

薄膜包装对娃娃菜采后贮藏品质的影响

陈皖豫^{1,2}, 安容慧^{2,3}, 胡花丽², 周宏胜², 罗淑芬², 肖丽霞¹, 李鹏霞²
(1.扬州大学, 江苏 扬州 225127; 2.江苏省农业科学院 农产品加工研究所, 南京 210014;
3.沈阳农业大学, 沈阳 110866)

摘要: **目的** 探究适用于娃娃菜采后贮藏保鲜的包装材料。**方法** 采用4种不同厚度的聚乙烯薄膜(10, 20, 30, 40 μm)包装娃娃菜, 以市场销售的原包装薄膜为对照, 测定在常温(23±2)°C下贮藏28 d的品质变化, 之后以筛选出的薄膜材料为研究对象, 进一步分析其对娃娃菜采后贮藏品质的影响。**结果** 与其他薄膜包装相比, 厚度为30 μm的聚乙烯薄膜包装材料对娃娃菜的保鲜效果最好, 其可溶性糖、蛋白含量分别为13.49 mg/g, 3.79 mg/g, MDA的质量摩尔浓度为1.51 μmol/g。与对照组相比, 厚度为30 μm的薄膜包装能够有效抑制娃娃菜表面菌落总数的生长, 延迟腐烂现象的发生, 维持其组织较高的抗坏血酸、总酚、可溶性糖、总硫苷和萝卜硫素含量。主成分法综合评价的结果也显示, 厚度为30 μm的薄膜包装对减缓娃娃菜品质劣变的效果更理想。**结论** 厚度为30 μm的聚乙烯薄膜包装能更好地维持采后娃娃菜的贮藏品质, 适宜用作采后娃娃菜的包装贮运材料。

关键词: 娃娃菜; 薄膜包装; 贮藏品质; 保鲜

中图分类号: TB484.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)07-0033-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.005

Effect of Film Packaging on Postharvest Storage Quality of *Brassica Pekinensis*

CHEN Wan-yu^{1,2}, AN Rong-hui^{2,3}, HU Hua-li², ZHOU Hong-sheng², LUO Shu-fen²,
XIAO Li-xia¹, LI Peng-xia²

(1.Yangzhou University, Yangzhou 225127, China; 2.Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3.Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the packaging materials suitable for storage and preservation of postharvest *brassica pekinensis*. The *brassica pekinensis* was packaged with four polyethylene films of different thickness (10, 20, 30, 40 μm). With the original packaging film sold in the market as the control, the quality changes after storage at (23±2)°C for 28 days were measured. Then, the selected films were used as research objects to further analyze their effects on the quality of postharvest storage of *brassica pekinensis*. Compared with other film packaging, the 30 μm thick polyethylene film packaging material had the best preservation effect on the *brassica pekinensis*, and the soluble sugar, protein and MDA content were respectively 13.49 mg/g, 3.79 mg/g and 1.51 μmol/g. Compared with the control group, the 30 μm thick film packaging could effectively inhibit the growth of the total number of bacterial colonies on the surface of the *brassica pekinensis*, delay the occurrence of decay, and maintain high content of ascorbic acid, total phenols, soluble sugars, total glucosinolates and sulforaphane. The results of comprehensive evaluation by principal component method

收稿日期: 2019-09-27

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金(CX(18)2028); 江苏省现代农业面上项目(BE2018383)

作者简介: 陈皖豫(1995—), 女, 扬州大学硕士生, 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流通保鲜与加工。

also exhibited that the 30 μm thick film packaging had a better effect in slowing down the deterioration of *brassica pekinensis*. The 30 μm thick polyethylene film package can maintain the storage quality of postharvest *brassica pekinensis* in a better way and it is the suitable material for packaging, storage and transportation of postharvest *brassica pekinensis*.

KEY WORDS: *brassica pekinensis*; film packaging; storage quality; preservation

娃娃菜 (*Brassica pekinensis*) 属于十字花科芸薹属白菜亚种, 其株形小巧玲珑, 具有营养丰富、口感脆嫩的特点, 富含糖类、蛋白质及膳食纤维等多种营养成分, 尤其是硫苷物质, 其水解产物萝卜硫素具有抗炎、抗氧化及抗肿瘤的作用^[1], 因而娃娃菜已成为一种高档蔬菜, 深受生产者和消费者的喜爱。娃娃菜具有组织脆嫩、含水量高和叶表面积大等特点, 在采后和贮藏过程中极易遭受机械损伤, 出现黄化、脱帮及腐烂现象, 失去营养价值, 致使其货架寿命缩短^[2]。目前在白菜的贮藏保鲜方面已形成了一些技术措施。例如, 汪敏等^[3]的研究表明, 质量分数为 4% 的纳米银抗菌膜具有抗菌作用, 延缓了白菜的腐败和萎蔫黄化进程。经过 200 $\mu\text{L/L}$ O_3 熏蒸处理 40 min 亦可有效保持冷藏大白菜的品质, 并具有促进硝酸盐和亚硝酸盐降解的作用^[4]。高 CO_2 和低 O_2 也有利于延长大白菜的贮藏期^[5]。目前对娃娃菜采后保鲜技术的报道甚少, 为保证采后娃娃菜的良好外观品质, 满足市场的流通需要, 实现娃娃菜的经济效益, 有必要研究可控采后娃娃菜品质劣变的保鲜技术措施。

薄膜包装属于自发气调保鲜技术, 能够依靠果蔬自身呼吸与薄膜材质的透气性建立动态平衡, 通过对呼吸作用的抑制, 减缓营养物质的转化和消耗, 从而达到延长果蔬贮藏期的效果^[6]。由于薄膜包装技术具有方便、经济和安全等优势, 已在西兰花^[7]、菠菜^[8]等果蔬保鲜中广泛应用。果蔬的采后呼吸作用是极其复杂的生理变化过程, 并且在实际应用中, 气调包装袋内气体的动态变化除了受果蔬本身呼吸作用的影响外, 还受到薄膜包装材料的渗透系数、包装的自由体积、贮藏的环境等多因素的影响。截止目前, 尚未见采后娃娃菜薄膜包装的相关研究报道。由此, 文中以娃娃菜为实验对象, 分析不同薄膜包装材料对娃娃菜采后贮藏品质的影响, 旨在为娃娃菜的采后保鲜提供技术支持。

1 实验

1.1 材料

实验所用娃娃菜产自甘肃兰州, 采收后立即装车运至江苏省南京市众彩物流批发市场。卸车后, 在 0.5 h 内运回江苏省农业科学院农产品加工所农产品贮藏保鲜研究室, 挑选大小均匀、无明显机械损伤的娃娃菜作为实验材料。

