

基于主成分分析法研究自发气调包装对方竹鲜笋保鲜效果的影响

徐锦洋, 王 瑞, 张 妮, 杨微微, 邓云兵, 曹 森, 巴良杰, 吉 宁

Study on the Effects of Modified Atmosphere Packaging on the Freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* Shoot Based on Principal Component Analysis

XU Jinyang, WANG Rui, ZHANG Ni, YANG Weiwei, DENG Yunbing, CAO Sen, BA Liangjie, and JI Ning

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040254>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

自发气调包装对辣椒贮藏品质的影响

Effect of modified atmosphere packaging on the storage quality of *Capsicum annuum* L.

食品工业科技. 2017(13): 271-276 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.13.050>

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 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.11.044>

基于主成分分析的鲜海带营养品质评价

Nutritional Quality Evaluation of Fresh Kelp based on Principal Component Analysis

食品工业科技. 2018, 39(19): 220-224,231 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.19.039>

基于聚类分析和主成分分析法的杨梅营养品质评价研究

Evaluation of nutritional quality of red bayberry based on cluster analysis and principal component

食品工业科技. 2017(01): 278-280 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.01.047>

基于主成分分析的芹菜品质评价

Quality Evaluation of Celery Based on Principal Component Analysis

食品工业科技. 2020, 41(3): 308-314,320 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.051>

基于主成分分析法对冷冻滩羊肉品质评价模型的构建

Modeling for quality evaluation of frozen lamb based on principal component analysis

食品工业科技. 2017(09): 300-303 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.09.049>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

徐锦洋, 王瑞, 张妮, 等. 基于主成分分析法研究自发气调包装对方竹鲜笋保鲜效果的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 322–330. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040254

XU Jinyang, WANG Rui, ZHANG Ni, et al. Study on the Effects of Modified Atmosphere Packaging on the Freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* Shoot Based on Principal Component Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 322–330. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040254

· 贮运保鲜 ·

基于主成分分析法研究自发气调包装对方竹鲜笋保鲜效果的影响

徐锦洋¹, 王 瑞¹, 张 妮¹, 杨微微¹, 邓云兵², 曹 森¹, 巴良杰¹, 吉 宁^{1,*}

(1. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州贵阳 550005;

2. 绥阳县太平高山生态中药材种植有限公司, 贵州遵义 563300)

摘 要: 采用不同自发气调袋结合低温处理对方竹鲜笋进行贮藏保鲜, 探究方竹鲜笋的最佳保鲜工艺。将方竹鲜笋采用四种不同的自发气调袋 (WK、PE20、PE30、PE40) 在 $(1.0 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ 的保鲜库贮藏 50 d, 每隔 10 d 取样对方竹鲜笋贮藏期间的呼吸强度、硬度、褐变指数、多酚、可溶性蛋白质、苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、过氧化物酶 (POD) 等指标进行测定, 结合主成分分析法分析不同自发气调袋对方竹鲜笋的保鲜效果。结果表明: PE20 袋可以有效降低方竹鲜笋呼吸强度, 抑制硬度的上升, 延缓方竹鲜笋总色差值的改变, 抑制方竹鲜笋贮藏期间腐烂率、褐变指数、POD 活性和 PAL 活性的上升, 使方竹鲜笋的营养物质 (V_C 、可溶性蛋白质) 维持在较高水平。主成分分析表明, 呼吸强度、硬度中、腐烂率等是影响方竹鲜笋保鲜的关键指标, 将分析结果进行综合评价得分, 50 d 时 PE20 包装的综合评价得分高于其他三种自发气调包装。综合指标测定和主成分分析结果表明 PE20 袋处理对方竹鲜笋的保鲜效果最佳。

关键词: 方竹鲜笋, 自发气调包装, 主成分分析, 保鲜效果

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)05-0322-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040254

本文网刊:



Study on the Effects of Modified Atmosphere Packaging on the Freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* Shoot Based on Principal Component Analysis

XU Jinyang¹, WANG Rui¹, ZHANG Ni¹, YANG Weiwei¹, DENG Yunbing², CAO Sen¹,
BA Liangjie¹, JI Ning^{1,*}

(1. School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang College, Guiyang 550005, China;

