

物流保鲜

不同聚乙烯薄膜包装对红椒贮藏品质的影响

黎春红^{1,2}, 张雷刚¹, 罗淑芬¹, 周宏胜¹, 胡花丽¹, 李鹏霞¹

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 南京 210014; 2.沈阳农业大学, 沈阳 110866)

摘要: **目的** 探索适于采后红椒贮藏保鲜的包装方式。**方法** 以“先红一号”红椒为试材, 研究在常温 ((23±1) °C, 80%~90%) 条件下, 5 种不同厚度的聚乙烯薄膜包装 (0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 mm) 对采后红椒贮藏品质的影响。**结果** 与其余薄膜包装相比, 0.01 mm 厚的聚乙烯薄膜包装能显著延缓红椒硬度和可溶性固形物含量的降低, 降低了质量损失率与腐烂率, 维持组织较高的抗坏血酸过氧化物酶、过氧化物酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性。0.01 mm 厚的聚乙烯薄膜包装可有效维持红椒的综合感官品质, 与其薄膜袋内形成的低 O₂ (4.15%~9.49%) 及高 CO₂ (3.40%~7.10%) 体积分数的微环境密切相关。**结论** 0.01 mm 厚的聚乙烯薄膜包装能更好维持采后红椒的贮藏品质, 适宜用作采后红椒的包装贮运材料。

关键词: 红椒; 聚乙烯; 薄膜包装; 采后贮藏; 品质; 抗氧化酶

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0064-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.013

Effects of Different Polyethylene Film Packages on Storage Quality of Red Pepper

LI Chun-hong^{1,2}, ZHANG Lei-gang¹, LUO Shu-fen¹, ZHOU Hong-sheng¹, HU Hua-li¹, LI Peng-xia¹

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the packaging method for postharvest preservation of red pepper. With red pepper (the 'xianhong' cultivar) as the test material, the effect of polyethylene film package of five thicknesses (0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 mm) at ambient temperature ((23±1)°C, 80%~90%) on the storage quality of the postharvest red pepper was studied. Compared with the remaining film packages, the 0.01 mm thick polyethylene film package could remarkably delay the reduction of red pepper hardness and soluble solid content, which reduced the mass loss rate and rotting rate, and maintained the activity of higher ascorbate peroxidase, peroxidase, catalase and superoxide dismutase of the tissue. 0.01 mm thick polyethylene film package could effectively maintain the comprehensive sensory quality of red pepper, which was closely related to the microenvironment of low O₂ (volume fraction: 4.15%~9.49%) and high CO₂ (volume fraction: 3.40%~7.10%) formed in its bag film. The 0.01 mm thick polyethylene film package can maintain the storage quality of postharvest red pepper in a better way and it is the suitable material for packaging, storage and transportation of postharvest red pepper.

KEY WORDS: red pepper; polyethylene; film package; postharvest storage; quality; antioxidant enzyme

红椒属茄果类蔬菜, 富含维生素 C、胡萝卜素和辣椒素^[1], 是日常膳食不可缺少的蔬菜和调味品。“先红一号”红椒产于淮安地区, 曾获“中国地理标志证明

商标”、“中国驰名商标”等荣誉。红椒呈粗牛角状, 果面光滑, 果肉厚实, 其生物碱特别是辣椒碱含量较四川等地的辣椒低 15%~20%, 辣味适中, 具有较好

收稿日期: 2017-07-31

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 (CX(16)1021)

作者简介: 黎春红 (1992—), 女, 沈阳农业大学硕士生, 主攻果蔬保鲜。

通信作者: 李鹏霞 (1976—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为果蔬保鲜与加工。

的经济价值^[2]。红椒含水量高且内部为空腔结构，若采后贮藏方式和环境不当，极易发生微生物侵染、失水萎蔫、低温冷害等问题^[3]，使红椒品质劣变，严重影响其食用和商品价值。

为延缓红椒后熟衰老和品质劣变，目前的保鲜方法主要有冷藏、气调、辐射、保鲜剂及热处理等^[4]。冷藏是果蔬贮运保鲜最基本的方法，但红椒属于冷敏性植物，贮藏温度低于 7~10 ℃ 时易发生冷害^[5]，且冷库建设成本高、推广难度大；气调^[6]能在一定程度上抑制果蔬呼吸及乙烯释放速率，减缓后熟衰老进程，结合冷藏效果更佳，但同样受限于设备和场地因素；涂膜^[7]等保鲜剂处理技术在红椒的贮藏保鲜领域越来越成熟，但操作繁琐、人工成本高，部分化学药剂还存在一定安全隐患；Kikuchi 等^[8]研究发现，辐射处理能减少辣椒的腐烂现象，并保持良好的品质，但设备昂贵，有辐射扩散等隐患；热处理虽能起到杀菌作用并抑制某些酶的活性，但易导致果蔬营养物质流失。可见，上述保鲜方法均有一定的应用范围和局限性。

薄膜包装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^[9]，与其他保鲜技术相比，具有方便、安全、经济等优势^[10]，已在水蜜桃^[11]、桑葚^[12]等果蔬贮藏保鲜中得到广泛的应用与推广^[13]。不同品种的果蔬呼吸强度及最适宜气体比例不同，并且包装袋会阻止果蔬代谢过程中产生的有害气体的散发，并不是所有包装都有利于采后红椒的贮藏保鲜，因此筛选出适宜红椒贮藏保鲜的薄膜包装具有较高实用价值。文中实验选取 5 种不同厚度的聚乙烯（PE）薄膜包装，研究不同聚乙烯薄膜包装对红椒保鲜效果的影响，为红椒常温贮藏保鲜提供技术参考。