1.2 试剂与仪器

主要试剂: 平板计数琼脂、氯化钠、葱酮、无水乙醇、硫脲、浓硫酸、蔗糖、钼酸铵、草酸、乙二胺四乙酸二钠、乙酸、偏磷酸、抗坏血酸、福林-酚、碳酸钠、没食子酸、氯化钡、羧甲基纤维素钠、Sinigrin、甲醇、磷酸二氢钠、氢氧化钠、萝卜硫素标准品、二氯甲烷、乙腈。

主要仪器: SYQ-DSX-280B 高压灭菌锅(上海申安医疗器械厂)、SW-CJ-1B 超净工作台(苏州净化设备有限公司)、GNP-9080BS-III 隔水式恒温培养箱(上海新苗医疗器械制造有限公司)、UV-1102 紫外可见分光光度计、WD-2102A 型自动酶标仪、Danbell 气体分析仪(丹麦 Dansensor 公司)、多功能酸度计(梅特勒-托利多 PL202-L)、PL202-L 天平(Mettler Toledo 公司)、Sigma3k15 高速冷冻离心机(美国 Sigma-Aldrich 公司)、液氮研磨器(IKAA11BS25)艾卡(广州)仪器设备有限公司)、Aglient1260 高效液相色谱仪(安捷伦科技(中国)有限公司)。

1.3 处理方法

采用 4 种不同厚度的聚乙烯材料对娃娃菜进行包装处理, 规格为 25 cm \times 35 cm、厚度为 10 μm 的聚乙烯袋(P1)(O_2 渗透系数为 9767 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, CO_2 渗透系数为 14867.29 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$); 厚度为 20 μm 的聚乙烯袋(P2)(O_2 渗透系数为 8259 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, CO_2 渗透系数为 8205.33 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$); 厚度为 30 μm 的聚乙烯袋(P3)(O_2 渗透系数为 4746 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, CO_2 渗透系数为 7205.33 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$); 厚度为 40 μm 的聚乙烯袋(P4)(O_2 渗透系数为 3887 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$; CO_2 渗透系数为 5214.23 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)。材料的渗透系数由国家农产品保鲜中心测定。以市场销售的原包装为对照: 厚度为 50 μm 的聚丙烯袋(P5)(O_2 渗透系数为 2785 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, CO_2 渗透系数为 4398 $\text{mL}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)。包装方式为每种薄膜袋包装 3 组, 每组 3 颗娃娃菜。在(23 \pm 2) $^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 80%~90%条件下贮藏 28 d, 通过表型及相关品质指标筛选出保鲜效果较好的薄膜包装材料。

以筛选出的薄膜包装材料对娃娃菜进行包装处理, 置于温度(15 \pm 2) $^\circ\text{C}$ 、相对湿度 80%~90%条件下贮藏 40 d。每种薄膜包装 4 组, 每组 3 颗娃娃菜, 以市场销售的原包装为对照, 每隔 10 d 对娃娃菜拍照、测气和取样, 部分平行的鲜样用于测定菌落总数, 剩

余部分用液氮速冻，置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保存，用于各项品质指标的测定。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 可溶性糖含量

采用蒽酮-硫酸法^[9]，略有改动。称取 1.0 g 娃娃菜样品，加入 5 mL 体积分数为 80% 的乙醇研磨成匀浆， $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴中浸提 20 min，期间不断搅拌，冷却后在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、转速为 10 000 r/min 的条件下离心 20 min，重复浸提离心 1 次，合并离心后的上清液于 25 mL 容量瓶，用体积分数 80% 的乙醇定容。取 0.1 mL 上清液，沿管壁缓缓加入 5 mL 蒽酮，待全部加完后混匀， $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴中加热 10 min 后于 620 nm 测定吸光值。以葡萄糖为标准物质制作标准曲线，计算样品中可溶性糖含量 (mg/g)。

1.4.2 可溶性蛋白含量

采用 Bradford^[10] 的方法，略有改动。称取 1.0 g 娃娃菜样品，加入 5 mL 50 mmol/L 磷酸盐缓冲液 (pH=7.2) 混匀， $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下浸提 2 h，在转速为 10 000 r/min 的条件下离心 20 min。取上清液 0.1 mL，加入 5 mL 考马斯亮蓝，充分混合后于 595 nm 处测定吸光值。以牛血清蛋白为标准物质制作标准曲线，计算样品中蛋白质含量 (mg/g)。

1.4.3 过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性

参考刘红艳等^[11]的方法，略有改动。称取 1.0 g 样品，加入 5 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (pH=7.2) 研磨成匀浆，在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、转速为 10 000 r/min 的条件下离心 20 min 取上清液备用。加入 0.1 mL 粗酶液和 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 (pH=7.0)，混匀后在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 5 min，之后加入 1 mL 体积分数为 0.2% 的 H_2O_2 ，于 240 nm 处扫描，以 1 min 内 ΔOD_{240} 减少 0.1 为一个酶活单位，CAT 活性单位为 U/g。

POD 活性的测定，其粗酶液制备方法同前。取 0.05 mL 粗酶液，加入 2 mL 体积分数 0.05 mol/L 愈创木酚，在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡 5 min，然后加入 1 mL 体积分数为 0.2% 的 H_2O_2 混匀，1 min 后每隔 1 min 扫描 470 nm 处吸光值变化，以每分钟 OD_{470} 变化 0.01 为一个酶活单位 (U)，POD 活性单位为 U/g。

1.4.4 丙二醛含量 (MDA)

参考高建晓等^[12]的方法，略有改动。称取 1.0 g 样品，加入 5 mL 体积分数为 5% 的三氯乙酸充分研磨成匀浆，在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、转速为 10 000 r/min 的条件下离心 20 min。取上清液 2 mL，加入 2 mL 质量分数为 0.67% 的硫代巴比妥酸，混合后水浴煮沸 30 min，冷却后离心，分别取上清液测定其在 450 nm、532 nm 和 600 nm 波长处的吸光度，计算 MDA 含量

($\mu\text{mol/g}$)。

1.4.5 薄膜包装袋内气体比例

采用 Danbell 气体分析仪测定包装袋内 O_2 和 CO_2 体积分数。

1.4.6 菌落总数

根据 GB/T 4789.2—2010^[13] 操作。取 20 g 样品加入 80 mL 无菌生理盐水，均质机拍打 3 min，根据预实验结果，选择合适的母液稀释浓度涂板， $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养 24~48 h，观察计数。

1.4.7 抗坏血酸含量

参考钼蓝比色法^[14]，略有改动。称取 1.0 g 娃娃菜样品，加入 5 mL 草酸-EDTA 溶液研磨成匀浆，在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、转速为 8000 r/min 的条件下离心 15 min 取 1 mL 上清液，在低温下 ($4\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$) 依次加入 4 mL 草酸-EDTA 溶液、0.5 mL 偏磷酸-乙酸、1 mL 体积分数为 5% 的 H_2SO_4 及 2 mL 质量分数为 5% 的钼酸铵溶液。将其混匀置于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 15 min 后于 760 nm 处比色。同时以抗坏血酸含量为横坐标，OD 值为纵坐标制作标准曲线。

