

薄膜包装对鲜切生菜货架期品质的影响

安容慧¹, 周娜², 魏雯雯¹, 贾连文¹, 王达¹, 任紫烟¹,
连欢¹, 杨相政^{1*}

(1. 中华全国供销合作总社济南果品研究所, 济南 250220;

2. 山东农业工程学院食品科学与工程学院, 山东 淄博 255300)

摘要: **目的** 探究不同薄膜包装对鲜切生菜货架期色泽和营养品质的影响, 以为鲜切生菜的保鲜提供便捷高效的方法。 **方法** 本研究采用不同厚度 (20、30 和 40 μm) 的聚乙烯 (PE) 薄膜以及微孔 PE 薄膜包装鲜切生菜, 于 $(4\pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下模拟货架 8 d, 以带孔 PE 薄膜包装作为对照组, 研究这 5 种薄膜包装对鲜切生菜货架期间表型、感官评分、质量损失率、袋内 O_2 和 CO_2 、色差、叶绿素、类胡萝卜素、叶黄素、可滴定酸、抗坏血酸 (V_C) 和丙二醛 (MDA) 含量的影响。 **结果** 不同厚度的 PE 薄膜以及微孔 PE 薄膜包装能在一定程度上减少鲜切生菜色泽的变化、质量损失率的上升以及营养成分的损失。其中, 20 μm 薄膜和微孔膜包装可以显著抑制鲜切生菜质量损失率, a^* 、 b^* 和 MDA 的升高, 保持袋内较高的 O_2 , 并抑制 CO_2 的积累, 减缓叶绿素、类胡萝卜素、叶黄素、可滴定酸、抗坏血酸和感官评分的下降, 进而维持较高的品质, 延长货架期。与 20 μm 薄膜相比, 微孔膜会造成鲜切生菜相对较高的质量损失率。 **结论** 20 μm 厚度的 PE 薄膜更适合作为鲜切生菜保鲜的包装材料, 可延长货架期 2~3 d。本研究为鲜切生菜保鲜包装袋的选择提供依据, 推动鲜切预制菜产业的发展。

关键词: 鲜切生菜; 薄膜包装; 货架期; 品质

中图分类号: TS255.3 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)03-0107-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.03.013

Effect of Film Packaging on Shelf-life Quality of Fresh-cut Lettuce

AN Ronghui¹, ZHOU Na², WEI Wenwen¹, JIA Lianwen¹, WANG Da¹,
REN Ziyang¹, LIAN Huan¹, YANG Xiangzheng^{1*}

(1. Jinan Fruit Research Institute, All China Federation of Supply and Marketing Cooperatives,
Shandong Jinan 250220, China; 2. Department of Food Science and Engineering,
Shandong Agriculture and Engineering University, Shandong Zibo 255300, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effect of film packaging on the color and nutritional quality of fresh-cut lettuce, with the goal of providing a convenient and efficient preservation method for fresh-cut lettuce. Fresh-cut lettuce was packaged with polyethylene (PE) films with different thicknesses (20, 30 and 40 μm) and microporous PE films, and then stored at $(4\pm 1)^\circ\text{C}$ for 8 days. With those packaged with PE films with holes as the control group, the effects of these five packaging bags on the phenotype, sensory score, weight loss rate, oxygen and carbon dioxide in the bags, color difference, chlorophyll, carotenoids, lutein, titratable acid, ascorbic acid (V_C) and malondialdehyde (MDA) content of fresh-cut lettuce during its shelf life were analyzed. The results indicated that packaging with PE films of different thicknesses and microporous PE films could reduce color changes, weight loss, and nutrient loss of fresh-cut lettuce to

收稿日期: 2023-06-27

基金项目: 山东省重点研发计划 (2022TZX0022)

*通信作者

some extent. Specifically, the weight loss rate, a^* , b^* , and MDA increase of fresh-cut lettuce was significantly inhibited by 20 μm film and microporous film packaging. Additionally, O_2 levels was high, the CO_2 accumulation was inhibited, and the decline of chlorophyll, carotenoids, lutein, titrable acid, ascorbic acid and sensory score of fresh-cut lettuce was slowed down in these packages, thus ensuring high quality and extending shelf life. However, microporous film packaging could lead to relatively higher weight loss rate compared with the 20 μm film packaging. Therefore, 20 μm thick PE film bags are recommended as suitable packaging materials for fresh-cut lettuce preservation, and the shelf life of fresh-cut lettuce can be extended by 2-3 days. This study provides valuable insights for selecting appropriate packaging bags for fresh-cut lettuce preservation and contributes to the future development of the fresh-cut industry.

KEY WORDS: fresh-cut lettuce; film packaging; shelf life; quality

生菜又称为莴苣,富含膳食纤维,以及人体所需的维生素和矿物质,适合生食^[1]。随着人们生活节奏的加快,对绿色和方便食用的食品的需求量也逐渐增加。鲜切生菜是将新鲜的生菜经过清洗、切分、包装等处理后,经过冷藏运输最终至消费者手中即可食用的产品^[2]。鲜切生菜叶嫩鲜美,但在生产过程中经切分工序,使其在货架期易发生叶片边缘褐变、组织软化、发臭腐烂等现象,加快感官品质劣变等一系列不良反应,进而导致鲜切生菜的货架期缩短^[3]。因而,探究鲜切生菜适宜的保鲜技术,对提高其品质和货架期具有重要作用。

目前,鲜切生菜保鲜的方法有物理、生物、化学保鲜法。物理保鲜是采用物理手段防止蔬菜品质劣变的一种方式,如低温冷链、臭氧、超声波等方法,它们需要严谨的环境条件,容错率较低。化学保鲜法通常使用乙醇、抗坏血酸和柠檬酸等化学外源试剂处理蔬菜,使用方便且成本低,但会影响蔬菜固有的风味,且存在安全隐患^[4]。薄膜包装是采用不同透气性薄膜对果蔬进行包装,自发调节包装内气体成分,具有方便快捷、绿色安全和性能稳定等优势,可最大限度降低生菜的呼吸强度,减少水分损失,维持较高的感官品质,进而延长货架期^[5-6]。在鲜切生菜加工过程中,薄膜包装作为生产的最后环节和产品流通的载体,是鲜切果蔬商品性呈现的重要形式,在鲜切预制菜产业应用中前景广阔。

基于此,本研究分别采用不同厚度的 PE 膜以及微孔 PE 膜包装鲜切生菜,研究这 5 种薄膜包装对鲜切生菜货架期间感官品质和营养品质的影响。旨在为鲜切生菜保鲜包装的选择提供依据,开发一种低成本、易操作、保证质量和安全的鲜切生菜包装技术,对推动鲜切产业的发展具有重要的意义。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:散叶生菜,采购于济南市农贸市场,采购后 1 h 内运送至济南果品研究所保鲜实验室。选用无机械损伤、病虫害和黄叶萎蔫的新鲜生菜。