1 实验

1.1 材料和仪器

主要材料：“先红一号”红椒，采于江苏淮安，采后 2 h 内运回实验室，挑选大小均匀、成熟度一致、无机械损伤的红椒备用；聚乙烯薄膜包装，厚度分别为 0.01，0.02，0.03，0.04，0.05 mm 的聚乙烯袋，均购自天津市国家农产品保鲜工程技术研究中心，规格为 30 cm×36 cm，所使用的聚乙烯薄膜包装性能见表 1，渗透系数由天津市国家农产品保鲜工程技术研究中心的透气性测试仪测定。

主要仪器：TU-1810 紫外-可见分光光度计，北京普析通用仪器公司；Danbell 气体分析仪，丹麦 Dansensor 公司；MIR-254 控温箱，日本三洋公司；PAL-1 型手持数显折光仪，日本 Atago 公司；TLP 质构仪，美国 FTC 公司。

表 1 不同聚乙烯薄膜包装性能对照
Tab.1 Performance comparison of different polyethylene film packages

名称	厚度/mm	渗透系数/(mL·m ⁻² ·d ⁻¹)	
		CO ₂	O ₂
P1	0.01	31 616.57	4329.00
P2	0.02	553 525.26	44 0129.22
P3	0.03	95 192.28	34 438.62
P4	0.04	63 785.31	7543.56
P5	0.05	92 684.12	10 506.98

1.2 方法

1.2.1 处理

供试红椒分别装入 5 种包装袋，每组设 18 袋重复，每袋装入 8 个红椒，质量约为（800±50）g，封口，并于常温（23±1 ℃，80%~90%）条件下贮藏 12 d，期间每隔 2 d 取样 1 次，测定袋内 O₂ 和 CO₂ 的体积分数，观察其腐烂程度，测定可溶性固形物含量并称量。从各处理组中随机选取 8 个红椒，从同一部位切下 2 cm×2 cm 小块用于质地剖面分析（TPA）测定，另外再随机选取 12 个红椒，切去头尾、除籽瓢，保留部分用液氮冷冻，用于相关品质指标的测定。

1.2.2 硬度

将试样置于质构仪 P/50 探头下进行 TPA 测定，感应元量程为 1000 N。测试参数：测试高度为 20 mm，测试速度为 60 mm/min，变形量为 30%，起始力为 0.6 N，间隔时间为 10 s。

1.2.3 可溶性固形物质量分数

可溶性固形物（TSS）质量分数即果实汁液中可溶性固形物质量所占测定汁液总质量的百分比，用手持折光仪随机测定 1.2.1 节中的新鲜试样，重复测定 10 次。

1.2.4 质量损失率

用电子天平称取红椒质量，每个处理组测定 4 袋，重复测定 3 次，质量损失率（%）的计算为：质量损失率 = $\frac{\text{贮藏前质量} - \text{测定时质量}}{\text{贮藏前质量}} \times 100\%$ 。

1.2.5 腐烂率

果柄染菌及霉变、果肉霉斑直径大于 0.5 cm 即为腐烂，对所有供试红椒进行观察，腐烂率（%）的计算为：腐烂率 = $\frac{\text{腐烂红椒的个数}}{\text{该处理组红椒总个数}} \times 100\%$ 。

1.2.6 感官评价

感官指标采用观察法，由 15 人组成的评价小组对红椒的组织、色泽、气味、腐烂情况进行评定，评分标准见表 2。

表2 感官评价的评分标准
Tab.2 Criteria for sensory evaluation

感官指标	评分				
	1~2	3~4	5~6	7~8	9~10
组织	果肉软烂、果形软塌	果肉稍软、无弹性	果肉失水、表皮皱缩	果形较饱满	果形饱满、坚挺
色泽	表皮有褐色烂斑	色泽暗淡、无光泽	色泽加深(暗红)	色泽基本正常	色泽水红
气味	刺鼻的霉味	酸臭的霉味	有发霉的气味	稍有异味	气味正常
腐烂情况	果柄严重腐烂、表皮水浸状软烂	果柄腐烂、表皮有大量霉斑	果柄开始腐烂、表皮有霉斑	果柄褐变长霉	无腐烂现象

1.2.7 袋内 O₂ 和 CO₂ 体积分数

采用 Danbell 气体分析仪测定包装袋内 O₂ 和 CO₂ 体积分数。

1.2.8 酶活性

取 2 g 样品研磨后加入 5 mL 浓度为 50 mmol/L 的磷酸缓冲液 (pH 值为 7.8, 另含浓度为 0.1 mmol/L 的乙二胺四乙酸, 乙二胺四乙酸内含质量分数为 0.3% 的聚乙二醇辛基苯基醚和质量分数为 4% 的聚乙烯吡咯烷酮 PVP), 匀浆, 在温度为 4 ℃、转速为 10 000 r/min 的条件下离心 20 min, 上清即为酶提取液。

抗坏血酸过氧化物酶 (APX)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性测定参考 Mohamed 等^[14] 的方法。