1.4.8 总酚含量

参考王亚楠等^[15]的方法，略加改动。称取娃娃菜样品 1.0 g，加入 5 mL 体积分数为 80% 的乙醇溶液充分研磨成匀浆，在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、转速为 10 000 r/min 的条件下离心 20 min 获得上清液。取 0.1 mL 上清液冰浴，加入 0.9 mL 蒸馏水和 0.5 mL Folin-酚试剂后于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下水浴 3 min，再加入 1 mL 饱和碳酸钠在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下反应 1.0 h，于 760 nm 处测定吸光值。以没食子酸标品建立标准曲线，通过标准曲线计算总酚含量 ($\mu\text{g/g}$)。

1.4.9 总硫代葡萄糖苷含量

上清液提取参照 Wei 等^[16]的方法稍作修改。取 1.0 g 娃娃菜样品加入 5 mL 煮沸的体积分数为 75% 的甲醇， $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中浸提 15 min，之后 10 000 r/min 转速下离心 15 min，收集上清液备用。硫代葡萄糖苷的测定参照王淑雯^[17]的方法。

1.4.10 黑芥子酶活性

黑芥子酶 (MYR) 活性的测定参照 Guo 等^[18]的方法，略加改动。称取 0.5 g 娃娃菜样品，加入 2.5 mL 浓度为 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH=6.5)， $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、转速为 10 000 r/min 的条件下离心 15 min，上清液即为粗酶液。取上清液 0.2 mL 与 0.2 mL 浓度为 2 mmol/L 的烯丙基硫苷溶液混合，于 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下水浴反应 15 min 后沸水灭酶 5 min，用葡萄糖试剂盒 (南京建成生物工程公司) 测定葡萄糖含量。以每分钟被 MYR 转化生成 1 nmol 葡萄糖为 1 个酶活单位 (U/g)。

1.4.11 萝卜硫素含量

根据 Guo 等^[19]的方法略有改动。称取 1.0 g 娃娃菜样品,加入 5 mL 蒸馏水,于 37 °C 下水解 3 h 后加入 8 mL 二氯甲烷,采用氮吹仪吹干后用 2 mL 体积分数为 10%的乙腈超声溶解,过 0.22 μm 有机系膜, HPLC 测定。液相色谱分析条件: XDB-C18 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 检测波长为 254 nm, 流速为 0.6 mL/min, 进样量 20 μL, 柱温 30 °C。流动相 A 为超纯水, 流动相 B 为乙腈, 洗脱程序: 0 min—25 min—30 min, 体积分数为 10%乙腈—体积分数为 60%乙腈—体积分数为 100%乙腈。

1.5 数据统计与分析

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 20.0 对数据进行差异显著性分析,数据处理间差异显著性检验采用 Duncan 法;用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同薄膜包装对娃娃菜外观品质的影响

不同薄膜包装处理对娃娃菜贮藏效果的影响见图 1。可看出,贮藏至 28 d 时, P1 和 P5 组娃娃菜出现严重腐烂, 其次为 P2 和 P4 组。相比而言, P3 薄膜包装维持了娃娃菜较好的外观品质。

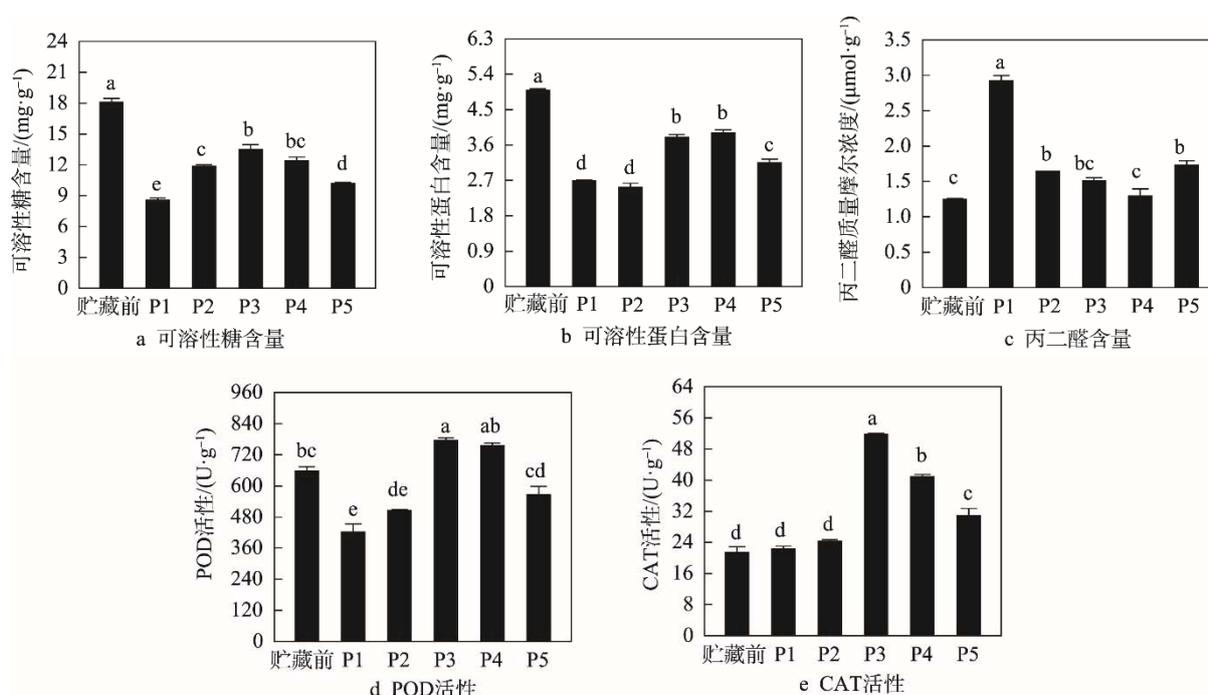
2.2 不同薄膜包装对娃娃菜可溶性糖、可溶性蛋白和 MDA 含量及 POD 和 CAT 活性的影响

图 2a 和 2b 反映了常温 (23±2) °C 下不同薄膜包装对娃娃菜可溶性糖和蛋白含量的影响。从图 2a—b 可看出, 贮藏 28 d 时, 各组娃娃菜的可溶性糖、可溶性蛋白含量皆显著低于其贮藏前的值 ($P<0.05$)。另外可看出, 相比于 P5 对照组, P1 薄膜包装虽对娃