主要仪器:HP 200 色差仪,上海汉谱光电科技有限公司;UV-1800 紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;HJ-2A 磁力搅拌器,常州苏瑞仪器有限公司;TCL-1013 高速台式离心机,上海安亭科学仪器厂;Check Point 便携式气体测定仪,丹麦 PBI Dansensor;GXH-3051H 果蔬呼吸测定仪,北京均方理化科技研究所;TE612-L 电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司。

1.2 实验方法

实验设置 5 个处理组,分别采用不同厚度的 PE 薄膜(20、30 和 40 μm)、微孔 PE 膜(厚度为 10 μm ,孔径为 10 μm ,孔数量为每平方米 100 000 个)包装鲜切生菜,以带孔普通 PE 薄膜(40 μm)包装为对照(Con,袋的两侧各有 2 个直径为 1 cm 孔),包装袋的规格为 20 cm $\times$ 30 cm,薄膜包装性能见表 1。

将新鲜的生菜去掉外叶并切除根部后,用消过毒的刀切成 3.0 cm $\times$ 3.0 cm 的小块并混匀,随机分成 5 组,装入袋中体积约占 80%~90%,每袋装(350 $\pm$ 1) g,每个处理 3 次重复。包装后于(4 $\pm$ 1) $^{\circ}\text{C}$ 条件下模拟货架贮藏 8 d,每 2 d 进行记录,测定质量损失率、袋内气体成分和色差值,进行感官评分,并随机取部分鲜切生菜,用于相关生理指标的测定。

表 1 不同包装薄膜的性能
Tab.1 Properties of different packaging films

薄膜名称	厚度/ μm	透湿率/ $[\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot24\text{ h})^{-1}]$	O_2 透过率/ $[\text{cm}^3\cdot(\text{m}^2\cdot24\text{ h}\cdot0.1\text{ MPa})^{-1}]$	CO_2 透过率/ $[\text{cm}^3\cdot(\text{m}^2\cdot24\text{ h}\cdot0.1\text{ MPa})^{-1}]$
微孔	10	23.68	>500 000	>500 000
20 μm	20	14.45	5 988.03	17 433.36
30 μm	30	9.18	4 105.16	12 906.64
40 μm	40	6.67	3 005.51	10 004.57

1.3 指标测定方法

1.3.1 感官评分

感官评分采用观察法, 由 10 人组成的经过训练的评定小组对鲜切生菜的色泽、质地及商业价值等进行打分, 取平均值作为样品的感官得分, 并对其拍照记录外观^[7]。

表 2 感官评分
Tab.2 Sensory scale

得分	项目
8.1~10.0	色泽鲜艳, 质地脆嫩, 无褐变, 品质完好, 可出售
6.1~8.0	色泽较鲜艳, 无异味, 品质较好, 可出售
4.1~6.0	色泽黯淡, 轻微褐变, 有异味, 出售受限
2.1~4.0	褐变严重, 叶片萎蔫, 失去食用价值
0.0~2.0	严重腐烂, 有异味, 完全不可食用

1.3.2 质量损失率

质量损失率采用称重法进行测定。将鲜切生菜装袋后统一称量再放入冷库中贮藏, 每次取样时再进行一次称量, 即:

$$W_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_1 为质量损失率, %; m_1 为贮藏前鲜切生菜质量, g; m_2 为贮藏后鲜切生菜质量, g。

1.3.3 袋内 O_2 和 CO_2

使用便携式气体分析仪测定包装袋内 O_2 和 CO_2 的浓度。将针头刺进包装内部, 气体将被吸入传感器, 数秒后设备显示数值, 每组随机抽取 3 袋进行测定。

1.3.4 色泽

采用 HP 200 全自动色差仪对鲜切生菜的颜色进行测定, 记录 L^* (明暗度)、 a^* (红绿度) 和 b^* (黄蓝度)^[8]。每个处理组随机取 20 片鲜切生菜进行测定, 结果取平均值。

1.3.5 叶绿素、类胡萝卜素和叶黄素

取 0.2 g 鲜切生菜样品, 随后加入 10 mL 95% 的无水乙醇, 充分混匀, 于在常温条件下避光提取 6 h, 取上清液, 测定 470、474、485、642 和 665 nm 下的吸光值 A , 重复测定 3 次, 取平均值^[9]。按式 (2) ~ (5) 计算叶绿素、类胡萝卜素和叶黄素含量。

$$\rho_1 = 9.99 A_{665} - 0.087 A_{642} \quad (2)$$

$$\rho_2 = 17.7 A_{642} - 3.04 A_{665} \quad (3)$$

$$\rho_3 = 4.92 A_{474} - 0.0255 \rho_1 - 0.255 \rho_2 \quad (4)$$

$$\rho_4 = 10.2 A_{470} - 11.5 A_{485} - 0.003 6 \rho_1 - 0.652 \rho_3 \quad (5)$$

式中: ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 和 ρ_4 分别为叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶黄素的质量浓度, mg/L。

1.3.6 抗坏血酸 (V_C)

V_C 含量的测定参考 GB 5009.86—2016 中 2,6-二氯酚酚滴定法^[10]。

1.3.7 可滴定酸

可滴定酸含量的测定参照 Marsh 等^[11]的方法, 略有改动。使用氢氧化钠滴定法测定生菜的可滴定酸含量, 根据 NaOH 滴定液消耗量, 计算可滴定酸含量, 以质量分数 (%) 表示。

$$W_2 = \frac{C \times V_{(NaOH)} \times V_0 \times 0.067}{m \times V_1} \times 100\% \quad (6)$$

式中: W_2 为可滴定酸含量, %; $V_{(NaOH)}$ 为滴定用 NaOH 的体积, mL; V_0 为样品提取液的体积, mL; m 为样品质量, g; V_1 为滤液体积, mL; c 为 NaOH 滴定液浓度, mol/L。

1.3.8 丙二醛 (MDA)

取 1.0 g 鲜切生菜样品, 加入 4.0 mL 100 g/L 的三氯乙酸溶液, 于 4 °C、9 500g 条件下离心 20 min。取 2.0 mL 上清液, 再加入 2.0 mL 0.67 g/L 的硫代巴比妥酸, 混匀后置于沸水浴中加热 20 min。随后放至室温, 测定 600、532 和 450 nm 下的吸光值 A , 计算 MDA 含量^[12]。

$$W_3 = \frac{[6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}] \times V_1 \times V}{V_1 \times m} \quad (7)$$

式中: W_3 为 MDA 含量, $\mu\text{mol/kg}$; V_1 为反应液总量, mL; V_2 为反应液中提取液的体积, mL; V 为提取液总体积, mL; m 为样品质量, g。

