

不同厚度PE袋对冷链物流过程中荔枝褐变的影响

王淋靓, 刘帅民, 冯春梅, 朱 毅, 黎新荣, 檀业维, 陈蕊蕊

The Effect of Different Thickness Polyethylene Bags on Litchi Browning during Cold Chain Logistics

WANG Linliang, LIU Shuaimin, FENG Chunmei, ZHU Yi, LI Xinrong, TAN Yewei, and CHEN Ruirui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021100325>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

CO₂冷海水预处理结合气调包装对南美白对虾品质的影响

Effect of CO₂-cold Seawater Pretreatment Combined with Modified Atmosphere Packaging on the Quality of *Penaeus vannamei*

食品工业科技. 2021, 42(3): 253-257

冷鲜鸭肉气调包装微环境优化及其对品质的影响

Optimization of Modified Atmosphere Packaging Microenvironment of Chilled Duck and Its Influence of Quality

食品工业科技. 2021, 42(11): 268-274

气调包装狮子头冷藏过程中微生物变化及菌群结构分析

Analysis of Microbial Counts and Bacterial Community in Modified Atmosphere Packaging Meatballs

食品工业科技. 2021, 42(11): 99-105

外源褪黑素处理对采后荔枝褐变及活性氧代谢的影响

Effects of Exogenous Melatonin on Browning and Active Oxygen Metabolism of Postharvest *Litchi*

食品工业科技. 2021, 42(6): 282-287

鲜切菠菜和香菜专用自发气调包装的研制

Development of Special Modified Atmosphere Packaging of Fresh-cut Spinach and Coriander

食品工业科技. 2020, 41(11): 287-293

荔枝气调保鲜研究进展

Research progress of gas-adjusted fresh-preserved of litchi

食品工业科技. 2017(23): 340-345



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王淋靓, 刘帅民, 冯春梅, 等. 不同厚度 PE 袋对冷链物流过程中荔枝褐变的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 314–320. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100325

WANG Linliang, LIU Shuaimin, FENG Chunmei, et al. The Effect of Different Thickness Polyethylene Bags on Litchi Browning during Cold Chain Logistics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 314–320. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100325

· 贮运保鲜 ·

不同厚度 PE 袋对冷链物流过程中荔枝褐变的影响

王淋靓¹, 刘帅民¹, 冯春梅^{1,*}, 朱 毅², 黎新荣¹, 檀业维¹, 陈蕊蕊¹

(1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001;

2. 海南大学食品科学与工程学院, 海南海口 570228)

摘 要: 本研究采用厚度为 10、20、30 μm 的聚乙烯袋包装“鸡嘴荔”荔枝, 结合冰袋模拟物流包装, 研究在当前冷链物流体系不完善情况下对荔枝果皮褐变、细胞膜透性、花青素代谢的影响。结果表明: 在贮藏过程中通过对果皮褐变、适销果比率及果实色差分量变化分析发现 20 μm 聚乙烯袋包装效果较好, 其次是 10 μm 厚度, 最差是 30 μm 。并且 20 μm 厚度聚乙烯袋显著抑制细胞膜透性上升, 这体现为贮藏期间果实组织更低的相对电导率 ($P < 0.05$)。进一步研究结果表明: 聚乙烯袋 (20 μm) 能通过抑制花青素生物合成中的关键酶苯丙氨酸解氨酶活性延缓花青素分解, 并结合抑制多酚氧化酶和过氧化物酶活性延缓荔枝果皮褐变。综上, 20 μm 聚乙烯袋相对于其它厚度可明显抑制荔枝褐变, 有效保持果实品质, 延长货架期。

关键词: PE 袋, 气调包装, 荔枝, 果皮褐变, 膜渗透性

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)15-0314-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100325



本文网刊:

The Effect of Different Thickness Polyethylene Bags on Litchi Browning during Cold Chain Logistics

WANG Linliang¹, LIU Shuaimin¹, FENG Chunmei^{1,*}, ZHU Yi², LI Xinrong¹, TAN Yewei¹, CHEN Ruirui¹

(1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530001, China;

2. College of Food Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: This study used polyethylene bags with thicknesses of 10, 20, and 30 μm to package "Jizuli" litchi, combined with ice bags to simulate logistics packaging, to study the effect on litchi peel browning, cell membrane permeability and anthocyanin metabolism under the current imperfect cold chain logistics system, in order to explore simple and efficient litchi fresh-keeping logistics technology for actual production. The results revealed that 20 μm polyethylene bags had better packaging effects, followed by 10 μm thickness, and the worst was 30 μm , by analyzing of pericarp browning, commercially acceptable rate and fruit color difference components during storage. And the 20 μm thickness polyethylene bags distinctly inhibited the increase in membrane permeability, which was reflected in the lower relative electrical conductivity of the fruit during storage ($P < 0.05$). Further research results indicated that the 20 μm polyethylene bag delayed the decomposition of anthocyanin via inhibiting the activity increase of phenylalanine ammonia lyase, the key enzyme of anthocyanin biosynthesis, combined with inhibiting the activities of polyphenol oxidase and peroxidase to delay the browning of the litchi. In summary, compared to other thicknesses, 20 μm polyethylene bags can significantly inhibit litchi browning, effectively maintain fruit quality and extend shelf life.