图 1 不同薄膜包装对娃娃菜贮藏效果的影响

Fig.1 Effect of different film packaging on the storage property of *brassica pekinensis*



注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 贮藏时间为 28 d

图 2 不同薄膜包装对娃娃菜可溶性糖、可溶性蛋白和 MDA 含量及 POD 和 CAT 活性的影响

Fig.2 Effects of different film packaging on the contents of soluble sugar, soluble protein and MDA, as well as the activities of POD and CAT in *brassica pekinensis*

娃娃菜可溶性蛋白含量无显著影响,但显著降低了娃娃菜的可溶性糖含量。P2 薄膜对组织可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响略好于 P5 对照组;P3 和 P4 薄膜可显著维持娃娃菜中可溶性糖和可溶性蛋白的含量。

MDA 是膜脂氧化的主要产物,能够对细胞产生直接的毒害作用,可作为判定果蔬膜系统受伤害程度的一个重要指标。由图 2c 可知,相对于贮藏前,贮藏 28 d 后,所有处理组娃娃菜的 MDA 含量均有所增加,其中 P1 薄膜组的 MDA 质量摩尔浓度最高(2.92 $\mu\text{mol/g}$),其次是 P5(1.73 $\mu\text{mol/g}$)、P2(1.65 $\mu\text{mol/g}$)和 P4(1.51 $\mu\text{mol/g}$)组,最低的是 P3 组(1.29 $\mu\text{mol/g}$)。说明 4 种薄膜中,P3 薄膜包装对抑制娃娃菜 MDA 含量增加的效果较好。

图 2d 反映了不同薄膜包装娃娃菜 POD 活性的变化,可以看出,在贮藏结束时,P3 和 P4 组薄膜包装娃娃菜的 POD 活性显著增加,P2 组中的 POD 活性与 P5 对照无显著差异,而 P1 组的 POD 活性最低,仅为 422.85 U/g。

图 2e 显示,娃娃菜的 CAT 活性在贮藏结束时也展现了不同程度的增加,其中 P3 组的 CAT 活性(51.86 U/g)显著高于其他组,P4 组的 CAT 活性(40.81 U/g)也显著高于 P5 对照组(30.86 U/g),而 P1 和 P2 组的 CAT 活性均显著低于 P5 对照组。由此可见,P3 和 P4

薄膜包装能有效保持娃娃菜组织中较高的 CAT 活性。

综合分析不同薄膜包装材料对娃娃菜表型和品质指标及酶活性的影响,可得出 P3 薄膜包装材料对延缓娃娃菜采后衰老具有较好的作用,因此,随后的实验选取了 P3 薄膜材料,探查其对娃娃菜采后贮藏品质的影响规律。

2.3 P3 薄膜包装对娃娃菜外观品质的影响

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,2 组娃娃菜的外观品质均有所下降,但与 P5 对照组相比,P3 薄膜包装娃娃菜外观品质下降的速度明显较慢。在贮藏 20 d 时,P5 对照组的娃娃菜已经出现明显的腐烂症状,在 20~30 d 期间,腐烂程度持续增加。P3 薄膜包装的娃娃菜,贮藏至 30 d 时仍具有较好的外观品质,无明显腐烂症状。贮藏至 40 d 时,P5 对照组娃娃菜完全失去了商品价值,然而 P3 薄膜包装组的娃娃菜仅出现轻微的腐烂症状,说明 P3 薄膜包装可有效延缓采后娃娃菜品质的劣变。

2.4 P3 薄膜包装对娃娃菜贮藏内环境 O_2 和 CO_2 体积分数的影响

由图 4a 和 4b 可看出,P3 薄膜袋内的 O_2 含量整

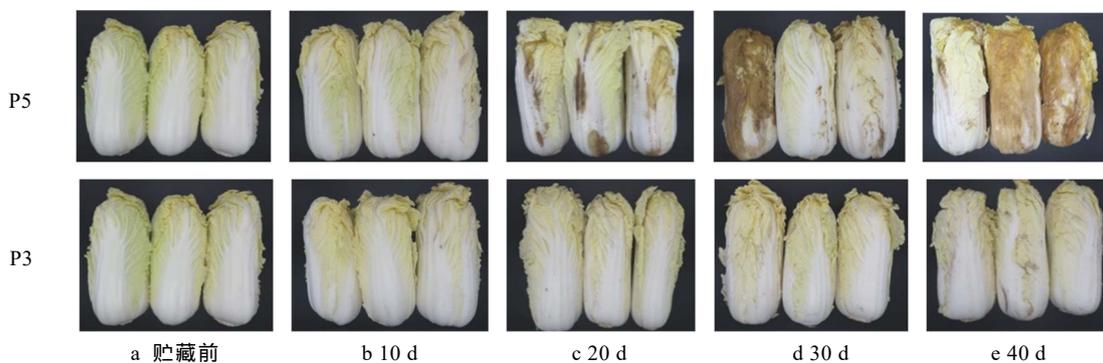
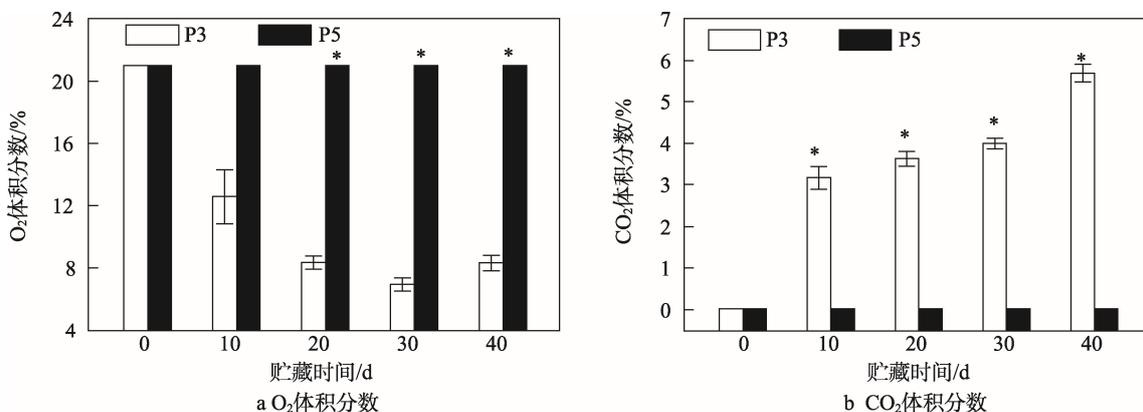


图 3 P3 薄膜包装对娃娃菜贮藏效果的影响

Fig.3 Effect of P3 film packaging on the storage property of *brassica pekinensis*