1.4 数据处理

所有数据均平行检测 3 次, 结果取平均值 $\pm$ 标准误差。采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析 (ANOVA), Duncan 检验进行多重比较, 皮尔逊进行相关性分析 ($P < 0.05$ 为差异显著), 并用 Origin 64 软件作图。

2 结果与分析

2.1 薄膜包装对鲜切生菜表型和感官评分的影响

表型变化可以直观反映鲜切生菜褐变程度及品质劣变情况, 是影响消费者购买的关键因素^[13]。由图 1a 可知, 在货架 2 d 时, 对照组便有黄化褐变的迹象, 而其余处理组与 0 d 相比没有差异; 在货架 4~8 d 时, 对照组、30 μm 和 40 μm 薄膜包装组均出现了明显的褐变现象, 且逐渐加重, 在 6 d 时均失去商品价值, 在 8 d 时切口处出现腐烂, 其中 40 μm 薄膜包装组腐烂较为严重, 主要由于薄膜比较厚, 透湿性能差, 导致袋内水分积累, 加速了鲜切生菜的腐烂。相比之下, 20 μm 薄膜和微孔膜包装组在 4 d 时无明显褐变现象,

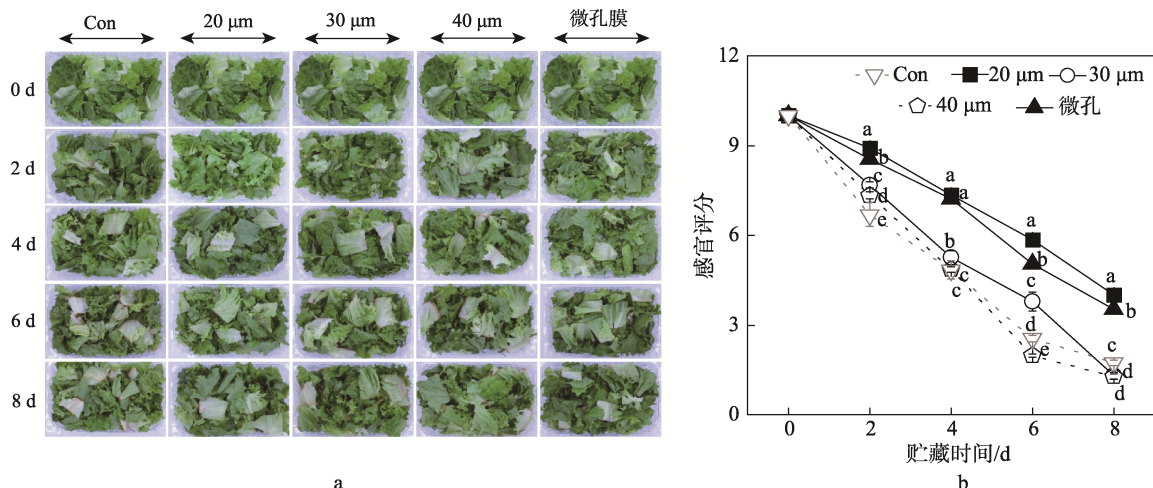


图1 薄膜包装对鲜切生菜表型(a)和感官评分(b)的影响
Fig.1 Effect of film packaging on phenotype (a) and sensory score (b) of fresh-cut lettuce

在6~8 d时叶片切口处出现轻微褐变现象;微孔膜虽然对抑制鲜切生菜的褐变有很好的效果,但在8 d时叶片轻微失水。可见,微孔膜和20 μm薄膜包装可以延缓鲜切生菜外观品质的劣变,其中20 μm薄膜包装组保鲜效果最好。

综合考虑鲜切生菜的外观、质地与商业价值等进行感官评分。当感官评分大于6分则认为鲜切生菜仍有商业价值,可销售;当感官评分小于6分,认为失去商业价值,不可销售(图1b)。随着时间的延长,鲜切生菜的感官评分逐渐下降,并与表型变化一致。在整个货架期间,对照组、30 μm和40 μm薄膜包装组感官评分下降最为迅速,在2 d后感官评分低于6分,如货架4 d时对照组感官评分为4.84,失去商业价值,货架期约2~3 d;而在4 d时20 μm薄膜和微孔膜包装的鲜切生菜感官评分分别为7.35和7.21,且显著高于对照组、30 μm和40 μm薄膜包装组($P<0.05$)。综上,微孔膜和20 μm薄膜包装可以维持鲜切生菜较高的感官评分,可延长货架期2~3 d。

2.2 薄膜包装对鲜切生菜质量损失率的影响

质量损失率是反映蔬菜新鲜程度的重要指标,当蔬菜质量损失率较高时,会影响其口感及新鲜度^[14]。随着货架时间的延长,各处理组鲜切生菜的质量均有不同程度的损失(图2)。在低温货架期2~8 d,对照组的质量损失率显著高于其他4组处理($P<0.05$)。在货架8 d时,对照组质量损失率高达2.44%,其次相对较高的是微孔膜包装组,质量损失率达1.33%。而与对照组和微孔膜包装组相比,20、30和40 μm薄膜包装显著降低了鲜切生菜的质量损失率($P<0.05$)。可见,薄膜包装可以较好地保持鲜切生菜的水分,降低鲜切生菜货架期的质量损失率,但带有微孔薄膜对鲜切生菜的质量损失率抑制作用相对较弱,这与其透湿性高有关。

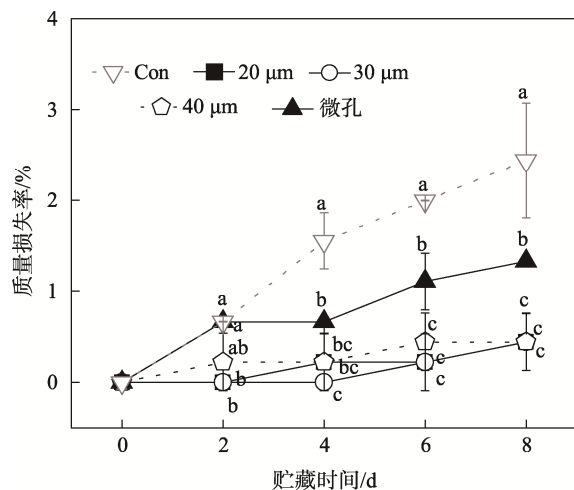


图2 薄膜包装对鲜切生菜质量损失率的影响
Fig.2 Effect of film packaging on weight loss rate of fresh-cut lettuce