2. Suiyang Taiping Gaoshan Ecological Traditional Chinese Medicine Planting Co., Ltd., Zunyi 563300, China)

Abstract: Different modified atmosphere packaging bags combined with low temperature treatment were used to store and preserve freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots to investigate the optimal preservation process of freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots. The freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots were stored in four different modified atmosphere packaging bags (WK, PE20, PE30, PE40) for 50 d in a cool storage facility at $(1.0 \pm 0.3)^\circ\text{C}$. The respiration intensity, hardness, browning index, polyphenols, soluble protein, PAL and POD of freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots were measured by sampling every 10 d during storage. And the effect of preservation of freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots by different modified atmosphere packaging bags was analyzed by combining with principal component analysis. The results showed that: PE20 could effectively reduce the

收稿日期: 2022-04-22

基金项目: 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2020]1Y139 号); 贵州省科技计划项目 [黔科中引地 (2020)4018 号]; 2020 年国家级大学生创新训练项目 (202010976021); 贵阳市财政支持贵阳学院学科建设与研究生教育项目 (2021-xk14)。

作者简介: 徐锦洋 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜, E-mail: jinyangxu1998@163.com。

*** 通信作者:** 吉宁 (1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜, E-mail: jining552100@163.com。

respiration intensity of freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots, inhibit the rise of hardness, delay the change of total color difference value of fresh bamboo shoots, and inhibit the rise of decay rate, browning index, POD activity and PAL activity during storage of fresh bamboo shoots. The nutrients (V_C , soluble protein) of freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots were maintained at a high level. Principal component analysis showed that respiration intensity, medium hardness, and decay rate were the key indicators affecting the freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots. The results of the analysis were subjected to a composite evaluation score, and the composite evaluation score of PE20 packaging at 50 d was higher than that of the other three modified atmosphere packages. The combined index determination and principal component analysis concluded that the treatment with modified atmosphere packaging bags of PE20 was the most effective in preserving freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots.

Key words: freshness of *Chimonabambusa quadrangularis* shoots; modified atmosphere packaging; principal component analysis; freshness preservation effect

方竹(*Chimonabambusa quadrangularis*)禾本科(Poaceae)竹亚科(Bambusoideae)竹属竹种,是主产于我国西南地区的笋用竹种^[1]。方竹笋营养丰富,蛋白质、氨基酸、膳食纤维含量高,深受消费者喜爱^[2]。采收后的方竹笋水分含量高,呼吸强度大,生长代谢旺盛,极易发生木质化、褐变、腐烂变质等降低方竹笋品质的现象,降低方竹笋的商品价值^[3]。研究方竹鲜笋的贮藏保鲜技术,对抑制其采后腐烂、衰老,保持其贮藏期间的良好生理品质有着重要的意义。

竹笋保鲜手段目前主要有低温处理和化学保鲜剂处理等,均能在一定程度上维持竹笋的贮藏品质^[4]。其中低温处理可以有效降低采后的呼吸作用,但是单一低温处理不能充分抑制果蔬贮藏期间水分散失,过低的贮藏温度还会导致贮藏期间竹笋冷害,造成商品价值丧失^[5]。化学保鲜剂虽然可以大规模应用于生产,但在使用期间存在安全问题,使用不当还会影响果蔬贮藏期间的品质,其中,一氧化氮(NO)能有效抑制果蔬保鲜期间的病害,起到防腐保鲜的效果,但NO自身具有毒性且无色无味,具有较大的安全隐患,不易于大量使用^[6]。二氧化氯因杀菌效果好、适应广、无污染等优点被广泛应用于食品保鲜领域,但二氧化氯使用浓度不当反而会损伤竹笋导致竹笋褐变影响果蔬的品质^[7]。

气调贮藏因其保鲜效果好、保鲜过程安全被广泛使用,其通过改变果蔬贮藏的气体环境达到抑制果蔬自身呼吸作用、减小贮藏期间的代谢,进而延长果蔬保鲜时长的目的^[8]。自发气调包装(Modified Atmosphere Packaging, MAP)是利用薄膜对 O_2 和 CO_2 的渗透率来控制包装内果蔬的呼吸强度,同时结合薄膜的透湿率,使包装内产品处于适宜的气体环境和湿度条件下,从而抑制贮藏果蔬的生理代谢,延长果蔬的贮藏期^[9]。MAP具备成本低、操作简单、无毒无害等特点,在国内外果蔬贮藏保鲜研究中已有相关研究报道^[10-11]。竹笋采后低温贮藏期间水分的散失、褐变、老化是竹笋品质下降的一个重要原因^[12-13]。陈金凤等^[14]将竹笋放置于不同厚度的自发气调袋中,在2℃条件下贮藏,发现MAP可以通过抑制竹笋贮藏期间水分散失、褐变、老化,达到延长竹笋贮藏保鲜时长的作用。目前还未见MAP结合

