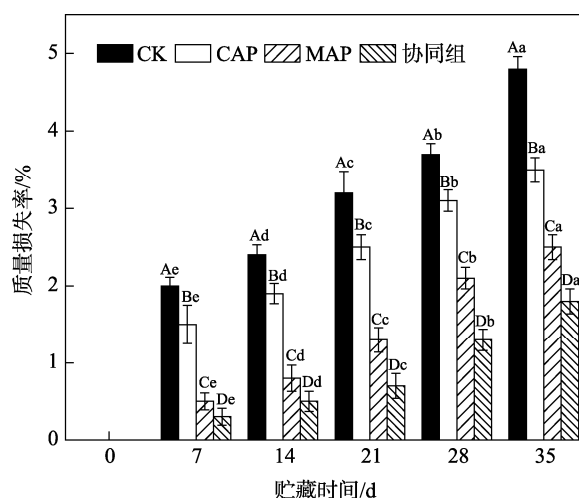
注: 小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图 2 不同处理方式对香蕉李硬度的影响

Fig.2 Effect of different treatments on hardness of banana plums

2.3 不同处理方式对香蕉李质量损失率的影响

质量损失率是衡量果蔬采后水分损失及贮藏稳定性的重要指标, 其变化直接反映保鲜技术对果实蒸腾作用及呼吸代谢的调控效果^[26]。如图 3 所示, 随着贮藏时间的延长, 香蕉李的质量损失率呈现上升趋势, 且在不同贮藏时间下各组均差异显著 ($P<0.05$)。贮藏至 35 d, 协同组的质量损失率仅为 $(1.8\pm0.16)\%$, 显著低于其他组 ($P<0.05$), 仍具有较高的食用品质。这是由于协同组减缓了香蕉李的呼吸代谢和蒸腾作用, 降低了底物的消耗, 从而能够保持较低的质量损失率^[27]。



注: 小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图 3 不同处理方式对香蕉李质量损失率的影响

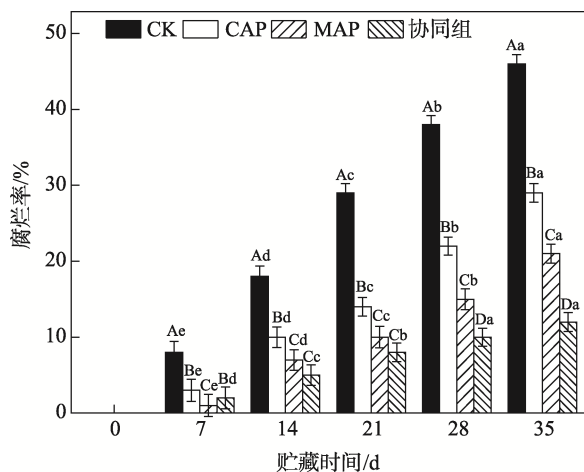
Fig.3 Effect of different treatment methods on quality loss rate of banana plums

2.4 不同处理方式对香蕉李腐烂率的影响

腐烂率是反映果蔬采后新鲜度与商品率的核心指标^[28]。由图 4 可知, 不同处理下的香蕉李腐烂率随着贮藏时间的延长均呈现上升趋势 ($P<0.05$)。贮藏至 21 d 时, CK 组腐烂率为 $(29\pm1.22)\%$, 果实表面出现腐烂褐变, 汁液渗出, 感官品质不佳。贮藏至 35 d 时, 协同组的腐烂率为 $(12\pm1.23)\%$, 低于其他各组并存在显著差异 ($P<0.05$)。这可能是由于协同组在抑制微生物生长繁殖的同时, 有效抑制香蕉李的代谢和呼吸, 延缓酶促褐变和有机酸分解, 减慢了香蕉李的腐烂软化速度^[29]。