收稿日期: 2021-11-01

基金项目: 中央领导地方科技发展专项 (桂科 ZY20111007); 广西农业科学院基本科研业务专项资助项目 (桂科农 2021YT142); 广西重点研发计划 (桂科 AB21196056)。

作者简介: 王淋靓 (1988-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: wanglinliang@sina.cn。

*** 通信作者:** 冯春梅 (1971-) 女, 本科, 教授级高级工程师, 研究方向: 农产品贮藏保鲜与加工技术, E-mail: 516249910@qq.com。

Key words: PE bags; modified atmosphere packaging; litchi; pericarp browning; membrane permeability

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn)是属于无患子科荔枝属的亚热带常绿果树,因其果实诱人的红色外观、鲜美的风味和宜人的香气在国内外市场颇受欢迎^[1-2]。中国大陆是全球最大规模的荔枝生产区域,产量约占全球荔枝产量的 61.34%^[3]。然而采后荔枝由于旺盛的呼吸速率,在环境温度下放置 2~3 d,就会导致果皮出现褐变和腐烂等现象,对其外观品质产生不利的影响,并最终降低其商业价值^[2-5]。失水/干燥被认为是导致荔枝果皮褐变的主要原因之一,果皮组织干燥最终可以导致果皮酚类物质与多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(Peroxidase, POD)直接接触氧化,最终导致果皮褐变^[2,5]。目前,已经研究了多种方法用于控制荔枝果实的褐变和衰老,包括增强苯丙氨酸解氨途径、抑制能量代谢^[2];降低呼吸速率、延缓膜损伤^[5]等。然而随着电子商务在农业领域的深入,受价格和利润的驱使,为提高适销果比率“土法”冷链物流模式(常温运输车+泡沫箱+冰块)在电商渠道规模逐渐扩大^[6]。但由于相关的冷链体系不完善,包装技术不成熟,80% 以上的荔枝还是只能集中在产地及周边市场销售^[1,7]。

聚乙烯(Polyethylene, 简称 PE)袋是目前包装袋中使用量最大的一种保鲜膜,主要优点在于其加工成型方便,韧性强、防潮性和热封性能良好,透气性大等,并能通过调节果实微环境气体条件实现自发气调包装(Modified atmosphere package, MAP)以增强保鲜效果^[8-9]。因其操作简单、价格低廉、易于推广等优势,国内外在龙眼^[10]、水萝卜^[11]、平菇^[12]、核桃^[9]等水果或蔬菜中得到广泛应用。然而,在实际冷链物流中应用 PE 膜对采后荔枝果皮褐变和脂膜氧化机制的评价相对缺乏。

本研究探索应用 PE10(10 μm)、PE20(20 μm)及 PE30(30 μm)3 种不同厚度 PE 袋包装“鸡嘴荔”果实,结合冰袋模拟物流包装,研究不同 PE 袋对采后荔枝在当前冷链物流体系不完善情况下的保鲜效果。具体分析侧重于果实褐变,膜脂过氧化等,以期获得适宜当前冷链物流情况的 PE 包装厚度,为生产上探寻简易、高效的荔枝保鲜物流技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试“鸡嘴荔”荔枝 采摘自钦州市浦北县荔枝园,采摘后于当天立即运回果蔬保鲜实验室,挑选大小和成熟度(八成熟)一致,且无病虫害及机械伤的果实进行试验;施保功 美国富美实公司;L-苯丙氨酸、肉桂酸酯、邻苯二酚、愈创木酚 北京索莱宝科技有限公司;其他所用试剂皆为分析纯。

PE10:0.01 mm PE 袋、PE20:0.02 mm PE 袋、PE30:0.03 mm PE 袋 广西方彩新材料有限公司公司;3 kg 的泡沫箱、冰袋 南宁广顺包装有限公司;

MinoltaCR 400 色差仪 柯尼卡美能达传感公司;FJ200-S 数显高速分散均质机 上海标本模型厂;TG16-W 微量高速离心机 美国 Agilent 科技有限公司;SpectraMax 190 全波长酶标仪 美国 MD 分子仪器公司。

1.2 实验方法

1.2.1 荔枝包装实验设计 将供试荔枝用 500 mg/L 的施保功浸泡 2 min 进行灭菌处理,随机分组后用不同厚度 PE 袋封装:PE10, PE20, PE30, 每袋 0.5 kg 进行分装(预实验分为不加包装、30 μm PE、60 μm PE 和 90 μm PE 袋包装,通过观察褐变跟腐烂率不加包装跟 30 μm 效果较好)。模拟电商储运条件,用泡沫箱加上冰块常温 25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏。为了减少开箱取样造成的影响,每一组处理分装成 5 箱,每箱 2.5 kg,每隔 2 d 分别对处理组和对照组的果实褐变指数、适销果比率、色泽和相对电导率进行测定,褐变指数、适销果比率每个生物学重复为 45 个果实,色泽和相对电导率每个生物学重复 15 个果实,所有实验平行 3 次。与此同时,每个处理组果实进行果皮取样,用液氮速冻并捣碎,贮存于 -80°C 冰箱中以供后续生化指标测定。