低温处理方竹鲜笋保鲜方面的研究报道。

本实验以方竹鲜笋为试材,分别采用PE20、PE30、PE40、WK四种自发气调袋进行包装处理,在低温环境下贮藏,对贮藏期间方竹鲜笋进行相关指标的测定,结合主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)得到保鲜效果最好的自发气调袋,为日后方竹鲜笋的采后贮藏保鲜提供相应理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

方竹笋 采自贵州省遵义市绥阳县太白镇(28°40'50.40"N, 107°09'26.00"E),采摘无病虫害、无机械损伤、大小适中、高约40 cm、生长健壮的方竹笋。采后运回实验室预冷12 h去除田间热。自发气调袋分为微孔袋(WK)、PE20袋(PE20)、PE30袋(PE30)、PE40袋(PE40) 采购于国家农产品保鲜工程技术研究中心, WK袋厚度0.025 mm, O_2 渗透系数248000 mL/($m^2 \cdot d$), CO_2 渗透系数256000 mL/($m^2 \cdot d$),透湿率13.4 g/($m^2 \cdot d$); PE20袋厚度0.02 mm, O_2 渗透系数6571 mL/($m^2 \cdot d$), CO_2 渗透系数21880 mL/($m^2 \cdot d$),透湿率4.82 g/($m^2 \cdot d$); PE30袋厚度0.03 mm, O_2 渗透系数4967 mL/($m^2 \cdot d$), CO_2 渗透系数16267 mL/($m^2 \cdot d$),透湿率3.69 g/($m^2 \cdot d$); PE40袋厚度0.04 mm, O_2 渗透系数3248 mL/($m^2 \cdot d$), CO_2 渗透系数11528 mL/($m^2 \cdot d$),透湿率2.668 g/($m^2 \cdot d$),以上自发气调袋的相关参数均为国家农产品保鲜工程技术研究中心提供。NaOH、盐酸、95%乙醇、福林酚、 Na_2CO_3 、聚乙二醇6000、聚乙烯吡咯烷酮、TritonX-100、愈创木酚、 H_2O_2 溶液、考马斯亮蓝、碳酸氢钠、2,6-二氯酚、水合茚三酮、抗坏血酸、 β -巯基乙醇 以上试剂均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。

保鲜库(控温精度 ± 0.3 ℃,控湿精度(90 ± 5)%)

国家保鲜中心监制; TA.XT.Plus 物性测定仪 英国 Stable Micro Systems 公司; Check Point II 残氧仪 丹麦 PBI Dansensor 公司; UV-2550 型紫-外可见分光光度计 日本 Shimadzu 公司; CR400-色差仪 日本 Konica Minolta 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 自发气调袋处理方竹鲜笋 选取形态长短粗

细相近、无机械伤、无病虫害的方竹笋,对其底部进行切割平整,处理后的方竹笋装入WK袋、PE20、PE30、PE40自发气调袋内,存放于 $1.0\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (温度为前期预实验筛选得到)保鲜库内预冷24 h后扎袋,贮藏保鲜50 d,贮藏期间相对湿度为 $(90\pm 5)\%$ 。每隔10 d取样测试指标,每种袋子测试3袋平行样,每袋随机取样测定袋内顶空气体及其他指标,试验每个处理均重复3次。同时,在0、10、20、30、40、50 d进行取样,将方竹笋剥壳切碎,并立即用液氮速冻后于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存待测。