1.3 数据处理及分析

采用 Excel 2007 软件统计数据, 所有数据为 3 次以上重复试验的平均值±标准误差。采用 SPSS 21.0 对数据进行分析, 数据处理间差异显著性检验采用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 贮藏效果图

不同包装处理组红椒的贮藏效果见图 1。新鲜红椒富有光泽, 果肉厚实, 果柄饱满呈鲜绿色。贮藏 8 d 后, P2, P3, P4, P5 包装处理组的红椒果柄出现明显腐烂, 且果皮颜色较深。贮藏 12 d 后, 除 P1 外其余包装处理组的红椒果柄均出现严重霉变、腐烂现象, 包装袋内有刺鼻的霉味及酸臭味, 果皮颜色暗淡, 果肉皱缩萎蔫, 失去食用价值与商品性。P1 处理组贮藏效果较好, 果肉没有明显腐烂和失水症状。相较而言, P1 包装处理可有效延缓采后红椒的品质劣变。

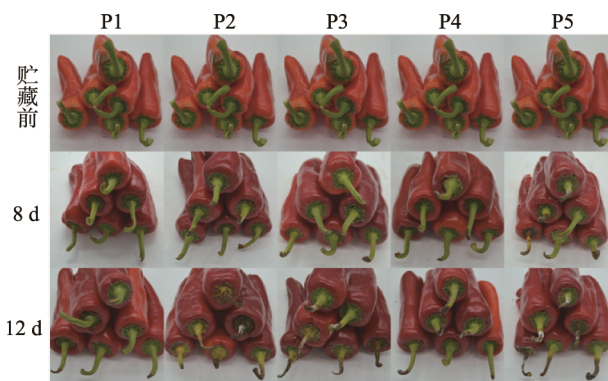


图1 不同包装处理组红椒的贮藏效果

Fig.1 Storage effects of different packaging treatment groups of red pepper

2.2 感官评价

不同聚乙烯薄膜包装对红椒感官评价的影响见图 2, 可知随贮藏时间的延长, 红椒品质呈下降趋势。贮藏前期 (0~6 d) 各包装处理组均能保持红椒较高的感官品质, 贮藏后期 (8~12 d) 红椒品质急剧下降。贮藏至 8 d 时, P2, P3, P4, P5 处理组红椒果柄开始霉变、腐烂, 感官品质明显下降。贮藏结束时, P1 处理组红椒果形饱满, 质地硬挺, 果柄较绿, 除个别果柄有轻微褐变现象外均保持着较高的感官评分, 且在第 8 天和第 10 天时均极显著优于其余处理组 ($P < 0.01$)。综合组织质地、气味、色泽、腐烂情况等品质指标, P1 包装处理能显著维持红椒贮藏期间的品质。

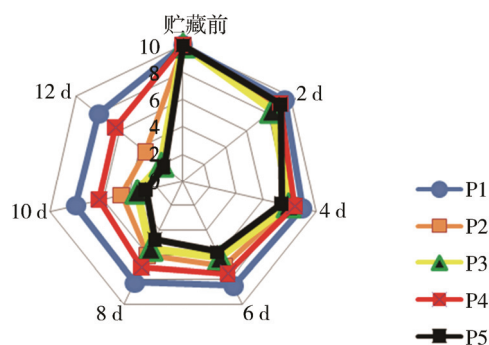


图2 不同聚乙烯薄膜包装对红椒感官评价的影响

Fig.2 Effects of different polyethylene film packages on sensory evaluation of red pepper

2.3 硬度

硬度反映的是红椒果实在外力作用下发生形变所需的屈服力大小。贮藏期间红椒水分流失, 表皮干皱萎蔫, 支撑力下降, 导致椒壁组织硬度呈下降趋势, 见图 3。贮藏前期 (0~2 d), 各包装处理组红椒硬度急剧下降, 之后趋于平缓。贮藏期间, P2 包装处理组硬度由 $(200.50 \pm 21.70) \text{ kg/cm}^2$ 下降到 $(43.70 \pm 5.58) \text{ kg/cm}^2$, 降低了 78.20%; 同期 P1, P3, P4, P5 处理

组下降幅度均低于 P2, 分别为 55.16%, 60.20%, 72.67%, 64.74%, 且 P1 处理组红椒硬度显著高于 P2 和 P4 ($P<0.05$)。可见, P1 包装处理在一定程度上延缓了红椒肉质地的软化进程。

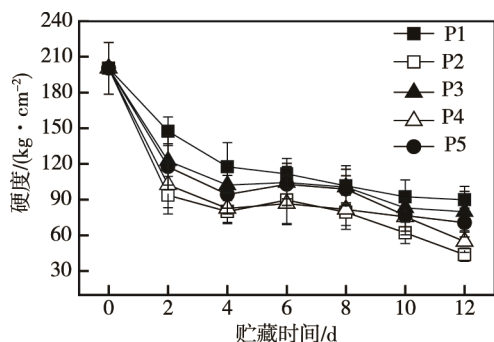


图 3 不同聚乙烯薄膜包装对红椒硬度的影响
Fig.3 Effects of different polyethylene film packages on hardness of red pepper