1.2.2 褐变指数和适销果比率分析 褐变指数和适销果比率评定参照 Jiang 等^[4]的方法,荔枝果皮褐变通过目测评价每个果实表面褐变面积占总面积的比例,并将其分为五个等级:0=无褐变;1=轻微褐变($<5\%$);2= $<1/4$ 褐变;3= $1/4$ 至 $1/2$ 褐变;4= $>1/2$ 褐变。褐变指数计算为 $=\sum(\text{每类对应果实褐变等级} \times \text{对应果实个数}) / (4 \times \text{果实总数})$ 。通过计算未褐变的果实(褐变比例=0)相对于总果实数的比例来确定适销果比率。

1.2.3 果实色泽分析 果实色泽使用色差仪测定,根据 CIE 系统提供 L^* 、 a^* 和 b^* 值。 L^* 值代表亮度。 a^* 正值表示红色,负值表示绿色。 b^* 正值表示黄色, b^* 负值表示蓝色。在赤道轴上的 2 个等距点进行了两次测量。每个处理进行 3 个重复,每个重复包含 15 个果实。

1.2.4 花青素含量和苯丙氨酸氨裂解酶(Phenylalanine ammonia-lyase, PAL)活性分析 果皮中总花青素含量参照 Zhang 等^[13]所述的 pH 差值法测定。取 5 g 冷冻果皮组织加入 45 mL HCl(0.1 mol/L)于 25 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中震荡提取 24 h。之后分别加入 2.5 mL HCl 缓冲溶液(0.4 mol/L, pH1.0)和 2.5 mL Na_2HPO_4 缓冲溶液(0.4 mol/L, pH5.0)来稀释 0.5 mL 提取物的等分试样。在 510 nm 处测量每种混合物的吸光度,并计算混合物在 pH1.0 和 5.0 下的吸光度之间的差异。花青素含量通过标准品绘制的标准曲线进行计算,单位以 mg/g 鲜重(FW)表示。

PAL 活性测定参照 Assis 等^[14]的方法,解冻后果皮样品(2.0 g)加入 20 mL 预冷的硼酸-硼砂提取缓冲液(pH8.8),均质匀浆后,于 4 ℃、17000×g 离心 30 min,收集上清液即为粗酶提取液,试管中加入 3 mL 硼酸-硼砂缓冲液(50 mmol/L, pH8.8)和 0.5 mL L-苯丙氨酸溶液(20 mmol/L),在 37 ℃ 预保温 10 min,再加入 0.1 mL 酶液,混合后,以蒸馏水作为空白,灭活的酶液为对照,在 290 nm 处测定吸光度,60 min 后用 0.1 mL HCl(6 mol/L)终止反应。PAL 活性通过在 37 ℃ 下连续振荡 60 min 产生的肉桂酸酯来确定,酶活性定义为 nmol 肉桂酸/(min·g)FW。

1.2.5 果皮膜透性分析 细胞膜通透性根据果皮组织的相对电导率进行评估^[15],取来自 4 个果实的 12 片果皮组织,用蒸馏水漂洗干净。随后将其转移至含 30 mL 蒸馏水的锥形瓶中,25 ℃ 静置 20 min 后,用电导率仪测量初始电导率(P0)。然后将果皮样品溶液煮沸 20 min,然后迅速冷却至 25 ℃ 并测定果皮样品溶液最终电导率(P1)。相对电导率(%)的计算公式为:相对电导率(%)=P0/P1×100。

1.2.6 褐变相关酶类分析 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)粗酶提取参照 Zhang 等^[16]的方法,取 5 g 果肉组织于 40 mL 50 mmol/L 的磷酸盐缓冲液(含 5% 聚乙烯吡咯烷酮, pH7.0)中匀浆得到酶提取液。PPO 和 POD 测定参照先前实验室确定的方法^[17],以 1 mL 0.5 mol/L 邻苯二酚和 1 mL 0.5 mol/L 愈创木酚为底物,加入 0.5 mL 酶提取液启动反应后分别在 420、470 nm 波长处测定吸光度。以每 mL 酶液每分钟吸光度变化 0.01 为 1 个酶活力单位(U),PPO 和 POD 活力均表示为 U/g FW。

1.3 数据处理

用 SPSS 26.0 软件对实验数据进行单因素方差分析,采用 Pearson 积差相关法分析参数间的相关性,用 Origin 2018 软件进行图表绘制。同一贮藏时间,不同厚度误差线上所标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同厚度 PE 袋对果皮褐变指数、适销果比率的影响