1.2.2 生理和感官指标的测定

1.2.2.1 呼吸强度、腐烂率、含水率、顶空气体环境的测定 呼吸强度采用静置法进行测定并稍加改动,将2.00 kg的方竹笋放入空间30 L的密闭空间内 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 密闭2 h,呼吸强度以每千克鲜果每小时增加的 CO_2 量进行表示^[15]。含水率采用称重法测量,即用鲜重减去烘干后的恒重,再除以鲜切时的鲜重。腐烂率测定是对每种袋子的竹笋进行剥开测定每种袋子的腐烂竹笋的重量除以竹笋的总重,腐烂判断标准为当剥壳后竹笋腐烂病变长度超过整体的30%。顶空气体环境测定是在贮藏库内,不打开4种处理的包装袋,采用残氧仪对不同自发气调袋进行测定。以上每个处理测定3次。

1.2.2.2 硬度的测定 每个处理随机选取10根方竹笋,选用P/2 N探头,对竹笋进行测试,测试深度8 mm,测前速度 $5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,测中速度 $5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,测后速度 $5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,触发力0.049牛顿。每根竹笋上、中、下各测一次,其中上、下均为距离剥壳后竹笋两端3~4 cm处,中部则是位于剥壳后竹笋的中间。

1.2.2.3 外观色泽(总色差值(ΔE)、褐变指数(BI))的测定 总色差值(ΔE)和褐变指数(BI)^[16]采用色差仪进行测定,色差仪经过白板、黑板校准后,对剥去外壳方竹笋的中部进行测定,每个处理进行10个重复,测试采用国际标准CIE- $L^*a^*b^*$ 颜色系统,总色差(ΔE)和褐变指数(BI)计算公式如下:

$$BI = \frac{[100 \times (X - 0.31)]}{0.172} \quad \text{式(1)}$$

$$X = \frac{a^* + 1.75 \times L^*}{5.645 \times L^* + a^* - 3.012 \times b^*} \quad \text{式(2)}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad \text{式(3)}$$

式中, L_0 为初始的 L 值; L^* 为第 i 天测定的 L 值; a_0 为初始的 a 值; a^* 为第 i 天测定的 a 值; b_0 为初始的 b 值; b^* 为第 i 天测定的 b 值。

1.2.3 营养指标、酶活性的测定

1.2.3.1 营养指标(多酚、游离氨基酸、可溶性蛋白质、抗坏血酸)含量的测定 多酚采用福林酚法进行测定^[17],精确称取1.00 g样品,于70%乙醇溶液中研磨,离心后取上清液加入福林酚,在755 nm处测

定吸光值,单位为 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。游离氨基酸、可溶性蛋白含量参照曹建康等^[18]的方法进行测定。游离氨基酸采用茚三酮显色法测定,称取1.00 g方竹笋样品在10%的乙酸溶液中研磨、定容、过滤,测定在570 nm的吸光度值,单位为 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝法进行测定,准确称取2.00 g样品,在蒸馏水中进行研磨、离心,取上清液与考马斯亮蓝G-250溶液充分混合,测定在595 nm的吸光度值,单位为 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。抗坏血酸采用2,6-二氯酚滴定法进行测定并加以改进^[19],准确称取5.00 g样品,于草酸溶液冰浴下研磨成匀浆,定容到100 mL容量瓶后反应10 min过滤收集滤液。取20 mL滤液于100 mL锥形瓶中,用标定的2,6-二氯酚溶液滴定,15 s呈现微红不褪色即可,用20 g/L的草酸溶液为空白对照,单位为 $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ 。以上每个样品重复3次。

1.2.3.2 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的测定 采用WANG等^[20]的方法进行测定,以每小时反应体系吸光值增加0.01为1个PAL活性单位,它的活性以单位 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 表达,每个样品重复3次。

1.2.3.3 过氧化物酶(POD)活性的测定 采用XIA等^[21]的方法进行测定,以用每分钟反应体系吸光值增加0.01为1个POD活性单位,它的活性以单位 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 表达,每个样品重复3次。

1.3 数据处理

测定的数据采用平均值 \pm 标准偏差表示,采用OriginLab 9.0处理所得的数据结果,采用SPSS 21.0对数据进行相关性分析和主成分分析, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著, $P>0.05$ 为差异不显著。

2 结果与分析

2.1 自发气调包装对方竹鲜笋采后生理和感官指标的影响

2.1.1 对呼吸强度的影响 如图1-A所示,贮藏期间呼吸强度呈现先上升后下降的趋势,在0~10 d时呼吸强度剧烈上升,达到测量时的峰值。40 d时PE20袋的呼吸强度依次是WK、PE30、PE40袋的63.14%、80.96%、79.77%,显著低于其他三种自发气调包装($P<0.05$)。且在整个贮藏期内,PE20自发气调包装处理的方竹鲜笋的呼吸强度均处于最低水平。