2.4 TSS 质量分数

果蔬采后自身呼吸代谢导致营养物质消耗是可溶性固形物含量降低的重要原因。贮藏期间, 不同包装处理的红椒 TSS 含量大体呈下降趋势, 见图 4, 而 P1 处理组红椒的 TSS 含量变化趋势平稳, 稍有下降; 同期 P2, P3, P4, P5 处理组 TSS 含量在 6~8 d 略有上升, 峰值出现在 8 d 左右。贮藏 12 d 时, P1 处理组 TSS 质量分数仅下降了 0.47%, 显著高于 P2 与 P5 处理组 ($P<0.05$)。可见, P1, P3, P4 薄膜包装在维持红椒 TSS 含量方面的效果明显优于 P2, P5。

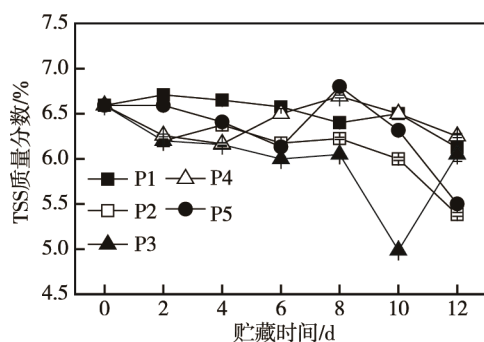


图 4 不同聚乙烯薄膜包装对红椒可溶性固形物含量的影响
Fig.4 Effects of different polyethylene film package on soluble solid content of red pepper

2.5 质量损失率

贮藏期间红椒质量损失率逐渐上升, 见图 5, 这与果蔬水分流失及呼吸消耗有很大关系。至贮藏结束, 各包装处理组红椒质量损失率均保持了较低水平, 最高仅为 3.56%, 这与薄膜包装具有较好的保水性有关。其中, P1 薄膜包装对红椒的质量保持效果极显著优于其他处理组 ($P<0.01$), 这与 P1 薄膜包装较低的气体渗透性密切相关。贮藏期间, P1 薄膜袋内能自发形成较高的 CO_2 浓度, 相关性分析表明红椒

的质量损失率与袋内 CO_2 浓度呈极显著负相关效应 ($P<0.01$)。可见, PE 薄膜包装均能延缓质量损失, 其中 P1 薄膜包装的效果更为突出。

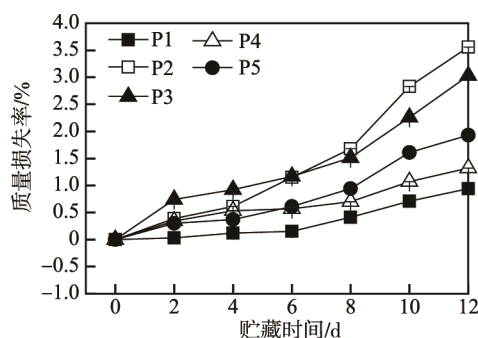


图 5 不同聚乙烯薄膜包装对红椒质量损失率的影响
Fig.5 Effects of different polyethylene film packages on weight loss rate of red pepper

2.6 腐烂率

不同聚乙烯薄膜包装对红椒腐烂率的影响见图 6。贮藏前期 (0~6 d), 各包装处理组红椒均未见腐烂, 这可能与红椒贮藏初期具有一定的抗病性及耐贮性有关。贮藏后期 (6~12 d), 腐烂率大幅上升。贮藏 8 d 时, P5 处理组红椒腐烂率达 30.74%; 12 d 时, P5 包装处理组红椒腐烂率急剧上升至 87.78%, 同期 P1 包装处理组红椒腐烂率仅为 27.41%, 极显著低于其余处理组 ($P<0.01$)。可见, P1 包装处理能有效推迟贮藏期间红椒腐烂现象的出现。

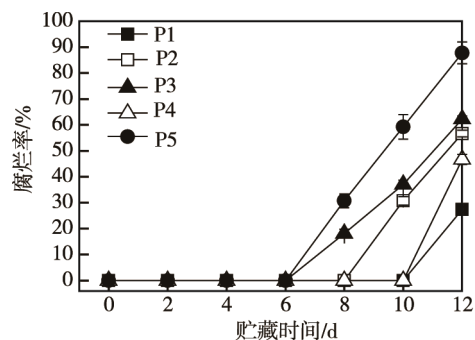


图 6 不同聚乙烯薄膜包装对红椒腐烂率的影响
Fig.6 Effects of different polyethylene film packages on rotting rate of red pepper

2.7 O_2 和 CO_2 的体积分数

包装袋内 O_2 和 CO_2 的比例对果蔬品质有较大影响, 不适宜的气体比例会导致果蔬严重的生理失调^[15]。贮藏期间, 各包装袋内气体体积分数变化比较平稳, 见图 7。相较于其他薄膜包装, P1 包装袋内始终保持着低 O_2 (体积分数为 4.15%~9.49%) 及高 CO_2 (体积分数为 3.40%~7.10%) 动态平衡浓度, 这与 P1 薄膜包装更低的气体渗透性 (CO_2 和 O_2 的渗透系数分别为 31 616.57 和 4329 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) 有直接联系。