果皮褐变是果蔬衰老的重要标志,严重影响果蔬品质和货架期^[18-19]。随着贮藏时间延长,三组 PE 袋包装的果实褐变指数均呈上升趋势(图 1A)。在贮藏的最初 4 d 内,三组果实的褐变指数没有显著性差异($P>0.05$),然而在第 4 d 后,PE10 和 PE30 包装的果实出现了显著上升($P<0.05$),PE20 仍处于较平缓上升趋势,在 6 至 8 d 的褐变指数显著低于其它两组($P<0.05$)。呼吸代谢会消耗大量营养物质,造成能量亏损加速果实褐变^[20],可能是由于 PE20 对气体交换的控制作用更明显导致能量消耗相较于其它两组一直处于较低水平进而延缓了果实褐变。在贮藏 2 d 起,伴随着果实褐变的发生,三组果实的适销

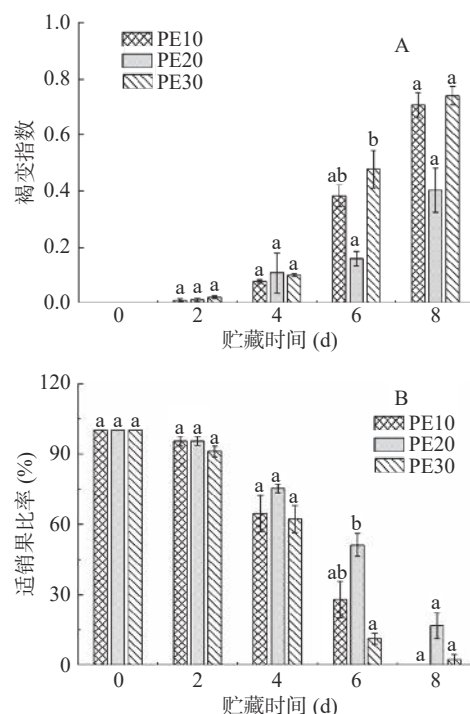


图1 不同厚度 PE 袋对荔枝果皮褐变指数和适销果比率的影响

Fig.1 Effect of different thickness PE bags on browning index in pericarp and commercially acceptable rate of litchi fruit

注:同一指标、同一贮藏时间,不同字母表示差异显著($P<0.05$),图2~图4同。

果比率均出现下降趋势,已达到商业价值损失的条件。相比之下,PE20 包装的果实在贮藏 4 d 后的外观仍然处于可接受程度,其中 75% 的水果仍然可供销售(图 1B)。即使在第 8 d,PE20 包装的果实褐变指数急剧增加(图 1A),仍有 50% 以上果实仍然保持可接受的外部颜色,这与不同 PE 袋包装杏鲍菇^[21]和蓝莓^[22]在保持商业价值方面取得的结果一致。

2.2 不同厚度 PE 袋对果皮色泽变化的影响

采后果实色泽的变化,是反映荔枝果实商品价值的一个很重要参数^[23]。随着贮藏时间的延长,不同厚度 PE 袋对保持果皮红色都有很强的影响,根据色差系统 L^* 、 a^* 和 b^* 对果皮颜色的客观分析表明 PE20 袋包装对荔枝红色的保持效果较为显著($P<0.05$)。在以往报道中,荔枝的色差 L^* 、 a^* 和 b^* 值在整个采后贮藏过程中伴随果皮褐变加剧都呈下降趋势^[4-5,13,16]。使用 PE20 膜包装的果实在大部分贮藏期内,色度 a^* 和 b^* 值下降受到强烈抑制,其次是 PE10,表明荔枝果皮的红色可以通过 PE 膜包装很好地保留(表 1)。 L^* 值的差异在所有的包装系统中仅出现在贮藏期的 4~6 d。 L^* 值可直观地反映果实在贮藏过程中果皮由于色素聚集或是酶促褐变所引起的果皮变暗程度^[24-25]。荔枝果皮褐变主要分为酶促和非酶促褐变反应,酶促褐变主要发生在贮藏后期,是荔枝褐变的主要原因^[26]。本研究中三组不同厚度 PE 袋对应的 L^* 、 a^* 和 b^* 值在前 2 d 相差不明显的原因可能是

表 1 不同厚度 PE 袋对荔枝果皮色差指数的影响

Table 1 Effect of different thickness PE bags on color index in pericarp of litchi fruit