2.1.2 对顶空气体环境的影响 自发气调包装处理对方竹鲜笋顶空气体环境的影响如图1-B所示,PE40袋的气体成分与其他三个自发气调袋在20 d以后存在显著性差异($P<0.05$),可得PE40的空气透过性最弱,可以更好地维持袋内低 O_2 高 CO_2 的气体环境。WK袋在50 d的贮藏期间内气体浓度波动最小,WK袋的空气通过性最好,方竹鲜笋可以在接近外部气体环境的条件下贮藏。由顶空气体测定可知四种自发气调袋的空气交换效果由强到弱分别是WK、PE20、PE30、PE40。

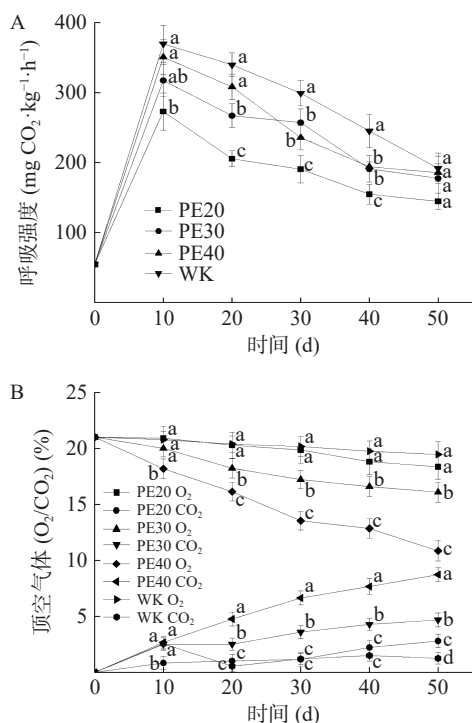


图1 自发气调包装对方竹鲜笋呼吸强度和顶空气体环境的影响

Fig.1 Effects of spontaneous modified atmosphere packaging on respiratory intensity and headspace gas environment of fresh bamboo shoots

注: 不同小写字母表示相同时间下不同处理组之间差异显著 ($P < 0.05$); 图2~图6同。

2.1.3 对含水率的影响 贮藏期间果蔬会消耗自身的养分进而导致自身水分的散失, 含水率变化可以直观体现这一现象^[22]。图2-A所示, 贮藏过程中, 含水率呈现下降的趋势。其中在贮藏前期各处理的含水率差异不显著 ($P > 0.05$)。30 d后 PE40 袋的含水率与其他自发气调袋存在显著性差异 ($P < 0.05$), PE40 袋的空气透过性最低, 可以充分保持袋内空气中的水分含量。WK 袋的含水率在 30 d 后显著低于其他自发气调袋 ($P < 0.05$), 可能是由于 WK 袋的空气透过率最高, 呼吸作用强烈, 水分散失严重。

2.1.4 对腐烂率的影响 如图2-B所示, 方竹鲜笋在贮藏期间腐烂率不断上升。其中 WK 袋的腐烂最为严重, 从 10 d 开始便与其余三种自发气调袋存在显著性差异 ($P < 0.05$)。相对于其他自发气调包装袋, PE20 的腐烂率在贮藏期间一直处于最低水平, 在 50 d 时 PE20 袋的腐烂率为 WK 的 35.56%、PE30 的 58.92%、PE40 的 73.67%, 显著低于其他三种自发气调包装 ($P < 0.05$), 表明 PE20 袋可以更好抑制方竹鲜笋腐烂。

2.1.5 对硬度的影响 果蔬在贮藏期间会发生衰老现象, 硬度的变化是判断其衰老品质降低的一个重要指标^[23]。由图3可知竹笋的硬度是由上到下逐渐增加的。随着贮藏时间的延长, 竹笋上端的硬度呈现缓慢上升的趋势, 不同处理之间前 40 d 没有显著性差异 ($P > 0.05$)。竹笋的中部随着贮藏时间的延长, 其硬