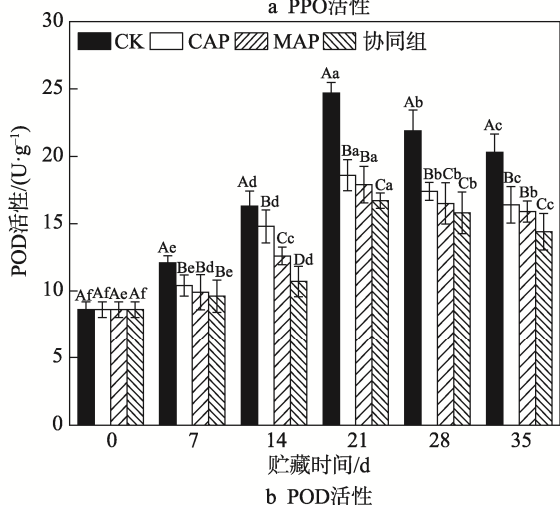
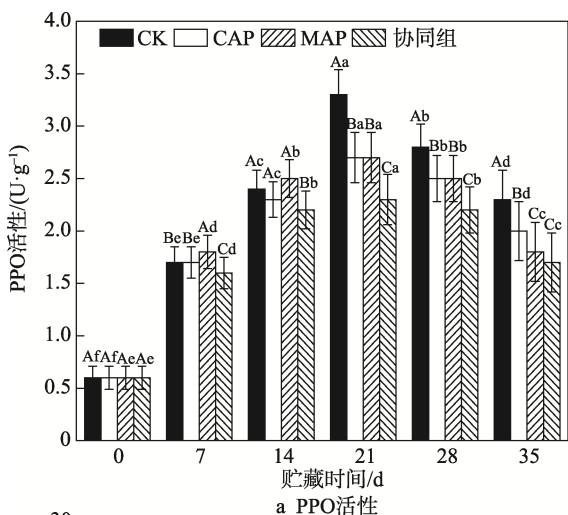
2.5 不同处理方式对香蕉李 PPO、POD 含量的影响

PPO、POD 是引发酶促褐变的关键氧化酶^[30]。由图 5 可知, 随着贮藏时间的延长, PPO、POD 的活性



注：小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)；大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图4 不同处理方式对香蕉李腐烂率的影响
Fig.4 Effects of different treatments on decay rate of banana plums



注：小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)；大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图5 不同处理方式对香蕉李 PPO、POD 活性的影响
Fig.5 Effects of different treatments on PPO and POD activities of banana plums

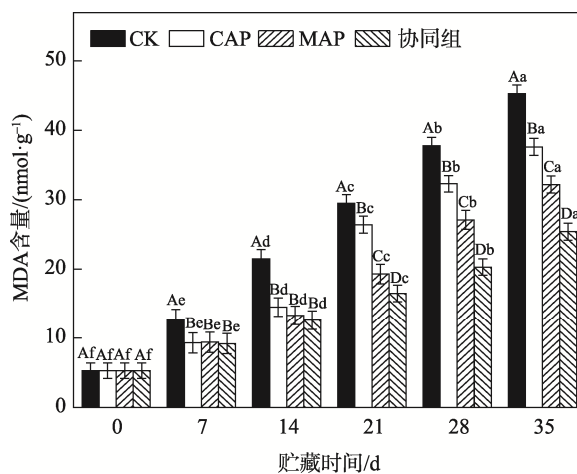
均呈现先上升后下降的趋势。贮藏至 35 d 时, 协同组 PPO、POD 的活性分别为 (1.7 ± 0.28) U/g、 (14.4 ± 1.36) U/g, 均显著低于其他组 ($P<0.05$)。这可能是由于协同组气体环境中的活性氧和活性氮直接作用于酶的活性位点, 破坏酶的空间结构, 从而抑制了酶的活性, 延缓了酶促褐变的发生^[31-33]。

2.6 不同处理方式对香蕉李 MDA 含量的影响

MDA 是氧化反应的主要产物之一^[34]。由图 6 可知, 随着贮藏时间的延长, 各组的 MDA 含量均呈现显著上升趋势 ($P<0.05$)。贮藏至 35 d 时, 协同组的 MDA 含量仅为 (25.4 ± 1.32) nmol/g, 差异显著 ($P<0.05$)。这可能是由于协同组抑制了果实的生理代谢, 使其保留了抗氧化物质, 延缓了 MDA 的生成^[35]。