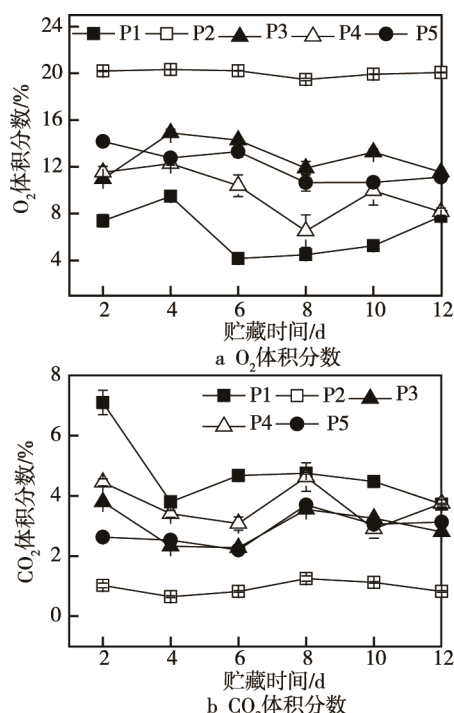


图7 不同聚乙烯薄膜包装袋内 O_2 与 CO_2 体积分数的变化
Fig.7 Changes of O_2 and CO_2 volume fraction in different polyethylene film packaging bags

2.8 酶活性

APX, POD, CAT, SOD 均为果蔬重要的抗氧化酶。贮藏期间,红椒 APX 活性呈升—降—升—降的波动趋势,见图 8a。贮藏前期(0~2 d),各处理组 APX 活性大幅上升,6 d 后趋于平稳。贮藏 12 d 时, P1, P2, P3, P4, P5 处理组 APX 活性分别降低了 1.78%, 25.96%, 10.38%, 9.66%, 42.94%。P1 处理组始终保

持着较高的 APX 活性,且在贮藏的第 4 天显著高于其他处理组 ($P<0.05$)。可见, P1 包装处理能维持红椒较高的 APX 活性,可提高红椒对氧化胁迫的耐受性。

贮藏期间,红椒 POD 活性变化趋势同 APX,见图 8b。除 P1 外,贮藏前期(2~4 d)其余处理组 POD 活性大幅降低,6 d 后趋于平稳。0~12 d 内, P1 处理组 POD 活性变化较稳定,上升了 0.48%,且在贮藏的第 4 天显著高于其余处理组 ($P<0.05$)。可见, P1 包装处理能有效提高红椒 POD 活性,维持红椒活性氧代谢水平。

CAT 能有效延缓植物体内 H_2O_2 对细胞的氧化作用,是保护自身免受活性氧自由基毒害的重要酶类。贮藏期间,红椒 CAT 活性大体呈现下降趋势,见图 8c,可知 P1 处理组下降趋势较缓慢。贮藏中期(2~10 d), P2, P3, P4, P5 处理组 CAT 活性呈升—降—升的波动,但总体呈下降趋势。可见, P1 包装处理能有效维持红椒的 CAT 活性,延缓红椒组织内 H_2O_2 对细胞的氧化作用,降低细胞损伤^[16]。

SOD 是植物体内活性氧清除酶系统的重要保护酶,其活性下降是生物体衰老的标志之一。贮藏期间,红椒 SOD 活性变化趋势同 APX,见图 8d,总体呈双峰型曲线, P1 处理组的 2 个 SOD 活性高峰均高于其余处理组,且始终保持着较高的 SOD 活性,在第 2, 4, 10 天时显著高于其余处理组 ($P<0.05$)。0~12 d 内, P1 和 P5 处理组 SOD 活性上升了 39.43%, 26.12%, 而 P2, P3, P4 处理组 SOD 活性分别降低了 62.10%, 53.63%, 27.87%。由此可见, P1 包装处理可有效抑制红椒 SOD 活性的降低,维持红椒较高的抗氧化能力。

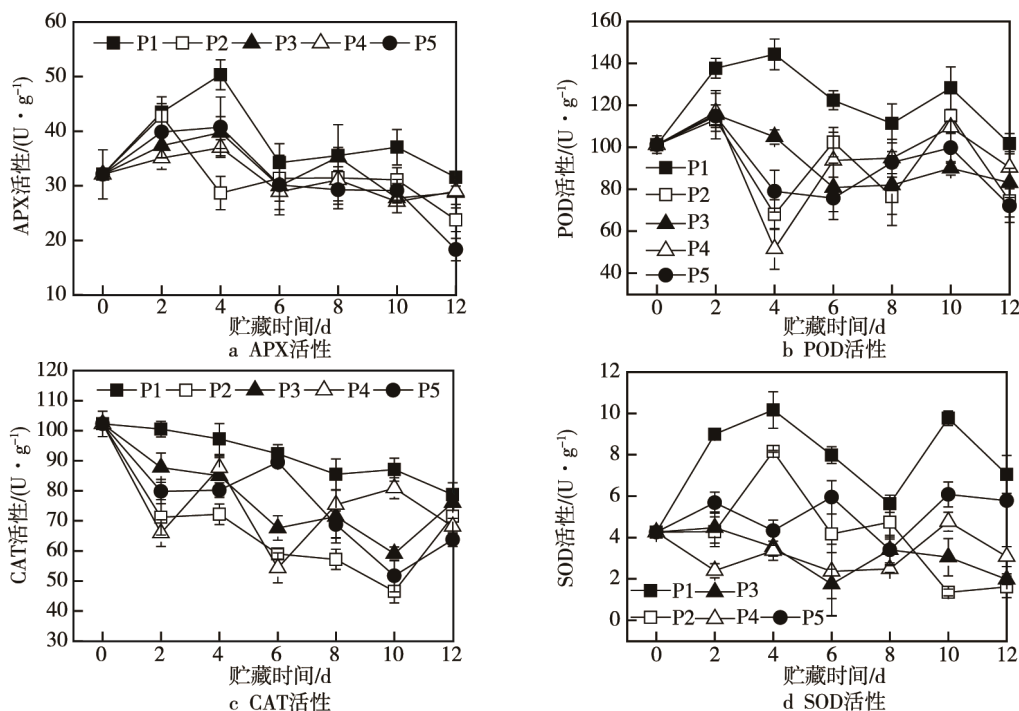


图8 不同聚乙烯薄膜包装对红椒酶活性的影响
Fig.8 Effects of different polyethylene film packages on enzymatic activities of red pepper