2.3 薄膜包装对鲜切生菜袋内 O₂ 和 CO₂ 含量的影响

由图3可知,30 μm和40 μm薄膜包装组的O₂和CO₂含量变化幅度较大,在货架2 d时,O₂含量急剧下降,CO₂含量急剧上升,说明生菜经鲜切后呼吸强度较高,加上薄膜的透气性能较差,使其消耗包装袋内较多的O₂,呼出过量的CO₂。与30 μm和40 μm 2种薄膜相比,微孔膜和20 μm薄膜透气性较好,增加了气体与外界交换的速度,进而维持了袋内较高的O₂和较低的CO₂含量。其中微孔膜的透气率达500 000 cm³/(m²·24 h·0.1 MPa)以上,因此在整个货架期间,微孔膜袋内O₂体积分数无明显变化,维持在20.43%~21.20%,CO₂体积分数维持在0.30%~0.93%。可见,微孔膜和20 μm薄膜包装可以显著抑制袋内CO₂的积累,进而维持鲜切生菜较高的品质。

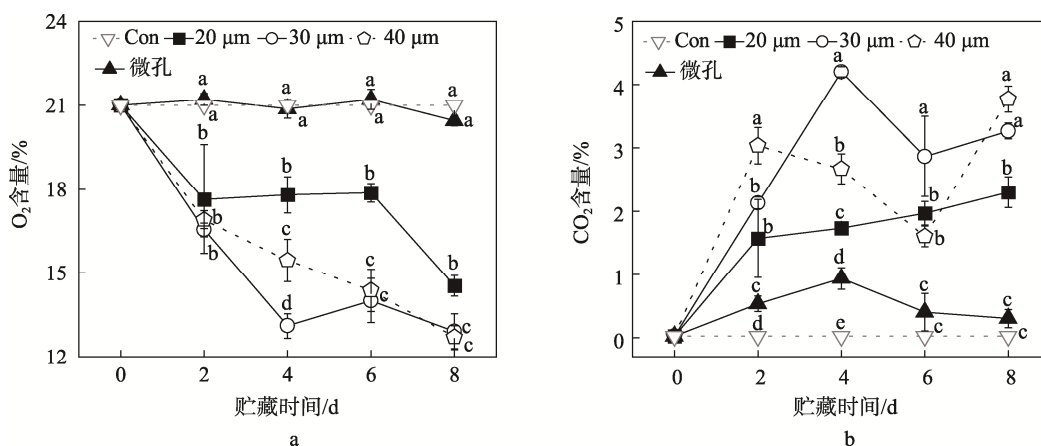


图 3 薄膜包装对鲜切生菜袋内 O₂ (a) 和 CO₂ (b) 体积分数的影响
Fig.3 Effect of film packaging on O₂ (a) and CO₂ (b) content in bags of fresh-cut lettuce

2.4 薄膜包装对鲜切生菜 L^* 、 a^* 和 b^* 值的影响

由图 4 可知, 随着货架时间的延长, 鲜切生菜叶片的亮度值 L^* 降低, 绿色值 a^* 增加, 黄色值 b^* 增加。在货架 8 d 时, 微孔膜包装组的 L^* 最大, 其次分别是 20、30 和 40 μm 薄膜包装组, 但 5 组处理间 L^* 值无显著性差异。与对照组相比, 在货架后期 (6~8 d), 20 μm、30 μm 和微孔膜包装组均显著减缓了 a^* 的升高 ($P<0.05$); 在货架期 4 d 和 8 d 时, 与对照、微孔、30 μm 和 40 μm 薄膜包装相比, 20 μm 薄膜包装可显著减缓鲜切生菜的褪绿程度 ($P<0.05$)。对 b^* 来说, 对照组的最大, 其次分别为 40 μm、30 μm、20 μm 薄膜和微孔膜组, 其中微孔膜和 20 μm 薄膜显著抑制了 b^* 值增加 ($P<0.05$)。可见, 微孔膜和 20 μm 薄膜包装可以减缓叶片褪绿转黄, 维持较好的外观色泽。

2.5 薄膜包装对鲜切生菜叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量的影响

生菜等绿色蔬菜中含有丰富的叶绿素, 叶绿素含量的下降是叶片退绿转黄及衰老的主要因素^[15]。由图 5 可知, 随着货架时间的延长, 各处理组鲜切生菜的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量整体均呈下降的

趋势, 经薄膜包装的鲜切生菜叶绿素含量均高于对照组的。在货架期 6~8 d 时, 微孔膜和 20 μm 薄膜包装组始终维持较高的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量, 尤其在货架期 8 d 时, 微孔膜和 20 μm 薄膜包装的鲜切生菜的叶绿素 a 和总叶绿素含量显著高于对照组、30 μm 和 40 μm 薄膜包装组 ($P<0.05$)。可见, 20 μm 薄膜包装和微孔膜包装可以维持较高的叶绿素含量, 降低叶片黄化程度。

2.6 薄膜包装对鲜切生菜类胡萝卜素和叶黄素含量的影响

类胡萝卜素是一种生物活性化合物, 有抗氧化和延缓衰老的作用, 叶黄素属于类胡萝卜素的一种, 也是一种重要的抗氧化成分^[16]。随着货架时间的延长, 类胡萝卜素和叶黄素均呈下降的趋势, 其中对照组下降速度最为显著, 而经薄膜包装可以明显延缓鲜切生菜类胡萝卜素和叶黄素的降解 (图 6)。在货架后期, 20 μm 薄膜和微孔膜包装组维持着较高的类胡萝卜素和叶黄素含量, 如在货架期 6~8 d, 20 μm 薄膜和微孔膜包装的鲜切生菜类胡萝卜素含量显著高于对照组、30 μm 和 40 μm 薄膜处理组 ($P<0.05$)。同样地, 在货架期 8 d 时, 20 μm 薄膜和微孔膜包装的鲜切生

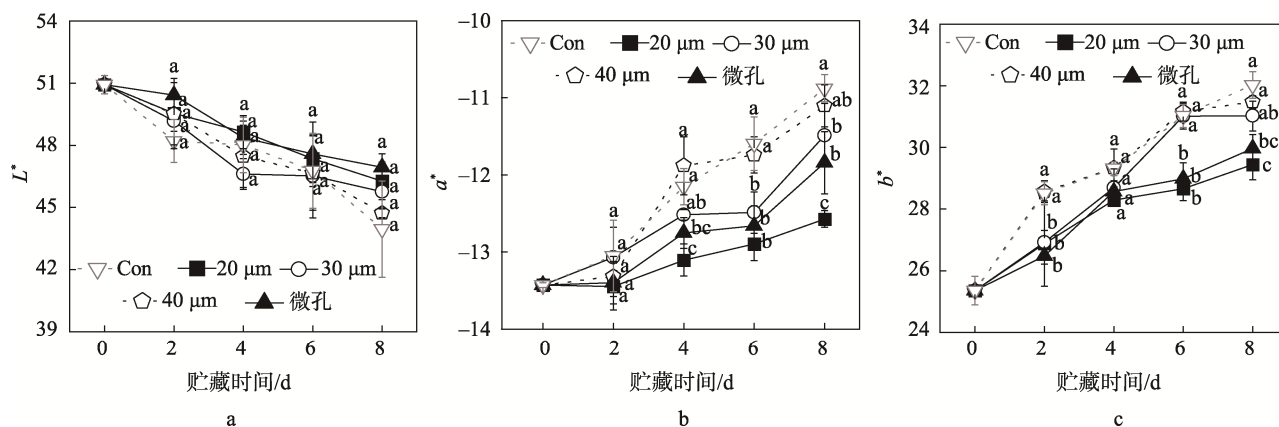


图 4 薄膜包装对鲜切生菜 L^* (a)、 a^* (b) 和 b^* (c) 值的影响
Fig.4 Effect of film packaging on L^* (a), a^* (b), and b^* (c) values of fresh-cut lettuce