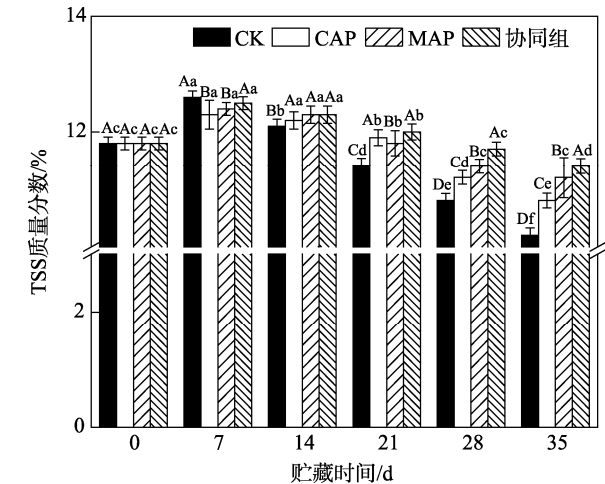
2.7 不同处理方式对香蕉李 TSS 含量的影响

TSS 是评判香蕉李成熟度与风味的重要指标^[36]。由图 7 可知, 随着贮藏时间的延长, 不同组的 TSS 含量均呈现先上升后下降的趋势。贮藏 7 d 时, 各组 TSS 含量均达到峰值, 这可能由于在贮藏过程中会出现后熟现象, 结构多糖转化为游离糖, 导致总体呈现上升趋势^[37]。贮藏至 35 d 时, 协同组 TSS 的质量分数维持在 $(11.4\pm0.13)\%$, 显著高于其他组 ($P<0.05$)。这是由于低氧环境抑制了呼吸作用, 减少了糖类等 TSS 的分解, 延缓了香蕉李 TSS 含量的下降速度和果实软化速度^[38]。



注：小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)；大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图6 不同处理方式对香蕉李 MDA 含量的影响
Fig.6 Effects of different treatments on MDA content of banana plums

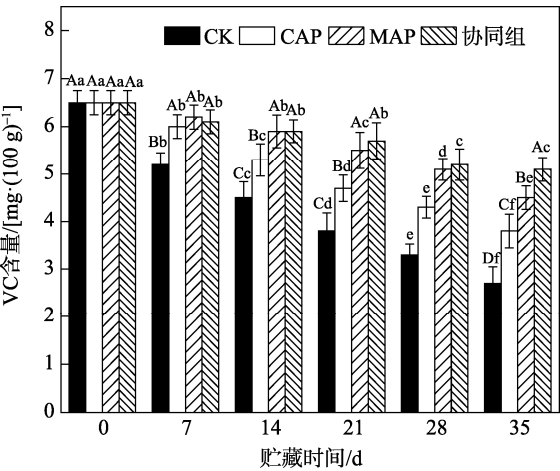


注: 小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图 7 不同处理方式对香蕉李 TSS 质量分数的影响
Fig.7 Effects of different treatments on TSS content of banana plums

2.8 不同处理方式对香蕉李 VC 含量的影响

VC 是香蕉李果实中不可或缺的营养物质和重要的抗氧化物质, 其含量变化直接反映果实的营养品质与贮藏的稳定性, 由于其性质不太稳定, 易被氧化降解^[39]。由图 8 可知, VC 含量随着贮藏时间的延长呈现下降趋势。贮藏至 35 d 时, 协同组的 VC 含量仍保持在 (5.1 ± 0.25) mg/100 g, 显著高于其他组 ($P<0.05$)。这是由于协同组通过调节气体组分延迟呼吸高峰的出现, 使氧化反应速度减慢, 减少了 VC 的氧化降解^[40]。



注: 小写字母表示同一组样品在不同贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母表示不同组样品在同一贮藏时间下有显著性差异 ($P<0.05$)

图 8 不同处理方式对香蕉李 VC 含量的影响
Fig.8 Effect of different treatment methods on VC content of banana plums

3 结语

通过 CAP 组、MAP 组、协同组处理香蕉李, 并对香蕉李的感官评分、硬度、质量损失率、腐烂率、PPO 活性、POD 活性以及 MDA、TSS、VC 的含量进行测定。结果表明, 协同组可使香蕉李保持良好的感官品质, 有效降低其质量损失率、腐烂率, 抑制 PPO 活性、POD 活性、MDA 含量, 同时维持果实的硬度、TSS 含量, 在一定程度上延长了香蕉李的保鲜期。这表明协同处理既能通过适宜的气体比例抑制香蕉李的呼吸速率, 延缓果实的衰老进程, 减少水分流失, 又可减少微生物生长带来的腐败变质, 延缓酶促褐变和氧化反应的发生, 弥补了单一技术的局限性, 全方面调控采后生理机制, 与 CK 组相比, 它可将香蕉李的贮藏期延长至 35 d。综上所述, CAP 协同 MAP 处理合理地延长了香蕉李的保鲜期, 有效提高其食用价值和商业价值, 为果蔬保鲜领域提供了理论支持。

参考文献:

[1] 吕麟琳, 程顺昌, 高超, 等. 1-MCP 对冷胁迫‘香蕉李’磷脂组分和冷害影响研究[J]. 包装工程, 2019, 40(17): 1-7.
LYU L L, CHENG S C, GAO C, et al. Effects of 1-MCP on Phospholipid Components and Chilling Injury of 'Banana Plums' under Cold Stress[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(17): 1-7.