2.9 红椒感官品质的多变量分析

红椒的感官品质是决定其商品性的主要因素,为了深入探讨造成各处理组红椒感官品质差异的主要原因,进一步分析薄膜袋厚度及袋内气体比例对红椒感官品质的影响程度。利用主成分分析对上述指标进行降维处理,在所有主成分构成中,信息主要集中在前 2 个主成分(PC1 和 PC2),其贡献率分别为 50.22%, 31.62%, 累积贡献率达 81.84%。分析结果表明,各指标对第 1 主成分(PC1)贡献大小为 CO₂ 浓度>O₂ 浓度>感官品质>薄膜厚度。通径分析是以相关分析与回归分析为基础,研究因变量与自变量间的关系,其中直接及间接通径系数的大小可揭示各个因素对因变量的相对重要性^[17]。以红椒的感官品质为因变量,进行逐步回归分析,得到逐步回归方程: $Y=5.324-49.342X_1+0.106X_2+0.629X_3$ (X_1, X_2, X_3 分别代表薄膜厚度、O₂ 浓度、CO₂ 浓度)。各指标对感官品质的直接通径系数由大到小依次为 CO₂ 浓度>薄膜厚度>O₂ 浓度,同时 CO₂ 浓度又通过 O₂ 浓度对感官品质产生较大的间接作用,见表 3。经相关性分析表明,薄膜袋内 CO₂ 浓度与抗氧化相关酶活(APX, POD, AT, OD)呈极显著正相关($P<0.01$);与感官品质、硬度、可溶性固形物含量同样呈极显著正相关效应($P<0.01$);与质量损失率呈极显著负相关效应($P<0.01$);与腐烂率也具有一定的相关性。薄膜包装袋厚度与抗氧化相关酶活呈显著负相关($P<0.05$);与感官品质同样呈极显著负相关($P<0.01$);与硬度、可溶性固形物含量、质量损失率、腐烂率有一定相关性,但并不显著($P>0.05$)。由上述分析可知,薄膜袋内 CO₂ 浓度是影响贮藏期间红椒感官品质的决定性因素。

表 3 以感官品质为因变量的通径分析结果
Tab.3 The results of path analysis with sensory quality as the dependent variable

因子	直接通径系数	→薄膜厚度	→O ₂	→CO ₂
薄膜厚度	-0.335		-0.011	0.034
O ₂	0.245	0.008		-0.216
CO ₂	0.435	-0.044	-0.384	

注: →表示一个因子通过另一个因子对感官品质产生影响的间接通径系数

3 讨论

3.1 薄膜包装对红椒品质相关指标的影响

薄膜包装利用红椒果实自身贮藏期间的呼吸作用使袋内形成一个高 CO₂、低 O₂ 的气体环境,同时薄膜包装本身具有一定的透气性,从而可对袋内的气体成分进行自动调节,而气体组分对维持果实正常的

生理代谢至关重要, Hoogerwerf 等^[18]研究发现,增加 CO₂ 体积分数能减轻冷害症状,降低乙烯释放量,抑制甜椒果实的衰老。文中试验中, P1 薄膜包装渗透 CO₂ 及 O₂ 的能力较弱,在包装袋内自主维持着高 CO₂、低 O₂ 的气体比例,使得红椒组织酶促生化反应及新陈代谢速率减缓,可有效延缓红椒硬度的降低,并保持较高的可溶性固形物含量及感官品质,由多变量分析可知,这与 P1 薄膜袋内形成的高 CO₂ (体积分数为 3.40%~7.10%) 微环境密切相关。CO₂ 能够干扰乙烯的生理作用,延缓可溶性果胶的增加,从而保持红椒较高的果肉硬度,并在一定程度上抑制了红椒果实的代谢^[19]。类似的研究显示,在 O₂ 和 CO₂ 体积分数为 4%~6% 和 2%~5% 的贮藏条件下能有效维持辣椒品质, 9 ℃ 下延长贮藏期至 42 d^[20]。

红椒果实含水量较高,常温条件下极易受到腐生菌和潜伏病原菌的侵染,其中红椒果柄霉变最为严重^[21]。该研究中, P5 包装处理组红椒果柄贮藏前期就出现明显的腐烂霉变现象,主要是由于 P5 薄膜包装材质较厚,包装袋内的水蒸气未能及时排出,过于潮湿的环境使红椒果柄及表皮微生物大量繁殖,加剧腐烂。P1 包装处理组的红椒始终保持着较低的腐烂率,主要是因为 P1 薄膜包装较薄,不易形成水蒸气堆积等适宜霉变的条件,另外, P1 薄膜袋内形成的高 CO₂ 浓度可抑制红椒果皮微生物的生长^[22]。此外,刘珣^[23]报道了室温下没有任何保护措施的红椒贮藏至 14 d 时,质量损失率高达 14.80%, 35 d 时超过 35%。该研究中,贮藏 12 d 时,各处理组红椒的质量损失率最高仅为 3.56%,表明 PE 薄膜包装均能延缓质量损失,这跟 PE 薄膜包装能在一定程度上降低红椒果实水分散失有关。