注: *为 0.05 水平上有显著差异

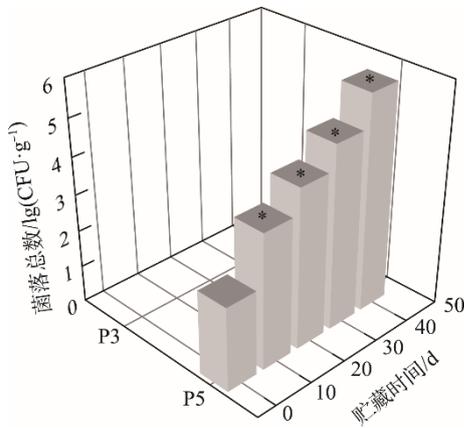
图 4 P3 薄膜包装袋内 O_2 和 CO_2 体积分数的变化

Fig.4 Changes in volume fraction of O_2 and CO_2 in P3 film packaging

体呈下降趋势, CO₂ 含量则不断增加。表明 P3 薄膜包装袋内的气体比例发生了明显变化, 由贮藏初期的高 O₂ 低 CO₂ 状态逐渐转变为低 O₂ 高 CO₂ 的微环境。在贮藏 10~40 d 过程中, 薄膜包装袋内的 O₂ 体积分数由 12.57% 降至 8.31%, CO₂ 体积分数则由 3.17% 增至 5.70%。

2.5 P3 薄膜包装对娃娃菜菌落总数的影响

菌落总数可以反映娃娃菜被微生物污染的程度, 是评价其清洁状态的一个重要指标。由图 5 可以看出, 随着贮藏期的延长, 2 组娃娃菜的菌落总数均呈上升趋势。与 P5 对照组相比, P3 薄膜包装处理显著降低了娃娃菜在贮藏期间的菌落总数, 这也与其对娃娃菜贮藏过程中腐烂症状的抑制结果一致。



注: *为 0.05 水平上有显著差异

图 5 P3 薄膜包装对娃娃菜菌落总数的影响

Fig.5 Effect of P3 film packaging on the total number of bacterial colonies in *brassica pekinensis*

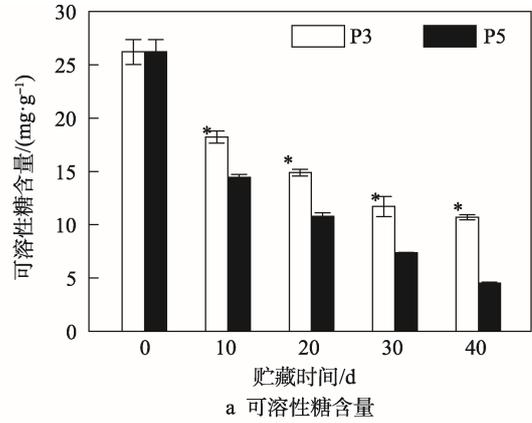
2.6 P3 薄膜包装对娃娃菜可溶性糖和抗坏血酸含量的影响

由图 6a 可知, 娃娃菜中可溶性糖含量在贮藏过程中呈下降趋势, 但 P3 组娃娃菜中可溶性糖含量的下降程度明显低于 P5 对照组。贮藏 10, 20, 30, 40 d 时, P3 组娃娃菜的可溶性糖较 P5 对照组分别高出 3.77, 4.11, 4.32, 6.19 mg/g。可见, P3 薄膜能有效抑制娃娃菜中可溶性糖含量的下降。

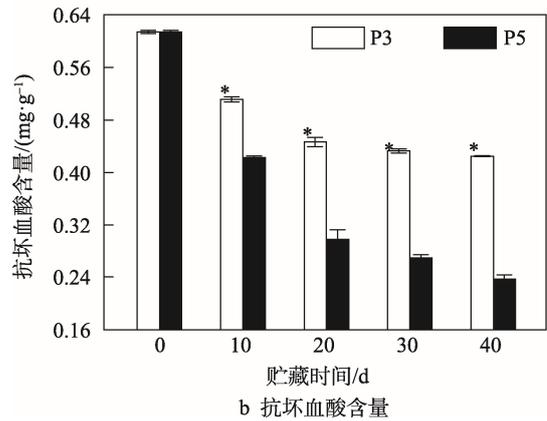
同样, 在贮藏过程中, 娃娃菜中的抗坏血酸含量也呈下降趋势(图 6b)。在贮藏的前 10 d, 2 组娃娃菜的抗坏血酸含量迅速下降, 但 P3 组娃娃菜的抗坏血酸含量显著高于 P5 对照组, 在之后的贮藏过程中, 娃娃菜中抗坏血酸含量的下降速率变缓, P3 薄膜包装娃娃菜的抗坏血酸含量始终高于 P5 对照组, 说明 P3 薄膜包装能够延缓采收后娃娃菜中抗坏血酸含量的损失。

2.7 P3 薄膜包装对娃娃菜总酚含量的影响

由图 7 可看出, 在贮藏过程中, 2 组娃娃菜的总酚含量均呈先上升后下降的趋势。总体来看, 除第 10 天外, P3 组娃娃菜的总酚含量均显著高于 P5 对照组。在贮藏 20, 30, 40 d 时, P3 组的总酚含量分别



a 可溶性糖含量

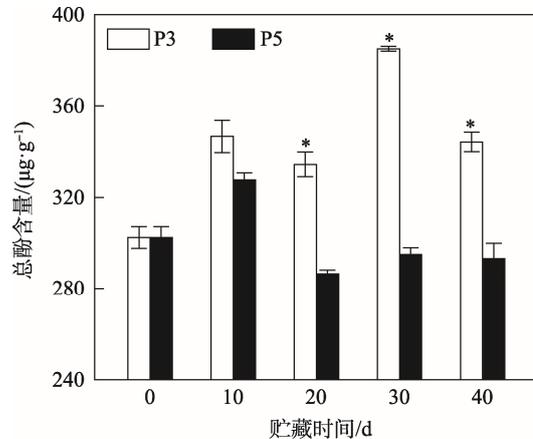


b 抗坏血酸含量

注: *为 0.05 水平上有显著差异

图 6 P3 薄膜包装对娃娃菜可溶性糖和抗坏血酸含量的影响

Fig.6 Effects of P3 film packaging on the contents of soluble sugar and ascorbic acid in *brassica pekinensis*