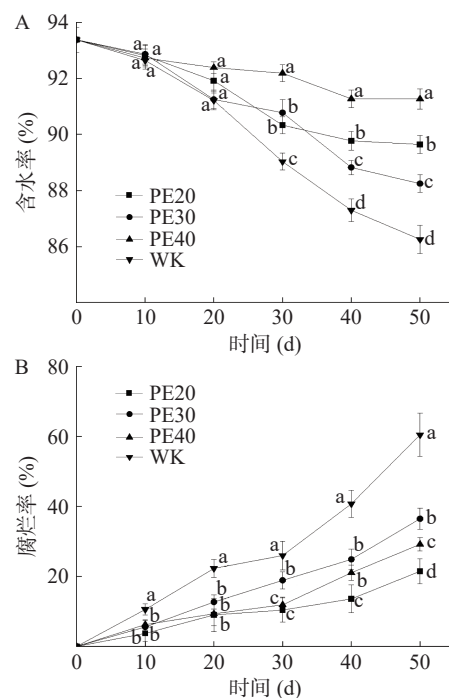


图2 自发气调包装对方竹鲜笋含水率和腐烂率的影响

Fig.2 Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on moisture content and decay rate of fresh bamboo shoots

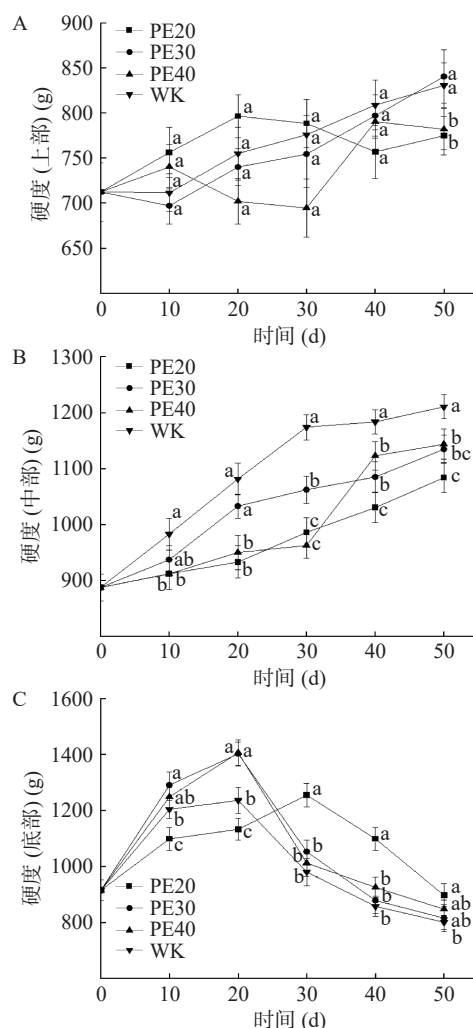


图3 自发气调包装对方竹鲜笋硬度的影响

Fig.3 Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on the hardness of fresh bamboo shoots

度呈现增长趋势,其中在 40 d 以后,PE20 处理的硬度处于最低水平。50 d 时 PE20 的硬度是 WK 的 89.53%、PE30 的 95.51%、PE40 的 94.76%,可以减缓方竹鲜笋贮藏期间的木质化。竹笋的下端硬度呈现先上升后下降的趋势。综上 PE20 处理硬度变化最平稳,能较好维持方竹鲜笋品质。

2.1.6 对外观色泽(总色差值(ΔE)、褐变指数(BI))的影响 总色差值(ΔE)反映颜色的总体差异,由图 4-A 所示,贮藏期间方竹鲜笋的总色差值呈现不断上升的趋势,表明贮藏期间方竹鲜笋的色泽不断变化,其中 PE20 处理的总色差值在贮藏后期显著低于($P<0.05$)其它 3 种自发气调袋处理,其中在 40 d 时,PE20 处理的总色差变化值仅为 PE30 的 69.28%、PE40 的 58.50%、WK 的 66.92%($P<0.05$),说明 PE20 处理可以有效抑制方竹鲜笋贮藏期间的色泽变化。