指标	处理	贮藏时间(d)				
		0	2	4	6	8
L^*	P10	37.32±0.53 ^a	33.74±0.59 ^a	33.18±0.50 ^{ab}	31.75±0.27 ^a	31.83±0.62 ^a
	P20	37.32±0.53 ^a	33.79±0.82 ^a	34.15±0.11 ^b	33.67±0.41 ^b	33.24±0.46 ^a
	P30	37.32±0.53 ^a	32.70±0.52 ^a	32.10±0.57 ^a	32.64±0.36 ^{ab}	32.32±0.63 ^a
a^*	P10	31.38±0.41 ^a	32.58±0.48 ^a	31.62±0.46 ^a	29.31±0.38 ^b	27.62±0.47 ^b
	P20	31.38±0.41 ^a	32.95±0.37 ^a	33.14±0.37 ^b	31.16±0.60 ^c	29.69±0.53 ^c
	P30	31.38±0.41 ^a	32.09±0.40 ^a	30.86±0.25 ^a	27.49±0.42 ^a	24.74±0.71 ^a
b^*	P10	18.47±0.35 ^a	19.29±0.88 ^a	19.02±0.77 ^{ab}	17.15±0.69 ^a	13.46±0.54 ^b
	P20	18.47±0.35 ^a	20.11±0.35 ^a	20.40±1.06 ^b	19.22±0.47 ^b	16.89±0.78 ^c
	P30	18.47±0.35 ^a	21.33±0.88 ^a	17.49±1.04 ^a	15.45±0.59 ^a	11.40±0.41 ^a

注: 同一指标、同一贮藏时间, 不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 种 PE 袋包装的果实在贮藏前期发生的酶促褐变较轻微(图 1A)。另外 Chen 等^[27] 也指出在采后贮藏“妃子笑”荔枝期间, 后期果皮中随着氨基酸的含量升高酶促褐变增强, 加剧果皮变暗。

2.3 不同厚度 PE 袋对荔枝果皮花青素含量和 PAL 活性的影响

丰富的花青素含量被认为有助于荔枝果皮呈鲜红色, 花青素的酶促或非酶促降解是导致采后褐变的主要因素之一^[19]。PE 袋包装荔枝果实可以自发形成 MAP 环境, 三种 PE 袋包装的荔枝果皮总花青素含量在整个贮藏过程中下降均比较显著($P<0.05$) (图 2A), 这与壳聚糖涂膜处理‘乌叶’荔枝形成 MAP 的报道结果相似^[4]。从贮藏的第 2 d 起, PE10、PE30 袋包装的荔枝果皮总花青素含量总体呈下降趋势, PE10 尤为明显, PE20 直至贮藏结束仍能保持较高水平, 其果皮花青素含量在 2~6 d 平均比 PE10、PE30 果皮含量高 12.81%、14.17%。此外, 本研究数据显示 PAL 活性在整个贮藏期间呈现持续增加趋势, 在贮藏的前 4 d, PE20 袋有效抑制了 PAL 活性增加, 此后活性增加但仍显著低于其他两组果皮(图 2B)。PAL 是苯丙氨酸途径中花青素生物合成的关键酶, 随着活性增强在贮藏前期有助于提高花青素合成量保持果皮色泽。后期伴随褐变发生 PAL 活性增强会为 PPO、POD 催化的酶促褐变提供花青素底物加速褐变^[28]。迄今为止, 已对荔枝保持花青素水平和防止褐变的各种物理、化学和生物方法进行了研究^[2,4,13,28]。当前结果表明, PE20 袋包装‘鸡嘴荔’荔枝在减少褐变和保持果实红色方面可能也与延迟花青素损失有关。

2.4 不同厚度 PE 袋对膜脂过氧化的影响

细胞膜相对渗漏率的增加意味着荔枝果皮细胞膜结构的完整性逐步丧失^[5,23]。在整个贮藏过程中, 所有 PE 袋包装的荔枝果皮细胞膜的相对渗漏率迅速增加, 相比之下, PE20 包装的果实相对渗漏率在前 2 d 适度增加, 随后从贮藏的第 2 d 到第 6 d 增加稍微加速, 但仍低于其他两组, 直至贮藏结束(图 3)。细胞膜完整性的丧失会导致酶和底物去区室化接触, 导致荔枝果皮褐变^[13]。细胞膜的透过性增强, 细胞内

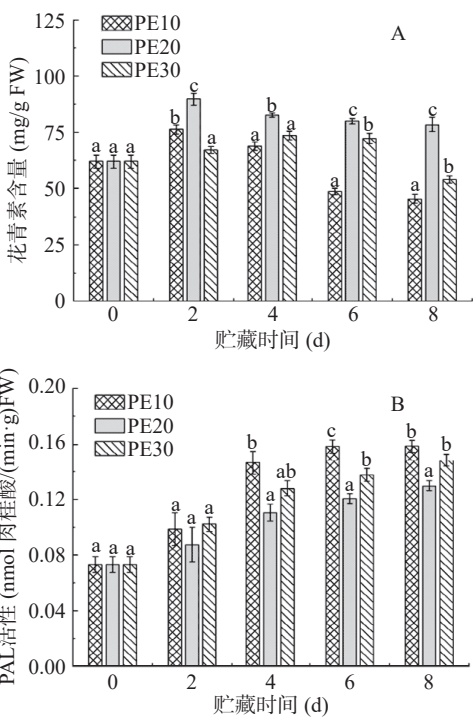


图 2 不同厚度 PE 袋对荔枝果皮花青素含量和 PAL 活性的影响

Fig.2 Effect of different thickness PE bags on anthocyanin content and PAL activity in pericarp of litchi fruit