注: *为 0.05 水平上有显著差异

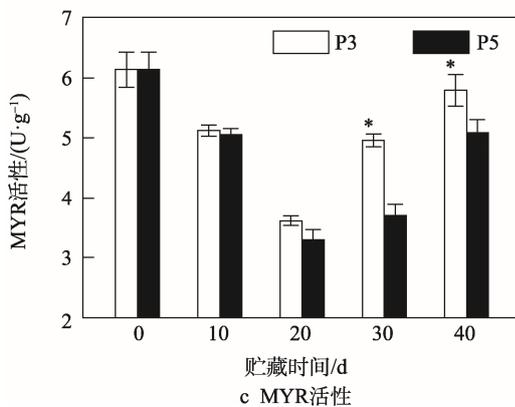
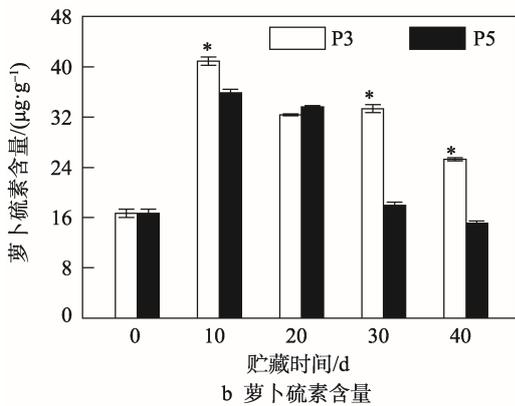
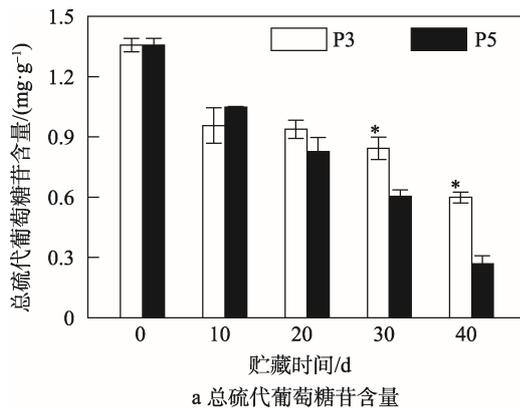
图 7 P3 薄膜包装对娃娃菜总酚含量的影响

Fig.7 Effect of P3 film packaging on the content of total phenolic in *brassica pekinensis*

是 P5 对照组的 1.17, 1.31 和 1.17 倍。可见 P3 薄膜包装可抑制娃娃菜总酚含量的下降。

2.8 P3 薄膜包装对娃娃菜总硫代葡萄糖苷、萝卜硫素含量及 MYR 活性的影响

由图 8a 可看出,与贮藏前相比,在贮藏 10~20 d 期间,2 组娃娃菜的总硫代葡萄糖苷含量均下降,二者之间无显著差异。在之后的贮藏过程中,所有娃娃菜中的总硫代葡萄糖苷含量继续下降,但 P3 薄膜包装显著减缓了娃娃菜组织中总硫代葡萄糖苷下降的



注：*为 0.05 水平上有显著差异

图 8 P3 薄膜包装对娃娃菜总硫代葡萄糖苷、萝卜硫素含量及 MYR 活性的影响

Fig.8 Effects of P3 film packaging on the contents of total glucosinolates and sulforaphane, as well as MYR activity in *brassica pekinensis*

速度。在贮藏 30 d 和 40 d 时, P3 薄膜包装组的总硫代葡萄糖苷含量分别是 P5 对照组的 1.39 和 2.21 倍。

由图 8b 可知,贮藏期间娃娃菜萝卜硫素含量呈先上升后下降的趋势。贮藏前期(0~10 d),2 组娃娃菜的萝卜硫素含量均增加,其中 P3 组的萝卜硫素含量显著高于 P5 对照组;贮藏至 20 d 时,P3 和 P5 组娃娃菜的萝卜硫素含量之间无显著差异,但在随后的贮藏过程(30~40 d)中,娃娃菜中的萝卜硫素含量出现下降,相比之下,贮藏 30 d 和 40 d 时,P3 薄膜包装组的萝卜硫素含量分别是 P5 对照组的 1.86 倍和 1.67 倍。可见,P3 薄膜包装处理减缓了娃娃菜组织中萝卜硫素含量的下降。

图 8c 反映了贮藏期间娃娃菜 MYR 活性的变化。由图 8c 可知,各组娃娃菜的 MYR 活性均呈先下降后上升的趋势。贮藏前期(0~20 d),所有娃娃菜中的 MYR 活性不断下降,二者之间也无显著差异,在随后的贮藏过程中,娃娃菜组织中的 MYR 活性出现升高,并且 P3 组的 MYR 活性显著高于 P5 对照组。

2.9 基于主成分分析综合评价不同薄膜包装对娃娃菜采后贮藏特性的影响

为了从整体上综合评价不同薄膜包装对娃娃菜采后贮藏特性的影响,对上述指标进行了主成分分析。主成分分析的得分结果见图 9,主成分 1 和 2 基本可区分 P3 和 P5 处理组的贮藏特性。另外可看出,随着贮藏时间的延长,娃娃菜的贮藏特性均从 PC2 的负坐标向其正坐标变化。除了贮藏 40 d 外,P3 组娃娃菜样本点均位于 PC2 的负坐标区域,而 P5 对照组只有在贮藏第 10 天时位于 PC2 的负坐标区域,贮藏 20、30 和 40 d 的样本点均位于 PC2 的正坐标区域。这些结果表明,P3 薄膜包装明显减缓了娃娃菜贮藏特性的劣变进程。

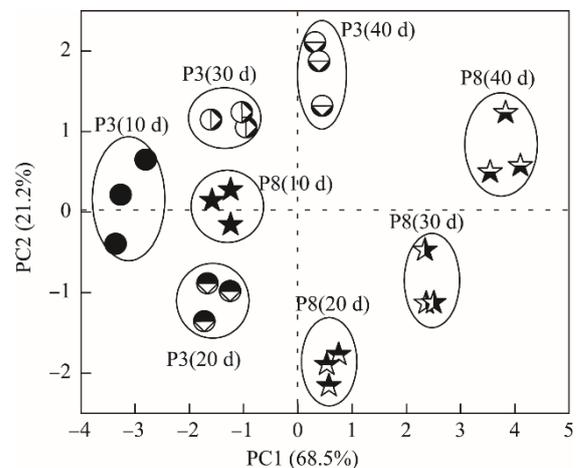


图 9 主成分分析综合反应了薄膜包装对娃娃菜采后贮藏特性的影响

Fig.9 Effects of film packaging on postharvest storage characteristics of *brassica pekinensis* comprehensively reflected by the principal component analysis