菜的叶黄素含量显著高于其他3组处理 ($P<0.05$), 且 $20\ \mu\text{m}$ 薄膜和微孔膜包装组的类胡萝卜素含量分别为 $0.109\ \text{mg/g}$ 和 $0.097\ \text{mg/g}$, 叶黄素含量分别为 $0.107\ \text{mg/g}$ 和 $0.091\ \text{mg/g}$, 对照组的类胡萝卜素和叶黄素含量分别为 $0.074\ \text{mg/g}$ 和 $0.060\ \text{mg/g}$ 。综上, $20\ \mu\text{m}$ 薄膜和微孔膜包装降低了类胡萝卜素和叶黄素的损失。

2.7 薄膜包装对鲜切生菜抗坏血酸和可滴定酸含量的影响

V_C 是植物中重要的抗氧化物质, 可以反映蔬菜的保鲜效果^[17]。随着货架时间的延长, 鲜切生菜逐渐被氧化, V_C 含量显著下降 (图 7a)。其中对照组的 V_C 含量

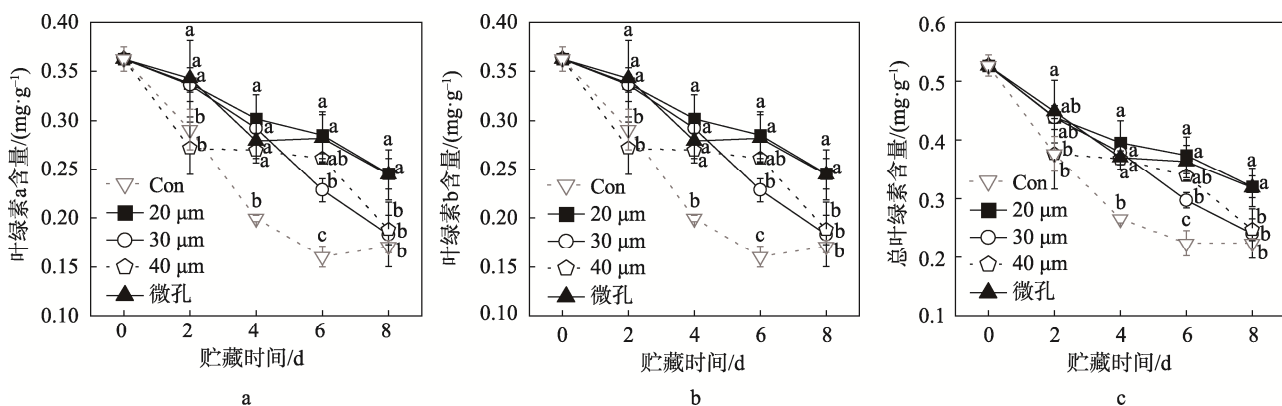


图5 薄膜包装对鲜切生菜叶绿素 a (a)、叶绿素 b (b) 和总叶绿素 (c) 含量的影响
Fig.5 Effect of film packaging on chlorophyll a (a), chlorophyll b (b), and total chlorophyll (c) contents of fresh-cut lettuce

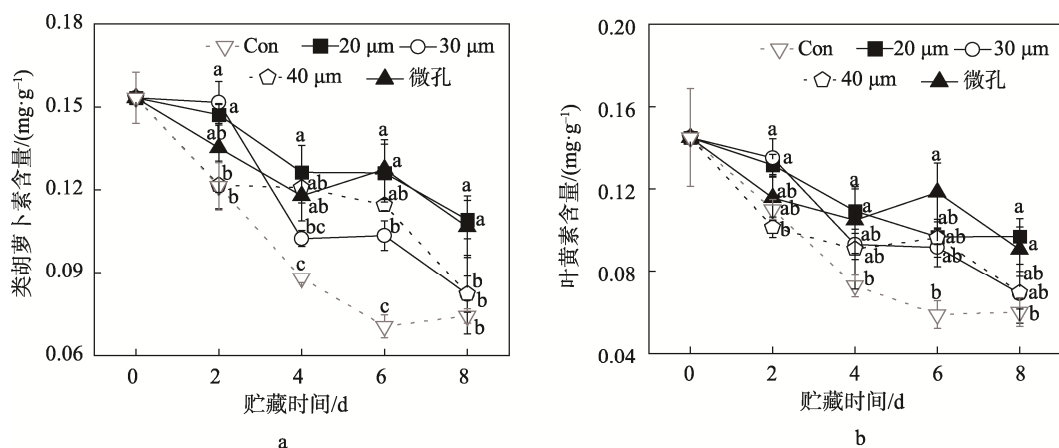


图6 薄膜包装对鲜切生菜类胡萝卜素 (a) 和叶黄素 (b) 含量的影响
Fig.6 Effect of film packaging on carotenoids (a) and lutein (b) contents of fresh-cut lettuce

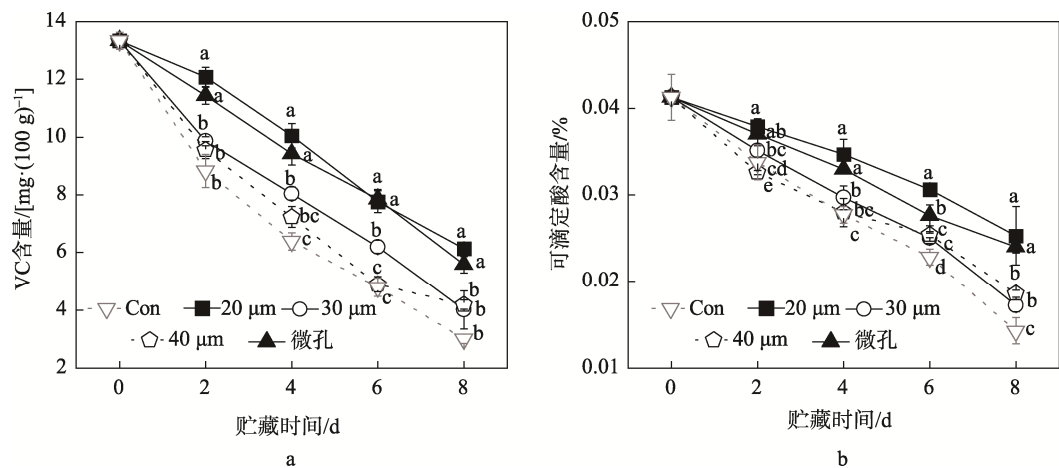


图7 薄膜包装对鲜切生菜 V_C (a) 和可滴定酸 (b) 含量的影响
Fig.7 Effect of film packaging on V_C (a) and titratable acid (b) contents of fresh-cut lettuce