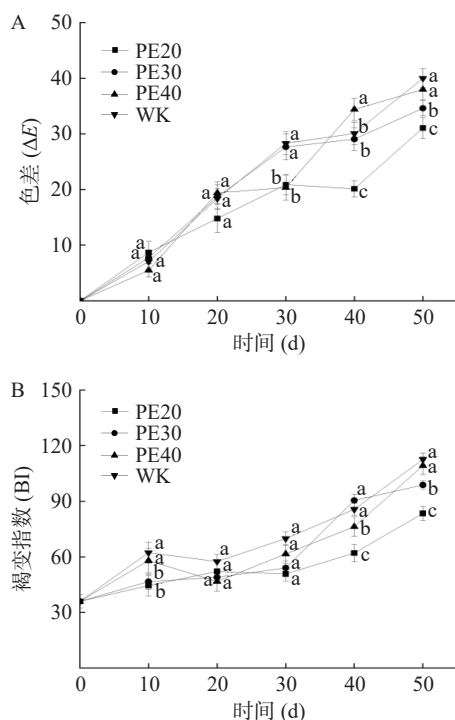


图4 自发气调包装对方竹鲜笋总色差值、褐变指数的影响
Fig.4 Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on total color difference and browning index of fresh bamboo shoots

由图 4-B 所示,方竹鲜笋的褐变指数呈现不断上升的趋势,表明随着贮藏时间的延长,褐变程度不断加剧。其中在贮藏前 20 d 内,各个处理的褐变指数呈现缓慢上升的趋势,在 30 d 后褐变指数呈现加速上升的趋势。在贮藏 40~50 d 时,PE 20 处理的褐变指数显著低于($P<0.05$)其他三个处理,说明 PE 20 处理在贮藏后期可以抑制方竹鲜笋的褐变。

2.2 自发气调包装对方竹鲜笋采后营养指标和酶活性的影响

2.2.1 对营养指标(多酚、 V_C 、游离氨基酸、可溶性蛋白)含量的影响 多酚类物质是果蔬贮藏期间重要的抗氧化物质,在果蔬贮藏过程中起着重要的作用,

同时酚类物质是果蔬褐变的前体物质,是竹笋褐变的一个重要原因^[24]。如图 5-A 所示,方竹鲜笋贮藏后期,方竹鲜笋的多酚含量呈现明显上升的趋势,其中 WK 袋的多酚含量在贮藏的 10~50 d 内多酚含量最高且显著高于其他 3 种自发气调袋($P<0.05$)。而 PE20 在贮藏期间内多酚含量最低,在 50 d 时存在显著性差异($P<0.05$),PE20 袋的多酚含量分别比 PE30 低 $0.14\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、PE40 低 $0.08\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、WK 低 $0.22\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