3 讨论

薄膜包装能够利用果蔬的呼吸作用及包装材料对 O_2 和 CO_2 的渗透性使袋内形成较为稳定的气体微环境,从而降低果蔬的呼吸速率^[20]。Yang 等^[21]采用高透湿和高透氧膜包装大白菜能有效地延缓大白菜的呼吸,减少养分的流失,保持其良好的外观品质,并避免了结露现象。Rai 等^[22]采用打孔聚丙烯薄膜包装西兰花有效维持了西兰花中叶绿素和抗坏血酸的含量。曹森等^[23]采用 PE (40 μm) 薄膜袋包装有效抑制了辣椒的腐烂率、呼吸强度的上升,同时保持了辣椒的抗坏血酸含量。娃娃菜在采收后虽与母体脱离,但仍进行着强烈的呼吸作用,而适宜比例的气体组分对维持娃娃菜组织正常的生理代谢至关重要^[5]。同样该试验结果也表明,在娃娃菜的贮藏过程中,P3 薄膜的微环境中也形成了 O_2 低和 CO_2 高的现象(图4),因而有效控制了娃娃菜采后的衰败进程。

果蔬表面微生物对其品质及货架期有直接的影响。菌落增殖能力的强弱可能与果蔬自身的抗逆能力以及包装袋中的气体比例有关。氧气浓度偏低或二氧化碳浓度偏高时会引起组织呼吸代谢失调,抗逆能力减弱,加快组织的衰老腐败^[24]。相关研究表明,自发气调包装可有效抑制微生物的生长^[25]。研究也显示,P3 薄膜包装材料能有效抑制贮藏过程中娃娃菜表面菌落总数的增加,延缓其腐败现象的发生。

可溶性糖作为衡量娃娃菜营养成分的指标之一,亦可间接反映娃娃菜采后的衰老程度。此外,娃娃菜中含有丰富的抗坏血酸,可调节人体的免疫力、抗氧化和衰老的能力,因此抗坏血酸的含量既可衡量果蔬的营养状况,又可反映果蔬的抗衰老及抗逆能力^[26]。该研究显示,在贮藏期间,娃娃菜中的可溶性糖作为其呼吸底物不断被消耗,呈现下降趋势。相比之下,P3 薄膜包装可显著维持娃娃菜中可溶性糖含量。同样,P3 薄膜包装处理也减缓了娃娃菜在采后贮藏期间抗坏血酸含量的下降。徐冬梅等^[27]的研究也证实,薄膜包装白菜的抗坏血酸含量变化最小。

总酚是重要的抗氧化物质,对自由基具有较强的清除能力。总酚含量是果蔬货架期的重要指标之一,随着果实的成熟衰老,酚类物质的含量不断下降^[28]。该研究表明,娃娃菜在采后贮藏期间,总酚含量呈先上升后下降的趋势,然而 P3 薄膜包装能够有效抑制娃娃菜总酚含量的下降。随着贮藏时间的增加,娃娃菜细胞膜受损,组织中酚类物质发生变化,采用薄膜处理降低了贮藏环境中 O_2 浓度,袋内形成的低氧环境可能是延缓总酚下降的原因。

硫代葡萄糖苷是十字花科植物的主要活性成分,决定着植物的风味和营养品质。当植物组织受损时,硫苷能够从植物细胞液泡中释放,并与黑芥子酶

(MYR) 接触,发生水解,形成异硫氰酸酯等一系列产物。萝卜硫素是异硫氰酸酯的一种,是至今发现的抗癌活性最强的天然成分。据报道^[29],硫代葡萄糖苷含量在采收后会下降,而外部的环境因素也会影响硫代葡萄糖苷和萝卜硫素的含量。Jin 等^[30]研究表明,青花菜中总硫代葡萄糖苷和萝卜硫素含量在 25 $^{\circ}\text{C}$,贮藏过程中呈下降趋势,使用 LED 绿光后显著保持了组织的总硫代葡萄糖苷含量,但是对萝卜硫素无明显作用。试验结果显示,P3 薄膜包装娃娃菜的总硫代葡萄糖苷含量高于对照组,这可能与薄膜包装抑制娃娃菜细胞完整性的丧失有关,避免了黑芥子酶与硫代葡萄糖苷的接触,因而维持了组织中较高的总硫代葡萄糖苷含量。另外袋内逐渐形成的高 CO_2 环境亦可能抑制了硫苷的降解。Jia 等^[31]的研究也显示,在不打孔(M0)、2个微孔(M1)与4个微孔(M2)薄膜包装的西兰花中,M0组的硫代葡萄糖苷含量最高,其次是M1和M2。Dunford 等^[32]的研究也表明, CO_2 浓度升高有利于硫代葡萄糖酸盐的生物合成或降低黑芥子酶对硫代葡萄糖酸盐的降解。文中研究的结果显示,P3 薄膜包装处理保持了娃娃菜总硫代葡萄糖苷的含量,提高了贮藏后期娃娃菜的 MYR 活性,同时还保持了其组织的萝卜硫素含量,这可能由于 CO_2 浓度升高不仅加速了硫苷的水解,同时还加速了硫苷的生物合成^[32-33],而总体上硫苷的含量并没有下降。

4 结语

P3 薄膜包装通过在袋内形成稳定的低 O_2 、高 CO_2 的气体微环境,来抑制娃娃菜表面菌落总数的生长,从而抑制了袋内娃娃菜的腐烂,同时 P3 形成的该微环境通过有效维持其组织较高的可溶性糖、总酚、总硫代葡萄糖苷、抗坏血酸和萝卜硫素等含量来保持娃娃菜的营养品质,由此达到保鲜娃娃菜的效果。

参考文献:

- [1] 姚丹燕,吴秋云,李倩,等.萝卜硫素调控机制的研究进展[J].园艺学报,2014,41(5):1020—1026.
YAO Dan-yan, WU Qiu-yun, LI Qian, et al. Advances in the Regulation Mechanism of Sulforaphane[J]. Journal of Horticulture, 2014, 41(5): 1020—1026.
- [2] 张克宏,杜俊娟.叶菜类蔬菜气调保鲜包装研究[J].包装工程,2007,28(1):49—52.
ZHANG Ke-hong, DU Jun-juan. Modified Atmosphere Packaging of Leafy Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(1): 49—52.
- [3] 汪敏,赵永富,侯喜林,等.纳米银抗菌膜对白菜的保鲜效果[J].江苏农业科学,2018,46(22):204—206.