下降最为迅速,在货架 8 d 时, V_C 的损失率为 77.46%, 分别比 20 μm 、30 μm 、40 μm 薄膜和微孔膜包装组的高 23.47%、7.51%、8.85%、19.25%; 其次 V_C 含量下降较快的是 30 μm 和 40 μm 薄膜包装组。与对照组、30 μm 和 40 μm 薄膜包装组相比, 20 μm 薄膜和微孔膜包装的鲜切生菜可以显著抑制 V_C 含量的下降 ($P<0.05$)。可见, 20 μm 薄膜和微孔膜包装对减缓 V_C 氧化有明显的作

用。可滴定酸对鲜切生菜的风味起重要的作用, 随着鲜切生菜的成熟衰老, 其组织中可滴定酸逐渐流失 (图 7b)。与对照组相比, 适宜的薄膜包装可以减缓可滴定酸含量的下降。其中经过 20 μm 薄膜和微孔膜包装的鲜切生菜可滴定酸含量下降最为缓慢, 在货架期 4~8 d, 其可滴定酸含量显著高于对照组、30 μm 和 40 μm 薄膜包装组 ($P<0.05$)。与微孔膜包装相比, 20 μm 薄膜包装维持了相对较高的可滴定酸含量, 但 2 个处理间并无显著差异。可见, 20 μm 薄膜和微孔膜包装可以显著地抑制可滴定酸含量的损失。

2.8 薄膜包装对鲜切生菜丙二醛含量的影响

丙二醛 (MDA) 可以反映细胞膜脂质过氧化和果蔬衰老程度^[18]。各处理组鲜切生菜组织中 MDA 含量均随着货架时间的延长呈上升的趋势 (图 8)。在整个货架期间, 经 20 μm 包装的鲜切生菜 MDA 含量最低; 其次 MDA 含量较低的是微孔膜包装组; 而对照组、30 μm 和 40 μm 包装组的 MDA 含量呈波动上升趋势, 均处在较高水平, 这可能是由于缺氧胁迫所造成的细胞损伤^[19]。在货架期 8 d 时, 对照组、20 μm 、30 μm 、40 μm

薄膜和微孔膜包装组 MDA 含量分别为 0.46、0.27、0.58、0.40 和 0.34 $\mu\text{mol/kg}$, 20 μm 薄膜和微孔膜包装组 MDA 含量分别比对照组低 41.30%和 26.09%。可见, 20 μm 薄膜和微孔 PE 膜包装可有效抑制 MDA 的积累。

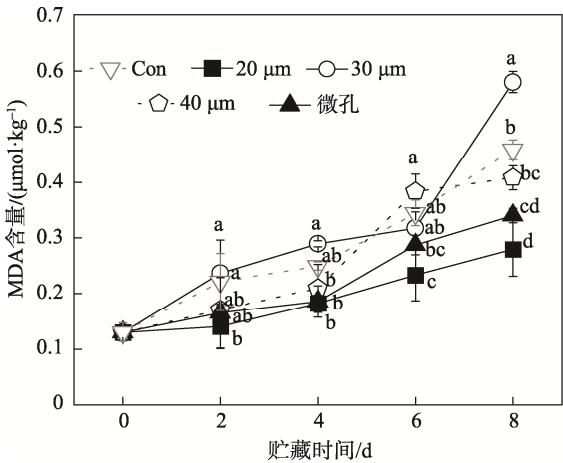


图 8 薄膜包装对鲜切生菜丙二醛 (MDA) 含量的影响

Fig.8 Effect of film packaging on MDA content of fresh-cut lettuce

2.9 鲜切生菜货架期品质指标的相关性分析

对货架期间鲜切生菜色泽参数、质量损失率、叶绿素、类胡萝卜素、叶黄素、抗坏血酸 (V_C)、可滴定酸和丙二醛 (MDA) 的含量进行皮尔逊相关性分析, 如图 9 所示。色泽 a^* 和 b^* 与叶绿素 a、叶绿素 b、