3.2 薄膜包装对红椒抗氧化酶活性的调控

植物在逆境或衰老过程中细胞内活性氧代谢平衡被打破,从而有利于自由基生成,自由基积累过多会促进细胞膜脂过氧化,对细胞造成一定伤害,降低防御病原菌侵入的能力,进而加速衰老^[24],因此果蔬的抗氧化能力直接影响果蔬的采后品质。APX 是抗坏血酸的特异性亲和酶, POD 能催化合成植保素、木质素及其他酚类物质^[25],与 CAT 协同参与清除、降低 H₂O₂ 对膜系统的氧化伤害。该试验结果表明, P1 处理组红椒的 APX, POD 及 CAT 始终保持了较高的活性水平,这与赵天宏等^[26]的研究结果基本相同,可见适宜的 CO₂ 浓度可促进植物体内抗氧化酶活性的提高,从而减轻红椒果实在贮藏期间因过氧化问题而造成的伤害。SOD 活性维持在较高水平可抑制 ACC (乙烯合成前体) 向乙烯的转化,从而平衡红椒组织活性氧代谢,增强对病原菌的防御能力,延缓衰老^[27]。P1 处理组 SOD 活性始终保持着较高的水平,

从而较好地调动红椒组织抗氧化酶系的活性水平,维持较高的活性氧清除能力,增强对病原菌的防御。

4 结语

常温条件下不同聚乙烯薄膜包装对采后红椒贮藏品质的影响程度不一。P1 薄膜包装在整个贮藏期间,能保持红椒较高的感官品质,减缓硬度和可溶性固形物含量的下降,抑制质量损失与腐烂,有效延缓活性氧清除酶 APX 和 CAT 活性的降低,同时提高抗氧化酶 POD 和 SOD 的活性水平,这与 P1 薄膜袋内形成的低 O_2 (体积分数为 4.15%~9.49%) 及高 CO_2 (体积分数为 3.40%~7.10%) 气体微环境密切相关。综合贮藏期间对采后红椒的保鲜效果、成本投入及经济效益,聚乙烯薄膜包装 P1 (厚度为 0.01 mm) 在红椒的采后贮藏保鲜及流通中具有极大的推广价值。

参考文献:

- [1] 郭峰,王毓宁,罗淑芬,等. 1-MCP 处理对采后红椒品质影响的多变量分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 198—203.
GUO Feng, WANG Yu-ning, LUO Shu-fen, et al. Multivariate Analysis of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Treatment on the Quality of Red Pepper during Postharvest Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(11): 198—203.
- [2] 金波,陈月珍,何光进,等. 淮安红椒大棚栽培技术[J]. 现代农业科技, 2015(16): 92.
JIN Bo, CHEN Yue-zhen, HE Guang-jin, et al. Cultivation Techniques of Huai'an Red Pepper Greenhouse [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015 (16): 92.
- [3] SERRANO-MARTINEZ A, AMOR F D, FORTEA M I, et al. Effect of Plant Age and Saline Water on Antioxidant and Peroxidase Activity in Sweet Pepper Fruit[J]. Journal of Agricultural Science, 2014, 6(12): 139—151.
- [4] 李文文,李俊俊,邵远志. 贮藏温度对辣椒果实品质和采后生理的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(11): 1692—1696.
LI Wen-wen, LI Jun-jun, SHAO Yuan-zhi. Effects of Storage Temperature on Quality and Postharvest Physiologies of Chili Fruits[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(11): 1692—1696.
- [5] 王慧,张艳梅,王大鹏,等. 热激处理对青椒耐冷性及抗氧化体系的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 312—316.
WANG Hui, ZHANG Yan-mei, WANG Da-peng, et al. Effect of Heat Shock Treatment on Chilling Tolerance and Antioxidant Enzyme Systems in Hot Green Pepper [J]. Food Science, 2013, 34(2): 312—316.
- [6] MISTRIOTIS A, BRIASSOULIS D, GIANNOULIS A, et al. Design of Biodegradable Bio-based Equilibrium Modified Atmosphere Packaging (EMAP) for Fresh Fruits and Vegetables by Using Micro-perforated Poly-lactic Acid (PLA) Films[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 111: 380—389.
- [7] 叶云,何英姿. 涂膜保鲜技术应用于果蔬保藏的研究[J]. 食品科技, 2009(6): 243—246.
YE Yun, HE Ying-zi. Application of Film-coating in Storage of Fruits and Vegetables[J]. Food Science and Technology, 2009(6): 243—246.
- [8] KIKUCHI R, PELOVSKI Y. Low-dose Irradiation by Electron Beam for the Treatment of High- SO_x Flue Gas on a Semi-pilot Scale-consideration of By-product Quality and Approach to Clean Technology[J]. Process Safety & Environmental Protection, 2009, 87(2): 135—143.
- [9] SOUSA-GALLAGHER, MARIA J, MAHAJA N, et al. Integrative Mathematical Modelling for MAP Design of Fresh-produce: Theoretical Analysis and Experimental Validation[J]. Food Control, 2013, 29(2): 444—450.
- [10] CASTELLANOS D A, POLANIA W, HERRERA A O. Development of an Equilibrium Modified Atmosphere Packaging (EMAP) for Feijoa Fruits and Modeling Firmness and Color Evolution[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 120: 193—203.
- [11] 张潇方,刘升,王达,等. 不同薄膜包装对水蜜桃冷藏品质的影响[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 91—95.
ZHANG Xiao-fang, LIU Sheng, WANG Da, et al. Effect of Different Film Packaging on the Quality of Juicy Peach at Cold Storage[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 91—95.
- [12] 王亚楠,胡花丽,古荣鑫,等. 不同薄膜包装对桑葚采后品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 224—229.
WANG Ya-nan, HU Hua-li, GU Rong-xin, et al. Influence of Different Film Packaging on Postharvest Quality of Mulberry[J]. Food Science, 2014, 35(18): 224—229.
- [13] JAFRI M, JHA A, BUNKAR D S, et al. Quality Retention of Oyster Mushrooms (*Pleurotus Florida*) by a Combination of Chemical Treatments and Modified Atmosphere Packaging[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 76(1): 112—118.
- [14] MOHAMED S A, AWAD M A, ALQURASHI A D. Antioxidant Activity, Antioxidant Compounds, Antioxidant and Hydrolytic Enzymes Activities of 'Barhee' Dates at Harvest and during Storage as Affected by Preharvest Spray of Some Growth Regulators[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 167: 91—99.
- [15] BANDA K, CALEB O J, JACOBS K, et al. Effect of Active-modified Atmosphere Packaging on the Respiration Rate and Quality of Pomegranate Arils (cv. Wonderful)[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 109: 97—105.