[2] 熊蓉, 贾振华, 李东, 等. 纳他霉素及 1-MCP 对李子贮藏期品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(14): 67-73.
XIONG R, JIA Z H, LI D, et al. Effects of Natamycin and 1-Methylcyclopropene on the Quality of Plums during Storage[J]. Food Research and Development, 2023, 44(14): 67-73.

[3] 公谱. 采收成熟度和 1-MCP 处理对冷藏晚香蕉李果实品质和褐变的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010.
GONG P. Effects of Harvest Maturity and 1-MCP Treatment on Fruit Quality and Browning of Late Banana Plum in Cold Storage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2010.

[4] 丁波, 毕阳, 陈松江, 等. 两种间歇升温方式对李果实冷害抑制的效果比较[J]. 食品工业科技, 2012(1): 352-353.
DING B, BI Y, CHEN S J, et al. Comparison of Two Kinds of Intermittent Warming on Chilling Injury of Plum[J]. Science and Technology of Food Industry,

- 2012(1): 352-353.
- [5] 甘可凡, 钱婧, 章建浩, 等. 低温等离子体协同复合精油对牛肉贮藏保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(21): 292-301.
- GAN K F, QIAN J, ZHANG J H, et al. Effect of Low Temperature Plasma Combined with Compound Essential Oil on Beef Storage and Preservation[J]. China Industrial Economics, 2024, 45(21): 292-301.
- [6] STAREK A, PAWLAT J, CHUDZIK B, et al. Evaluation of Selected Microbial and Physicochemical Parameters of Fresh Tomato Juice after Cold Atmospheric Pressure Plasma Treatment during Refrigerated Storage[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 8407.
- [7] ZHOU D D, LI T T, CONG K P, et al. Influence of Cold Plasma on Quality Attributes and Aroma Compounds in Fresh-Cut Cantaloupe during Low Temperature Storage[J]. LWT, 2022, 154: 112893.
- [8] SHAH U, RANIERI P, ZHOU Y Y, et al. Effects of Cold Plasma Treatments on Spot-Inoculated Escherichia Coli O157: H7 and Quality of Baby Kale (Brassica Oleracea) Leaves[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 57: 102104.
- [9] 王卓, 周丹丹, 彭菁, 等. 低温等离子体对蓝莓果实的杀菌效果及对其品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 101-107.
- WANG Z, ZHOU D D, PENG J, et al. Efficacy of Cold Plasma on Microbial Decontamination and Storage Quality of Blueberries[J]. Food Science, 2018, 39(15): 101-107.
- [10] 于谦, 杜艳民, 王文辉, 等. 不同厚度自发气调包装袋对绿皮黄冠梨果实冷藏期和货架期品质的影响[J]. 中国果树, 2024(2): 26-32.
- YU Q, DU Y M, WANG W H, et al. Effects of Different Thicknesses of Spontaneous Modified Atmosphere Packaging Bags on the Quality of Green Skinned Huangguan Pear Fruit during Refrigeration and Shelf Life[J]. China Fruits, 2024(2): 26-32.
- [11] 黄冰, 王浩, 刘群生, 等. 不同贮藏方式对千禧果品质的影响[J]. 冷藏技术, 2024, 47(1): 33-36.
- HUANG B, WANG H, LIU Q S, et al. Effect of Modified Atmosphere Storage on the Quality of Millennial Fruit[J]. Journal of Refrigeration Technology, 2024, 47(1): 33-36.
- [12] 中华人民共和国农业部. 鲜李: NY/T 839—2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Fresh Plum: NY/T 839-2004[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [13] 毛苏扬. 圣女果涂膜保鲜技术与货架期预测模型的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- MAO S Y. Study on Coating Preservation Technology and Shelf Life Prediction Model of Cherry Tomatoes[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [14] 何莉萍, 邹于梅, 曾小英, 等. 基于质构仪的食品保鲜方法综合试验设计[J]. 农产品加工, 2024(2): 43-46.
- HE L P, ZOU Y M, ZENG X Y, et al. Comprehensive Experimental Design of Food Preservation Methods Based on Texture Analyzer[J]. Farm Products Processing, 2024(2): 43-46.
- [15] 巴良杰, 罗冬兰, 吉宁, 等. 生物保鲜纸对李子贮藏期品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 140-143.
- BA L J, LUO D L, JI N, et al. Effect of Biological Preservative Paper on the Storage Quality of Plum Fruit[J]. Food and Machinery, 2020, 36(7): 140-143.
- [16] ABDUL R. 非热处理工艺对李子干燥动力学及营养品质的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- ABDUL R. Effects of Non-Heat Treatment Process on Drying Kinetics and Nutritional Quality of Plum[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [17] 肖星凝, 李苇舟, 石芳, 等. 不同品种李子多酚组成及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 31-37.
- XIAO X N, LI W Z, SHI F, et al. Antioxidant Activity and Phenolic Contents of Peel and Pulp of Different Plum Varieties[J]. Food Science, 2017, 38(15): 31-37.
- [18] 罗冬兰, 曹森, 马超, 等. 1-甲基环丙烯结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理在李子保鲜中的应用[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 143-147.
- LUO D L, CAO S, MA C, et al. Application of 1-Methylcyclopropene Combined with $^{60}\text{Co-}\gamma$ Irradiation in the Preservation of Plums[J]. Food and Machinery, 2021, 37(7): 143-147.
- [19] 吴臻仪, 鞠彩凤, 徐小佳, 等. 复配保鲜剂对“阳光玫瑰”葡萄保鲜效果[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 11-17.
- WU Z Y, JU C F, XU X J, et al. Preservative Compound and Its Preservative Effect on Grape of "Sunny Rose"[J]. The Food Industry, 2023, 44(11): 11-17.
- [20] 王洋洋. 聚乳酸呼吸包装膜对巨峰葡萄花色苷的保护及葡萄保鲜效果的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
- WANG Y Y. Study on the Protection of Anthocyanins and Grape Fresh-Keeping Effect of Polylactic Acid