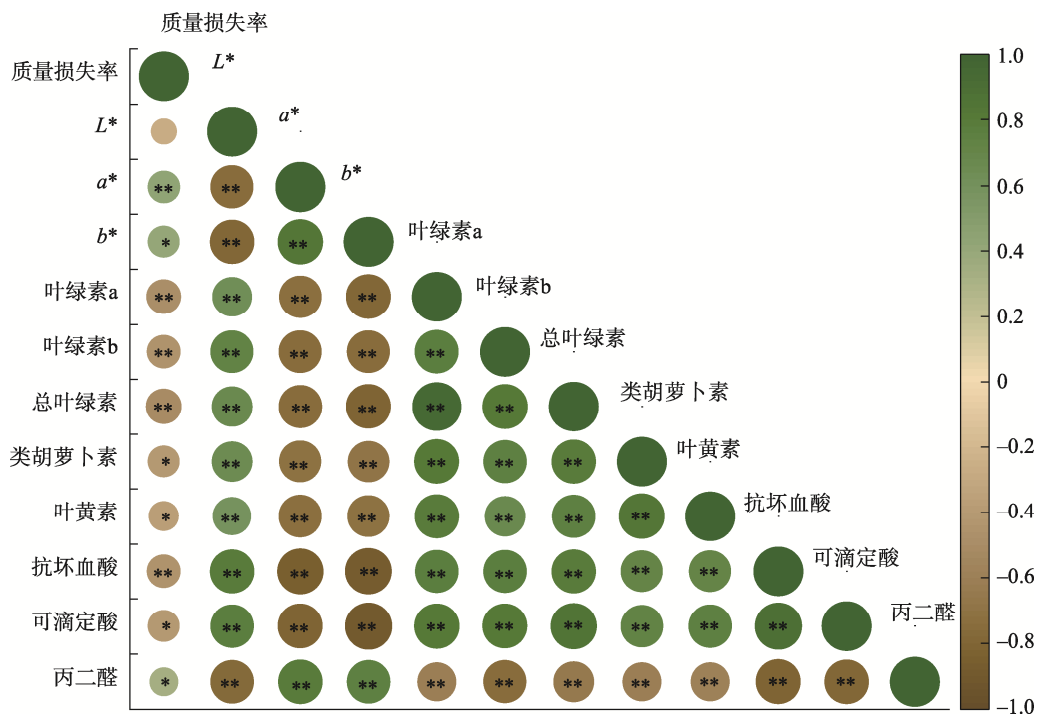


图 9 鲜切生菜货架期品质指标的相关性分析

Fig.9 Correlation analysis of shelf life quality index of fresh-cut lettuce

总叶绿素、类胡萝卜素、叶黄素、 V_C 和可滴定酸含量呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与 MDA 呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与质量损失率分别呈极显著正相关 ($P<0.01$) 和显著正相关 ($P<0.05$), 因此, 鲜切生菜在货架期间的各个品质指标密切相关。随着鲜切生菜颜色的褪绿转黄, 伴随着组织内叶绿素含量的下降, 营养物质的流失, 膜脂氧化程度加剧和质量损失率的增加。可见, 鲜切生菜经过合适的薄膜包装可以减缓叶片黄化和营养物质的消耗, 并抑制 MDA 和质量损失率的增加, 从而延长货架期。

3 讨论

生菜经过切分处理后会引发一系列的生理生化反应, 如呼吸速率加快、膜脂氧化程度加剧、失水、病原菌侵染、叶片黄化, 进而缩短了产品的货架期^[20]。薄膜包装利用薄膜材料不同的厚度、透气性、透湿性和果蔬呼吸作用, 来达到保鲜效果。本研究采用不同厚度 (20、30 和 40 μm) 的薄膜以及微孔膜包装鲜切生菜, 探究不同薄膜包装对鲜切生菜货架品质的影响。结果表明, 20 μm 薄膜和微孔膜包装可以显著减缓鲜切生菜 a^* 和 b^* 的升高, 保持袋内较高 O_2 和低 CO_2 环境, 并维持较好的外观品质, 延长货架期。但与 20 μm 薄膜相比, 微孔膜包装的鲜切生菜质量损失率较高, 与其透湿率高有关。另外, 随着包装膜厚度的增加, 其阻湿性能也随之增加, 但透气性能随之降低, 易造成 CO_2 的积累^[21]。类似地, 佟伟等^[22]采用薄膜包装西洋梨, 40 μm 厚度的 PE 袋内 CO_2 体积分数过高 (约 9%), 发生了严重的 CO_2 伤害现象。贾朝爽等^[23]研究不同厚度包装袋对塞外红苹果冷藏期和货架期品质的影响, 研究发现与 40 μm 薄膜对比, 20 μm 薄膜包装显著降低了塞外红果实的腐烂率和褐变率。可见, 20 μm 薄膜和微孔膜包装可以维持鲜切生菜较好的外观品质与色泽, 保持袋内合适的气体成分浓度, 延长了货架期。

绿色蔬菜衰老的主要因素是叶绿素的降解, 并伴有一些营养成分的损失^[20], 过程中会出现膜脂过氧化反应。丙二醛 (MDA) 含量的高低可直接反映组织膜脂过氧化的程度^[24]。本研究结果显示, 薄膜包装能减缓鲜切生菜叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量的下降, 维持较高的营养物质类胡萝卜素、叶黄素、抗坏血酸和可滴定酸含量, 减缓 MDA 含量的增加。但相较而言, 20 μm 薄膜和微孔膜包装能更有效地抑制鲜切生菜叶绿素、类胡萝卜素和叶黄素含量的下降, 以及 MDA 的积累, 有助于鲜切生菜的保鲜。乔永祥等^[25]研究表明, 利用臭氧结合次氯酸钠处理鲜切生菜, 可以抑制维生素 C 和叶绿素的含量的下降, 延缓鲜切生菜褐变萎蔫, 从而延长鲜切生菜的货架期。类似地, 刘佰霖等^[26]在研究自发气调包装和乙烯吸收剂

对玉露香梨果实品质及耐贮性的影响时, 认为玉露梨包装袋厚度不宜超过 30 μm , 这与本研究结果具有一致性。

4 结语

综上, 20 μm 薄膜和微孔膜包装对抑制鲜切生菜叶片 a^* 、 b^* 和 MDA 含量的增加, 以及叶绿素的下降具有显著的效果。但是, 微孔膜包装鲜切生菜的质量损失率达 1.33%, 是 20 μm PE 包装组的 3.02 倍, 且微孔膜较薄, 容易出现破损, 不易运输。因此, 20 μm 薄膜更适合鲜切生菜的保鲜贮藏, 可以显著提高其品质, 延长货架期 2~3 d, 可促进鲜切产业发展, 增加产业产值。

参考文献:

- [1] YANG X, GIL M I, YANG Q C, et al. Bioactive Compounds in Lettuce: Highlighting the Benefits to Human Health and Impacts of Preharvest and Postharvest Practices[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(1): 4-45.
- [2] 苏艳玲, 赵毅, 官逍逍, 等. 不同清洗剂对鲜切生菜品质及贮藏期间微生物的影响[J]. *农产品加工(上半月)*, 2021(3): 6-10.
SU Y L, ZHAO Y, GUAN X X, et al. Effects of Different Cleaning Agents on the Quality of Fresh Cut Lettuce and Microorganisms during Storage[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2021(3): 6-10.
- [3] VANDEKINDEREN I, VAN CAMP J, DE MEULENAER B, et al. Moderate and High Doses of Sodium Hypochlorite, Neutral Electrolyzed Oxidizing Water, Peroxyacetic Acid, and Gaseous Chlorine Dioxide did not Affect the Nutritional and Sensory Qualities of Fresh-Cut Iceberg Lettuce (*Lactuca Sativa* Var. *Capitata* L.) after Washing[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(10): 4195-4203.
- [4] 胡诗瑶, 王艳颖, 林子涵, 等. 外源保鲜剂对鲜切果蔬保鲜效果的研究进展[J]. *现代园艺*, 2023, 46(9): 1-3.
HU S Y, WANG Y Y, LIN Z H, et al. Research Progress of Fresh-keeping Effect of Exogenous Fresh-keeping Agents on Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. *Contemporary Horticulture*, 2023, 46(9): 1-3.
- [5] 满杰, 韦强, 钱井, 等. 不同气调保鲜袋对番茄采后保鲜效果的影响[J]. *蔬菜*, 2022(6): 42-47.
MAN J, WEI Q, QIAN J, et al. Effects of Different Preservative Bags on Postharvest Storage Quality of To-