- [16] UENO M, SEKINE-SUZUKI E, NYUI M, et al. Amplification of Glutathione-mediated Oxidative Stress by Catalase in an Aqueous Solution at Hyperthermal Temperatures[J]. *Journal of Clinical Biochemistry & Nutrition*, 2017, 60(2): 93—99.
- [17] LOPEZ M L, VILLATORO C, FUENTES T, et al. Volatile Compounds, Quality Parameters and Consumer Acceptance of Pink Lady Apples Stored in Different Conditions[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 43(1): 55—57.
- [18] HOOGERWERF S W, KETS E P W, DIJKESTER-HUIS J. High-oxygen and High-carbon Dioxide Containing Atmosphere Inhibit Growth of Food Associate Mould[J]. *Europe Food Research Technology*, 2002, 35(5): 419—422.
- [19] ESCALONA V H, VERLINDEN B E, GEYSEN S, et al. Changes in Respiration of Fresh-cut Butter Head Lettuce under Controlled Atmospheres Using Low and Super Atmospheric Oxygen Conditions with Different Carbon Dioxide Levels[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2006, 39(1): 48—55.
- [20] 李素清, 张艳梅, 秦文. 青椒气调贮藏工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(1): 318—322.
LI Su-qing, ZHANG Yan-mei, QIN Wen. Study on CA Storage Technology of Green Peppers[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(1): 318—322.
- [21] 陈娟娟, 陶乐仁, 赵月, 等. 采后剪柄和伤口密封对青辣椒冷藏品质变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(2): 331—334.
CHEN Juan-juan, TAO Le-ren, ZHAO Yue, et al. Effect of Cutting Stem and Sealing Wound on Quality of Postharvest Green Capsicum during Storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(2): 331—334.
- [22] DADER B, FEREEES A, MORENO A, et al. Elevated CO₂ Impacts Bell Pepper Growth with Consequences to *Myzus Persicae* Life History, Feeding Behavior and Virus Transmission Ability[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 120.
- [23] 刘珣. 辣椒采后生理及贮藏保鲜技术研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2008.
LIU Xun. Study on Postharvest Physiology and Storage Techniques of Pepper Fruit[D]. Shihezi: Shihezi University, 2008.
- [24] KUMARI S, VAISHNAV A, JAIN S, et al. Bacterial-mediated Induction of Systemic Tolerance to Salinity with Expression of Stress Alleviating Enzymes in Soybean[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2015, 34(3): 1—16.
- [25] 刘红艳, 张雷刚, 胡花丽, 等. 气调处理对绿芦笋抗氧化及抗病酶活性的影响[J]. *核农学报*, 2017, 31(6): 1119—1127.
LIU Hong-yan, ZHANG Lei-gang, HU Hua-li, et al. Effect of Controlled Atmosphere on the Activities of Antioxidant and Disease Resistance Related Enzymes in Green Asparagus[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(6): 1119—1127.
- [26] 赵天宏, 刘波, 王岩, 等. UV-B 辐射增强和 O₃ 浓度升高对大豆叶片内源激素和抗氧化能力的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(8): 2695—2702.
ZHAO Tian-hong, LIU Bo, WANG Yan, et al. Effect of Plant Endogenous Hormones and Antioxidant Ability in Soybean Leaves under UV-B and Ozone Stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(8): 2695—2702.
- [27] 李洁, 温昕晔, 张辉, 等. 一氧化氮对绿熟和粉红期番茄采后抗氧化相关酶的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(6): 329—333.
LI Jie, WEN Xin-ye, ZHANG Hui, et al. Effect of Nitric Oxide on the Antioxidant Enzymes of Tomato Fruit at Mature Green and Pink Stage during Storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(6): 329—333.