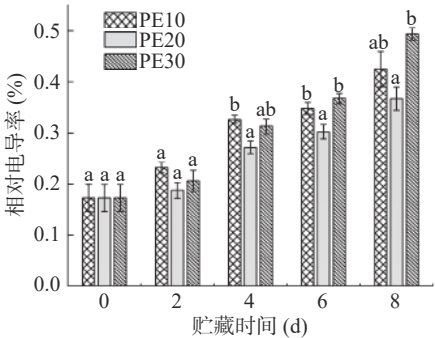


图 3 不同厚度 PE 袋对荔枝果皮质膜过氧化的影响

Fig.3 Effect of different thickness PE bags on membrane lipid peroxidation in pericarp of litchi fruit

溶质渗透进入细胞质, 也会引起组织花色苷(花色素与糖以糖苷键结合而成的一类化合物)的结构发生变

化,正常代谢受到影响,加速果皮褐变^[29],这与之前观察到的果实褐变与花青素变化结论相一致。

2.5 不同厚度 PE 袋对 POD 和 PPO 活性的影响

POD 和 PPO 是参与酚类化合物氧化的关键酶类,通过与酚类物质充分接触而发生酶促褐变^[19,30]。在荔枝果实中,花青素酶降解花青素产生的酚类物质和花青素共同组成氧化底物被 POD 和 PPO 氧化成邻醌和其他化合物,导致果皮发生褐变^[19]。如图 4A 和 B 所示,三组 PE 袋包装的果实 POD 和 PPO 活性在贮藏的前 6 d 都呈稳定增加趋势,之后开始出现下降,尤其是 PE10 和 PE30 组中的 PPO 活性下降更快。除第 8 d 外,经 PE20 包装的荔枝果实在贮藏期间的两种酶活性均显著低于其他两组果实($P<0.05$)。

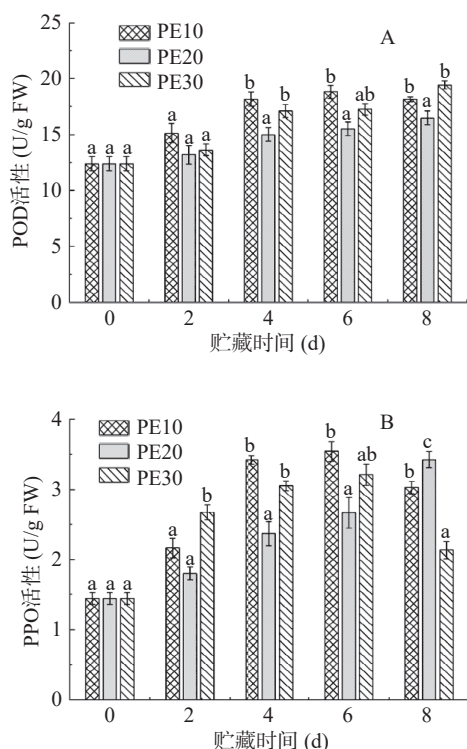


图4 不同厚度 PE 袋对荔枝果皮 POD 活性和 PPO 活性的影响

Fig.4 Effect of different thickness PE bags on POD activities and PPO activities in pericarp of litchi fruit

PE 袋包装对 POD 和 PPO 活性的普遍抑制可能会导致酶和底物之间的接触减少。同样,其他能被用于抑制荔枝果实中的 POD 和 PPO 活性延缓褐变的技术包括褪黑素^[2,16]、苹果多酚^[13]、壳聚糖涂膜^[4]、气调包装^[5]等都起到了一定效果。

2.6 Pearson 相关性矩阵

Pearson 相关性矩阵见表 2,由表 2 可知色差 L^* 与相对电导率、PAL、PPO、POD 活性呈明显负相关($P<0.05$),色差分量 a^* 与褐变指数($P<0.01$)呈高度负相关、与适销果比率($P<0.05$)、花青素含量($P<0.01$)呈正相关,色差分量 b^* 与褐变指数高度负相关($P<0.01$),褐变指数与适销果比率呈高度负相关($P<0.01$),与相对电导率呈明显正相关($P<0.05$),这表明 PE 袋包装的荔枝果实在贮藏过程中的果皮变暗褐变主要是由色素聚集或酶促褐变造成的,这与 Zhang 等^[13]和 Chen 等^[27] 先前研究的荔枝褐变造成的色差变化结果一致。适销果比率与相对电导率和 PAL 活性呈明显负相关($P<0.05$),相对电导率与 PAL 活性呈明显正相关($P<0.05$),褐变的启动主要由膜完整性的丧失^[5]及花青素降解^[19]造成,严重影响了适销果比率造成货架期消失^[18-19]。花青素含量与其它酶活性之间相关性不大。这些结果表明,不同 PE 袋包装处理降低果实褐变指数、提高适销果比率、保持较好的果实品质主要通过抑制荔枝表皮苯丙氨酸途径中花青素生物合成的关键酶 PAL 来实现,酚类化合物氧化关键酶 PPO 和 POD 活性和膜透性也与其有关。