- mato[J]. *Vegetables*, 2022(6): 42-47.
- [6] SOLTANI F M, ALIMARDANI R, MOBLI H, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Mechanical Properties of Lettuce During Shelf Life in Cold Storage[J]. *Information Processing in Agriculture*, 2021, 8(4): 485-493.
- [7] FERNÁNDEZ-LEÓN M F, FERNÁNDEZ-LEÓN A M, LOZANO M, et al. Different Postharvest Strategies to Preserve Broccoli Quality during Storage and Shelf Life: Controlled Atmosphere and 1-MCP[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(1): 564-573.
- [8] 王春芳, 刘晨霞, 王晓, 等. 不同厚度 LDPE 薄膜袋对鲜切生菜贮藏品质的影响[J]. *上海农业学报*, 2023, 39(1): 113-118.
WANG C F, LIU C X, WANG X, et al. Effects of LDPE Film Bags with Different Thickness on Storage Quality of Fresh-Cut Lettuce[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2023, 39(1): 113-118.
- [9] 王馨渝, 安容慧, 赵安琪, 等. 真空预冷过程中喷雾补水处理对上海青低温流通及货架期品质的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(7): 211-219.
WANG X Y, AN R H, ZHAO A Q, et al. Effect of Atomized Water Spray during Vacuum Pre-Cooling on the Quality of Pakchoi during Low Temperature Circulation and the Shelf Life Period[J]. *Food Science*, 2023, 44(7): 211-219.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 7.
National Health and Family Planning Commission, People's Republic of China. National Standards for Food Safety Determination of Ascorbic Acid in Food: GB 5009.86-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 7.
- [11] MARSH K, ATTANAYAKE S, WALKER S, et al. Acidity and Taste in Kiwifruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 32(2): 159-168.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-261.
LI H S. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-261.
- [13] 安容慧, 周宏胜, 罗淑芬, 等. 真空预冷及不同流通方式对上海青货架品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(13): 241-248.
AN R H, ZHOU H S, LUO S F, et al. Effects of Vacuum Precooling and Different Circulation Modes on the Shelf Quality of Pakchoi(*Brassica rapa* L.ssp.chinensis)[J]. *Food Science*, 2021, 42(13): 241-248.
- [14] 崔伊, 谷雨阁, 郭慧媛. 不同氧分压和相对湿度气调冰箱对 4 种蔬菜保鲜效果的影响[J]. *现代食品科技*: 1-9. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.0922.
CUI Y, GU Y G, GUO H Y. Modified Atmosphere Refrigerators on Quality Preservation of Four Kinds of Vegetables[J]. *Modern Food Science and Technology*: 1-9. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.0922.
- [15] 王玲, 戴凡炜, 吴继军, 等. 自发气调包装对芥蓝采后叶绿素降解及品质保持的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2023, 41(1): 163-174.
WANG L, DAI F W, WU J J, et al. Effects of Modified Atmosphere Packaging on Chlorophyll Degradation and Quality Maintenance of Chinese Kale after Harvest[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2023, 41(1): 163-174.
- [16] ZHANG Z Y, NIE M M, XIAO Y R, et al. Positive Effects of Ultrasound Pretreatment on the Bioaccessibility and Cellular Uptake of Bioactive Compounds from Broccoli: Effect on Cell Wall, Cellular Matrix and Digesta[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 149: 112052.
- [17] 林永艳, 谢晶, 朱军伟, 等. 清洗方式对鲜切生菜保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(1): 211-213.
LIN Y Y, XIE J, ZHU J W, et al. Effects of Different Washing Agents on the Preservation of Fresh-Cut Lettuce[J]. *Food and Machinery*, 2012, 28(1): 211-213.
- [18] 徐晔, 张晓臣, 潘金梦, 等. 不同保鲜措施对韭菜贮藏效果的影响[J]. *中国果菜*, 2022, 42(6): 6-12.
XU Y, ZHANG X C, PAN J M, et al. Influences of Different Preservation Measures on Storage Effect of Chinese Chives[J]. *China Fruit and Vegetable*, 2022, 42(6): 6-12.
- [19] 范凯. 超声波/涂膜联合气调处理对鲜切生菜和黄瓜冷藏品质及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 1-161.
FAN K. Study on the Quality and Mechanism of Ultrasound/Coating Combined with Modified Atmosphere Treatment on Fresh-Cut Lettuce and Cucumber During Cold Storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 1-161.
- [20] 周婧, 韩涛, 陈湘宁, 等. 不同包装材料对生菜采后生理及保鲜效果的影响[J]. *蔬菜*, 2017(11): 61-66.
ZHOU J, HAN T, CHEN X N, et al. The Influence of Different Packaging Materials on the Postharvest Physiology and Fresh-Keeping Effect of the Lettuce[J]. *Vegetables*, 2017(11): 61-66.
- [21] 李文香, 樊铭聪, 赵淑芳, 等. 不同厚度 LDPE 膜对

- 平菇保鲜效果的影响[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(6): 6-11.
- LI W X, FAN M C, ZHAO S F, et al. Effects of Different Thickness LDPE Film on Pleurotus Ostreatus Fresh-Keeping[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(6): 6-11.
- [22] 佟伟, 贾晓辉, 王文辉, 等. 自发气调包装对 3 个西洋梨品种保鲜效果的研究[J]. 浙江农业科学, 2009, 50(1): 117-119.
- TONG W, JIA X H, WANG W H, et al. Effects of Modified Atmosphere Packaging on Storage Quality of Three European Pears [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2009, 50(1): 117-119.
- [23] 贾朝爽, 王志华, 王文辉, 等. 不同厚度自发气调包装袋对塞外红苹果冷藏期和货架期品质的影响[J]. 中国果树, 2023(5): 23-27.
- JIA C S, WANG Z H, WANG W H, et al. Effect of Different Thickness of Spontaneous Modified Atmosphere Packaging Bags on the Quality of Cold Storage and Shelf Life of 'Saiwaihong' Apple[J]. China Fruits, 2023(5): 23-27.
- [24] 安容慧, 陈皖豫, 胡花丽, 等. 贮藏温度对采后上海青叶片衰老及活性成分的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(9): 7-16.
- AN R H, CHEN W Y, HU H L, et al. Effects of Storage Temperature on Senescence and Contents of Active Components in Postharvest Leaves of Pakchoi (*Brassica Chinensis* L.)[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(9): 7-16.
- [25] 乔永祥, 谢晶, 雷昊, 等. 复合清洗方式对鲜切散叶生菜品质的影响[J]. 包装工程, 2017, 38(11): 11-16.
- QIAO Y X, XIE J, LEI H, et al. Effect of Compound Cleaning Methods on the Quality of Fresh-cut Leafy Lettuce[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(11): 11-16.
- [26] 刘佰霖, 王文辉, 马风丽, 等. 自发气调包装和乙烯吸收剂对‘玉露香’梨果实品质及耐贮性的影响[J]. 果树学报, 2019, 36(7): 911-921.
- LIU B L, WANG W H, MA F L, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging and Ethylene Absorbents on Postharvest Fruit Quality and Storage Performance of 'Yuluxiang' Pear[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(7): 911-921.