- WANG Min, ZHAO Yong-fu, HOU Xi-lin, et al. Fresh-keeping Effect of Nano-silver Antibacterial Film on Chinese Cabbage[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2018, 46(22): 204—206.
- [4] 千春录, 王兢业, 李虹, 等. 臭氧对大白菜低温贮藏品质和硝酸盐、亚硝酸盐的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(2): 350—354.
- QIAN Chun-lu, WANG Jing-ye, LI Hong, et al. Effects of Ozone on the Storage Quality and Nitrate and Nitrite of Chinese Cabbage[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019, 46(2): 350—354.
- [5] RANJITHA K, SUDHAKAR R D V, SHIVASHANKARA K S, et al. Integrating Calcium Chloride Treatment with Polypropylene Packaging Improved the Shelf Life and Retained the Quality Profile of Minimally Processed Cabbage[J]. Food Chemistry, 2018(256): 1—10.
- [6] SOUSA-GALLAGHER M J, MAHAJAN P V. Integrative Mathematical Modelling for MAP Design of Fresh-produce: Theoretical Analysis and Experimental Validation[J]. Food Control, 2013, 29(2): 444—450.
- [7] RAI D R, TYAGI S K, JHA S N, et al. Qualitative Changes in the Broccoli (*Brassica oleracea* Italic) under Modified Atmosphere Packaging in Perforated Polymeric Film[J]. Journal of Food Science and Technology, 2008, 45(3): 247—250.
- [8] 李方, 卢立新. 菠菜微孔膜气调保鲜包装的试验研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 22—24.
- LI Fang, LU Li-xin. Experimental Study on Modified Atmosphere Packaging of Spinach Microporous Membrane[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 22—24.
- [9] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 144.
- ZHAO Shi-jie, SHI Guo-an, DONG Xin-chun. Plant Physiology Experiment Guide[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002: 144.
- [10] BRADFORD M M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-dye Binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1): 248—254.
- [11] 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. Effects of Modified Atmosphere Treatment on Antioxidant and Antibiotic Enzyme Activities of Green Asparagus[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(6): 1119—1127.
- [12] 高建晓, 王毓宁, 李鹏霞, 等. 漆蜡涂膜对鲜莲蓬采后褐变的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 275—282.
- GAO Jian-xiao, WANG Yu-ning, LI Peng-xia, et al. Effect of Paint Wax Coating on Postharvest Browning of Fresh Lotus Seedlings[J]. Food Science, 2016, 37(18): 275—282.
- [13] GB/T 4789.2—2010, 食品卫生微生物学检验菌落总数测定[S].
- GB/T 4789.2—2010, Determination of the Total Number of Colonies in Food Hygiene Microbiological Examination[S].
- [14] 史君彦, 高丽朴, 左进华, 等. 纳米膜和PVC膜包装对西兰花贮藏保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 255—258.
- SHI Jun-yan, GAO Li-pu, ZUO Jin-hua, et al. Effects of Nano-film and PVC Film Packaging on Storage and Preservation of Broccoli[J]. Food Science and Technology, 2016, 37(19): 255—258.
- [15] 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.
- [16] WEI J, MIAO H, WANG Q. Effect of Glucose on Glucosinolates, Antioxidants and Metabolic Enzymes in Brassica Sprouts[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4): 535—540.
- [17] 王淑雯. 芥菜芽苗中异硫氰酸酯富集调控技术及其咀嚼片开发[D]. 扬州: 扬州大学, 2017: 24.
- WANG Shu-wen. Isothiocyanate Enrichment Regulation Technology and Development of Chewable Tablets in Mustard Sprouts[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017: 24.
- [18] GUO L, YANG R, WANG Z, et al. Glucoraphanin, Sulforaphane and Myrosinase Activity in Germinating Broccoli Sprouts as Affected by Growth Temperature and Plant Organs[J]. Journal of Functional Foods, 2014(9): 70—77.
- [19] GUO R, YUAN G, WANG Q. Sucrose Enhances the Accumulation of Anthocyanins and Glucosinolates in Broccoli Sprouts[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1080—1087.
- [20] ZOGUL F, POLAT A, ZOGUL Y. The Effects of Modified Atmosphere Packaging and Vacuum Packaging on Chemical, Sensory and Microbiological Changes of Sardines[J]. Food Chemistry, 2004, 85(1): 49—55.
- [21] YANG Da, Li Dong-li, XU Wen-cai, et al. Design and Application of a Passive Modified Atmosphere Packaging for Maintaining the Freshness of Chinese Cabbage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 94: 136—141.
- [22] RAI D R, TYAGI S K, JHA S N, et al. Qualitative Changes in the Broccoli (*Brassica oleracea* Italic) under Modified Atmosphere Packaging in Perforated Polymeric Film[J]. Journal of Food Science and Technology, 2008, 45(3): 247—250.
- [23] 曹森, 赵成飞, 钟梅, 等. 自发气调包装对辣椒贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 271—276.

- CAO Sen, ZHAO Cheng-fei, ZHONG Mei, et al. Effects of Spontaneous Atmosphere Packaging on the Quality of Capsicum Storage[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 38(13): 271—276.
- [24] 杨冲, 谢晶. 气调包装对空心菜净菜冷藏品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(9): 165—170.
- YANG Chong, XIE Jing. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Refrigeration Quality of Water Spinach[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(9): 165—170.
- [25] SANGUINETTI A M, CARO A D, SCANU A, et al. Extending the Shelf Life of Gluten-free Fresh Filled Pasta by Modified Atmosphere Packaging[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 71: 96—101.
- [26] MYERS R A. Packing Considerations of Minimally Processed Fruits and Vegetables[J]. *Food Technology*, 1989, 43(2): 129—131.
- [27] 徐冬梅, 张燕宁, 张兰, 等. 不同贮藏方式对白菜品质的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(11): 40—44.
- XU Dong-mei, ZHANG Yan-ning, ZHANG Lan, et al. Effects of Different Storage Methods on the Quality of Chinese Cabbage[J]. *Food Science*, 2017, 42(11): 40—44.
- [28] 赵云峰, 林河通, 林艺芬, 等. 热处理延缓采后龙眼果实果皮褐变及其与酚类物质代谢的关系[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(5): 218—224.
- ZHAO Yun-feng, LIN He-tong, LIN Yi-fen, et al. Heat Treatment Delays Browning of Longan Fruit and Its Relationship with Phenolic Metabolism in Postharvest Longan[J]. *Modern Food Science*, 2014, 30(5): 218—224.
- [29] RANGKADILOK N, TOMKINS B, NICOLAS M E, et al. The Effect of Post-harvest and Packaging Treatments on Glucoraphanin Concentration in Broccoli (*Brassica oleracea* L var *Italica*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50: 7386—7391.
- [30] JIN P, YAO D, XU F, et al. Effect of Light on Quality and Bioactive Compounds in Postharvest Broccoli Florets[J]. *Food Chemistry*, 2015, 172: 705—709.
- [31] JIA C G, XU C J, WEI J, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Visual Quality and Glucosinolates of Broccoli Florets[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(1): 28—37.
- [32] DUNFORD N T, TEMELLI F. Effect of Supercritical CO₂ on Myrosinase Activity and Glucosinolate Degradation in Canola[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44: 2372—2376.
- [33] CHEN W, WANG Y, XU L, et al. Methyl Jasmonate, Salicylic Acid and Abscisic Acid Enhance the Accumulation of Glucosinolates and Sulforaphane in Radish (*Raphanus Sativus* L) Taproot[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 250: 159—167.