- Breathing Packaging Film on Jufeng Grape[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.
- [21] CHEN Y Q, CHENG J H, SUN D W. Chemical, Physiological and Physiological Quality Attributes of Fruit and Vegetables Induced by Cold Plasma Treatment: Mechanisms and Application Advances[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(16): 2676-2690.
- [22] 徐慧倩. 低温等离子体协同气调包装对带鱼的保鲜效果及其抑菌机理研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
- XU H Q. Study on the Preservation Effect and Bacteriostatic Mechanism of Cold Atmospheric Plasma Synergistic Modified Atmosphere Packaging on *Trichiurus lepturus*[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022.
- [23] 罗冬兰, 瞿光凡, 曹森, 等. 采前水杨酸结合采后1-MCP处理对李果实贮藏期品质及抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 327-333.
- LUO D L, QU G F, CAO S, et al. Effect of Preharvest Salicylic Acid Combined with Postharvest 1-MCP Treatment on Quality and Antioxidant Ability of Plum Fruit during Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 327-333.
- [24] 朱丹实, 梁洁玉, 吕佳煜, 等. 秋红李子贮藏过程中水分迁移对其质构的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 100-105.
- ZHU D S, LIANG J Y, LYU J Y, et al. Effects of Moisture Mobility on Qihong Plum during Storage[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(12): 100-105.
- [25] 陈鸥, 吴雪莹, 邓丽莉, 等. 1-甲基环丙烯处理对采后李果实硬度变化的影响机制[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 185-191.
- CHEN O, WU X Y, DENG L L, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene Treatment on Firmness Change of Postharvest Plum Fruit and Underlying Mechanism[J]. Food Science, 2020, 41(3): 185-191.
- [26] 田全明, 曹振, 殷贝贝, 等. 新疆鲜杏雾化熏蒸保鲜设备的改进和应用[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 106-117.
- TIAN Q M, C Z, YIN B B, et al. Improvement and Application of Atomization and Fumigation Equipment for Preservation of Fresh Apricots in Xinjiang[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 106-117.
- [27] 熊小迪, 刘群, 李丽, 等. 冷等离子体结合气调包装对杨梅贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(12): 10-17.
- XIONG X D, LIU Q, LI L, et al. Effects of Cold Atmospheric Plasma Combined with Modified Atmosphere Packaging on Storage Quality of Bayberry[J]. Storage and Process, 2023, 23(12): 10-17.
- [28] 程华平, 殷俊峰, 胡树森, 等. 大子李气调库产地保鲜应用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(33): 14737-14738.
- CHENG H P, YIN J F, HU S S, et al. Study on the Freshness Protection of Plum with CA Cold Storage in Producing Area[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(33): 14737-14738.
- [29] 郭依萍, 李冉, 叶可萍, 等. 气调包装协同低温等离子体杀菌对狮子头保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(9): 1815-1825.
- GUO Y P, LI R, YE K P, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging-Cold Plasma Sterilization on the Preservation of Meatballs[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2022, 36(9): 1815-1825.
- [30] 邢荔. 葫芦岛秋李子化学保鲜处理技术研究[J]. 防护林科技, 2019(4): 17-18.
- XING L. Chemical Preservation Technology of Prunus Salicina in Huludao City[J]. Protection Forest Science and Technology, 2019(4): 17-18.
- [31] 刘文静, 张映霞, 罗立新, 等. 褐变抑制剂对果蔬多酚氧化酶的影响[J]. 食品安全导刊, 2024(3): 173-176.
- LIU W J, ZHANG Y X, LUO L X, et al. Effect of Browning Inhibitors on Polyphenol Oxidase in Fruits and Vegetables[J]. China Food Safety Magazine, 2024(3): 173-176.
- [32] 成军虎, 汪慧芬, 韩永旭. DBD低温等离子体处理对多酚氧化酶活力及构象的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2021, 49(9): 29-36.
- CHENG J H, WANG H F, HAN Y X. Effect of DBD Cold Plasma Treatment on Activity and Conformation of Polyphenol Oxidase[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 49(9): 29-36.
- [33] 雷婷婷, 殷诚, 孙陟岩, 等. 气态臭氧结合微孔气调包装对杨梅品质和抗氧化性能的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(13): 112-119.
- LEI T T, YIN C, SUN Z Y, et al. Effect of Ozone Gas Combined with Perforated Modified Atmosphere Packaging on Quality and Antioxidant Capacity of Chinese Bayberry[J]. Food Science, 2023, 44(13): 112-119.
- [34] 何斌, 徐勤超, 戢小梅, 等. 气调保鲜技术在猕猴桃