3 结论

适宜厚度 PE 袋包装荔枝果实可显著降低果皮褐变,提高适销果比率,延缓荔枝果皮细胞膜通透性的增加,抑制荔枝果皮中花青素物质降解,延缓荔枝果皮褐变,其中 PE20 保鲜效果最佳。PE20 袋包装荔枝与其它两种厚度相比,抑制褐变主要通过抑制膜透性上升延缓细胞膜去区室化进程,阻止酚类物质与 PPO、POD 接触减缓酶促褐变实现。进一步相关性分析发现花青素在果皮红色的保持方面作用明显,PE20 袋包装可有效延缓花青素流失,提高适销果比

表 2 各指标皮尔森相关性矩阵

Table 2 Pearson correlation matrix of each indicator

指标	色差 L^*	色差 a^*	色差 b^*	褐变指数	适销果比率	相对电导率	花青素含量	PAL活性	PPO活性	POD活性
色差 L^*	1.000									
色差 a^*	0.572	1.000								
色差 b^*	0.506	0.956*	1.000							
褐变指数	-0.702	-0.972**	-0.964**	1.000						
适销果比率	0.808	0.938*	0.875	-0.965**	1.000					
相对电导率	-0.893*	-0.805	-0.763	0.880*	-0.955*	1.000				
花青素含量	0.444	0.961**	0.856	-0.877	0.855	-0.671	1.000			
PAL活性	-0.924*	-0.682	-0.568	0.745	-0.887*	0.954*	-0.594	1.000		
PPO活性	-0.948*	-0.558	-0.439	0.643	-0.806	0.906*	-0.466	0.985**	1.000	
POD活性	-0.885*	-0.470	-0.316	0.532	-0.728	0.837	-0.411	0.960**	0.984**	1.000

注: *和**分别表示指标间相关性达到 $P<0.05$ 水平和 $P<0.01$ 水平。

率, 这都与苯丙氨酸途径中花青素生物合成的关键酶 PAL 活性有关。综上所述, PE20 包装荔枝在抑制褐变, 提高果实适销果比率效果较好, 可作为物流运输中操作简单、高效和实用的技术参考。

参考文献

- [1] 王欲翠, 冯毅, 吴德全, 等. 荔枝气调保鲜研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(23): 340–345. [WANG Y C, FENG Y, WU D Q et al. Research progress of gas-adjusted fresh-preserved of litchi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(23): 340–345.]
- [2] ZHANG Z T, WANG T, LIU G S, et al. Inhibition of downy blight and enhancement of resistance in litchi fruit by postharvest application of melatonin[J]. Food Chemistry, 2021, 347(14): 129009.
- [3] 齐文斌, 陈厚彬, 罗滔, 等. 中国大陆荔枝产业发展现状、趋势与对策[J]. 广东农业科学, 2019, 46(10): 132–139. [QI W E, CHEN H B, LUO T. Development status, trend and suggestion of litchi industry in mainland China[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2019, 46(10): 132–139.]
- [4] JIANG X J, LIN H T, SHI J, et al. Effects of a novel chitosan formulation treatment on quality attributes and storage behavior of harvested litchi fruit[J]. Food Chemistry, 2018, 252(15): 134–141.
- [5] ALI S, KHAN A S, MALIK A U, et al. Effect of controlled atmosphere storage on pericarp browning, bioactive compounds and antioxidant enzymes of litchi fruits[J]. Food Chemistry, 2016, 206(17): 18–29.
- [6] 伏开放, 周国林, 钟杰凡. 生鲜冷链物流模式分析——以广东荔枝为例[J]. 物流技术, 2019, 38(6): 20–22. [FU K F, ZHOU G L, ZHONG J F. Analysis of fresh produce cold chain logistics mode: In the case of Guangdong litchi[J]. Logistics Technology, 2019, 38(6): 20–22.]
- [7] 梁乃锋, 李萌, 丁露, 等. 一种非冷链运输荔枝保鲜包装箱开发及应用[J]. 物流工程与管理, 2019, 41(12): 91–92. [LIANG N F, LI M, DING L, et al. Development and application of non-cold chain fresh-keeping packaging box for litchi transportation[J]. Logistics Engineering and Management, 2019, 41(12): 91–92.]
- [8] 陈少霞, 周丹丹, 潘磊庆, 等. 不同包装材料对娃娃菜贮藏过程中品质指标的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 270–276. [CHEN S X, ZHOU D D, PAN L Q, et al. Effect of different packaging materials on quality indices of brassica campestris during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 270–276.]
- [9] 张婷, 徐斌, 潘俨, 等. 不同厚度 PE 膜包装对青皮核桃果实采后鲜贮效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(1): 19–24. [ZHAN T, XU B, PAN Y, et al. Effect of PE films packaging with different thicknesses on preservation of postharvest green walnut fruit[J]. Storage and Process, 2021, 21(1): 19–24.]
- [10] KHAN M R, SRIPETHDEE C, CHINSIRIKUL W, et al. Effects of film permeability on reducing pericarp browning, preventing postharvest decay and extending shelf life of modified atmosphere-retail packaged longan fruits[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2016, 51(8): 1925–1931.
- [11] XIAO Z, LUO Y, LESTER G E, et al. Postharvest quality and shelf life of radish microgreens as impacted by storage temperature, packaging film, and chlorine wash treatment[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(2): 551–558.
- [12] LI X H, LI Y Y, ZHANG L, et al. Effects of modified atmosphere packaging of PE film with different thickness on quality of pleurotus nebrodensis[J]. Advanced Materials Research, 2011, 156(157): 371–374.
- [13] ZHANG Z, HUBER D J, QU H, et al. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols[J]. Food Chemistry, 2015, 171(6): 191–199.
- [14] ASSIS J S, MALDONADO R, MUOZ T, et al. Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 23(1): 33–39.
- [15] CHEN C Y, PENG X, CHEN J J, et al. Mitigating effects of chitosan coating on postharvest senescence and energy depletion of harvested pummelo fruit response to granulation stress[J]. Food Chemistry, 2021, 348(15): e129113.
- [16] ZHANG Y, HUBER D J, HU M J, et al. Delay of postharvest browning in litchi fruit by melatonin via the enhancing of antioxidative processes and oxidation repair[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(28): 7475–7484.
- [17] 刘帅民, 胡康琦, 刘港帅, 等. 外源褪黑素处理对鲜切芒果贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 634(21): 169–175. [LIU S, HU K Q, LIU G S, et al. Effect of exogenous melatonin treatment on storage quality of fresh-cut mango[J]. Food Science, 2020, 634(21): 169–175.]
- [18] WANG T, HU M J, YUAN D B, et al. Melatonin alleviates pericarp browning in litchi fruit by regulating membrane lipid and energy metabolisms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 160(2): e111066.
- [19] JIANG Y M, DUAN X W, JOYCE D, et al. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit[J]. Food Chemistry, 2004, 88(3): 443–446.
- [20] LIN Y F, LIN Y X, LIN H T, et al. Application of propyl galate alleviates pericarp browning in harvested longan fruit by modulating metabolisms of respiration and energy[J]. Food Chemistry, 2018, 240(3): 863–869.
- [21] 马超, 王如福, 徐帆, 等. 不同处理对花菇贮藏品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(10): 271–276. [MA C, WANG R F, XU F, et al. Effects of different treatments on the quality and antioxidant enzyme activities of Lentinus edodes during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 271–276.]
- [22] 吉宁, 王瑞, 曹森, 等. “1-甲基环丙烯+蓄冷剂+保温包装”模拟运输蓝莓鲜果研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 311–315. [JI N, WANG R, CAO S, et al. The effect of “1-MCP treatment+cold storage agent+insulation package” to simulated transportation of the fresh blueberry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(8): 311–315.]
- [23] ZHANG Z K, HU M J, YUN Z, et al. Effect of tea seed oil treatment on browning of litchi fruit in relation to energy status and metabolism[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132(10): 97–104.
- [24] 胡苗, 李佳颖, 饶景萍. 褪黑素处理对采后猕猴桃果实后熟

- 衰老的影响[J]. [食品科学](#), 2018, 39(19): 226–232. [HU M, LI J Y, RAO J P. Effect of melatonin on ripening and senescence of postharvest kiwifruits[J]. [Food Science](#), 2018, 39(19): 226–232.]
- [25] ROSSARIO M R S, MARIA A R G, ISABEL O S, et al. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes[J]. [LWT-Food Science and Technology](#), 2013, 50(1): 240–246.
- [26] 王银红, 张珮, 江靖, 等. 四个荔枝品种采后低温贮藏品质指标差异分析及评价[J]. [食品工业科技](#), 2019, 40(22): 288–293. [WANG Y H, ZHANG P, JIANG J, et al. Analysis and evaluation on the differences of indexes of postharvest quality in four litchi cultivars during low-temperature storage[J]. [Science and Technology of Food Industry](#), 2019, 40(22): 288–293.]
- [27] CHEN X, WU Q, CHEN Z, et al. Changes in pericarp metabolite profiling of four litchi cultivars during browning[J]. [Food Research International](#), 2019, 120: 339–351.
- [28] JING G X, HUANG H, YUANG B, et al. Effect of pyrogallol on the physiology and biochemistry of litchi fruit during storage[J]. [Chemistry Central Journal](#), 2013, 7(1): 19–30.
- [29] 林河通, 陈莲, 陈艺晖, 等. 包装对龙眼果实贮藏期间果皮失水褐变和细胞超微结构的影响[J]. [农业工程学报](#), 2007, 23(12): 237–241. [LIN H T, CHEN L, CHEN Y J, et al. Effects of packaging on desiccation-induced browning and cellular ultrastructure of pericarp of longan fruits during storage[J]. [Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering](#), 2007, 23(12): 237–241.]
- [30] TOMAS B F A, ESPIN J C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables[J]. [Journal of the Science of Food and Agriculture](#), 2001, 81(9): 853–876.