- 贮藏保鲜中的应用进展[J]. 园艺学报, 2023, 50(9): 1916-1928.
- HE B, XU Q C, JI X M, et al. Progress of Application on Controlled Atmosphere Preservation Technology in Kiwifruit Storage and Preservation[J]. *Acta Horticulture Sinica*, 2023, 50(9): 1916-1928.
- [35] 李圣杰, 郑素慧, 韩蓉, 等. 气调包装对精河枸杞鲜果采后品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(12): 2987-2996.
- LI S J, ZHENG S H, HAN R, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of *Lycium Barbarum* from Jinghe County[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2024, 61(12): 2987-2996.
- [36] 郭丹, 韩英群, 郝义. 冷藏及货架期晚香蕉李品质和生理变化研究[J]. 中国果树, 2013(1): 17-19.
- GUO D, HAN Y Q, HAO Y. Study on Quality and Physiological Changes of Banana Plum in Cold Storage and Late Shelf Life[J]. *China Fruits*, 2013(1): 17-19.
- [37] 张佰清, 公谱, 郝义. 成熟度对晚香蕉李冷藏条件下果实品质的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 334-335.
- ZHANG B Q, GONG P, HAO Y. Effects of Maturity on Fruit Quality of Banana-Plum during Cold Storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(3): 334-335.
- [38] 骆文宾. 1-MCP 对布朗李子常温储藏期品质的影响[J]. 现代农村科技, 2021(8): 59-60.
- LUO W B. Effect of 1-MCP on Quality of Brown Plum during Normal Temperature Storage[J]. *Xiandai Nongcun Keji*, 2021(8): 59-60.
- [39] 雷婷婷. 基于微孔气调包装的草莓和杨梅保鲜技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
- LEI T T. Study on the Preservation of Strawberry and Bayberry with Perforated Modified Atmosphere Packaging[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023.
- [40] 李昱昕, 吉宁, 王瑞, 等. 不同自发气调袋对玛瑙红樱桃贮藏品质的影响分析[J]. 包装工程, 2024, 45(15): 106-115.
- LI Y X, JI N, WANG R, et al. Analysis on Effects of Different Spontaneous Modified Atmosphere Packaging Bags on Storage Quality of Manaohong Cherries[J]. *Packaging Engineering*, 2024, 45(15): 106-115.