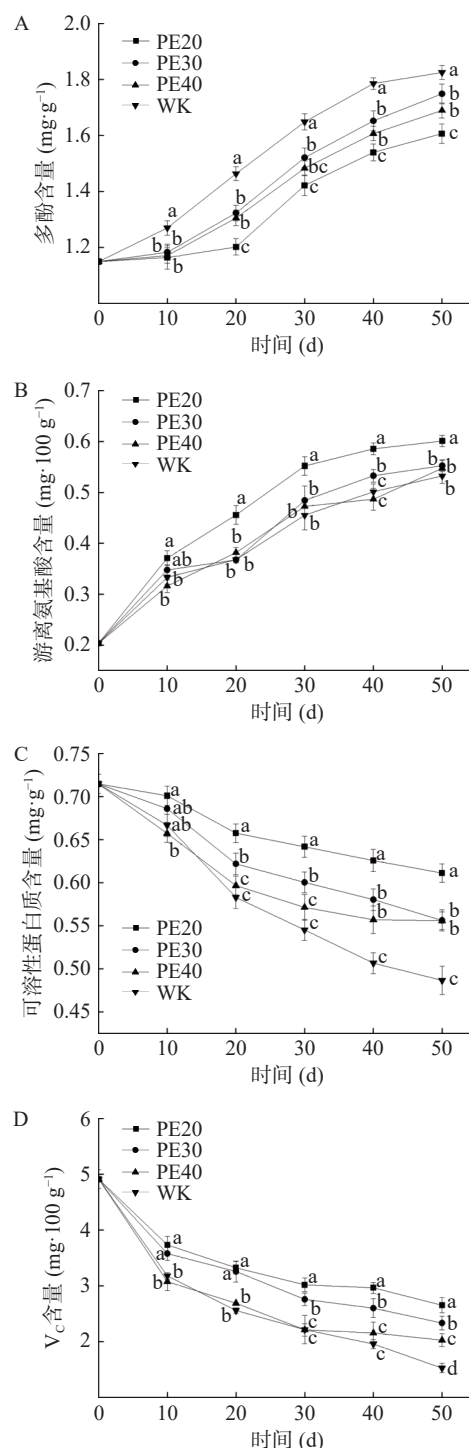


图5 自发气调包装处理对方竹鲜笋多酚、游离氨基酸、可溶性蛋白质、 V_C 含量的影响

Fig.5 Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on polyphenols, free amino acids, soluble protein and V_C content of fresh bamboo shoots

由图 5-B 可知游离氨基酸含量呈现上升趋势,可能是自发气调处理阻碍果蔬的蒸腾作用,促使氨基酸合成酶的活性加强所致^[25]。图 5-B 显示 PE20 袋含量较高,PE20 袋的游离氨基酸含量在 20~50 d 时显著高于其他三种自发气调袋($P<0.05$),其中在 40 d 时 PE20 袋游离氨基酸的含量达到了 $0.58 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,WK、PE30、PE40 三种自发气调袋依次为 PE20 袋的 86.21%、91.37%、82.75%,PE20 袋显著高于其他三种自发气调袋($P<0.05$),较好维持游离氨基酸含量。

图 5-C 可以看出,竹笋贮藏期间可溶性蛋白质含量是不断下降的,这可能是由于竹笋在贮藏期间不断进行呼吸等代谢作用消耗了较多的营养物质^[26]。图中 PE20 袋在 20 d 后其可溶性蛋白质含量虽然不断下降,但是下降速度最缓。在 50 d 时 PE20 袋的可溶性蛋白质仍有 $0.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,而 PE30、PE40、WK 这三种自发气调袋则依次只有 0.56、0.56、0.48 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。表明 PE20 处理能够有效抑制可溶性蛋白的降解,对贮藏期间方竹鲜笋的营养和品质产生了积极影响。

图 5-D 所示,在整个贮藏过程中,PE20 袋的 V_C 含量均高于其他三种自发气调袋的 V_C 含量,显著减缓贮藏期间方竹鲜笋 V_C 含量的下降($P<0.05$)。其原因可能是 PE20 袋相对其他三种气调袋,抑制竹笋自身生理代谢活动的效果更好,达到延缓方竹鲜笋贮藏期间衰老和延缓 V_C 含量下降的目的^[27]。

2.2.2 对 POD、PAL 活性的影响 POD 会促进过氧化氢分解形成木质素,POD 活性高低可以判断竹笋的木质化程度^[28]。由图 6-A 可以看出 POD 活性呈现上升趋势,其中 PE20 袋的 POD 活性始终是 4 种自发气调袋中最低的,在 50 d 时,PE20 袋的 POD 活性是 PE30、PE40、WK 的 87.88%、82.61%、81.43% ($P<0.05$)。表明 PE20 自发气调袋相对于其他三种自发气调袋能抑制方竹鲜笋贮藏期间的褐变、木质化等劣变进程。

PAL 是木质素生成的关键限速酶,PAL 活性高低可以反映木质素的生成速率^[29]。由图 6-B 可以看出,PAL 活性呈现先上升后下降的趋势。在 30 d 时 PE20 袋处理方竹鲜笋的 PAL 活性依次只有 PE30 袋的 69.18%、PE40 袋的 59.45%、WK 袋的 47.16%,PAL 活性显著低于其他三种自发气调袋($P<0.05$),在 50 d 贮藏期内 PE20 保鲜袋的 PAL 活性均处于最低水平,PE20 可以抑制竹笋贮藏期间 PAL 的活性。

2.3 相关性分析与主成分分析

2.3.1 相关性分析 对各个生理指标数据进行相关性分析,如图 7 所示。贮藏时间与腐烂率、多酚含量、游离氨基酸、POD 活性、褐变指数、总色差值、中部硬度呈现极其显著正相关($P<0.01$),与含水率、可溶性蛋白质、 V_C 含量、PAL 活性、底部硬度呈现极其显著负相关($P<0.01$),说明贮藏期间腐烂率、多酚含量、游离氨基酸、POD 活性、含水率、可溶性蛋

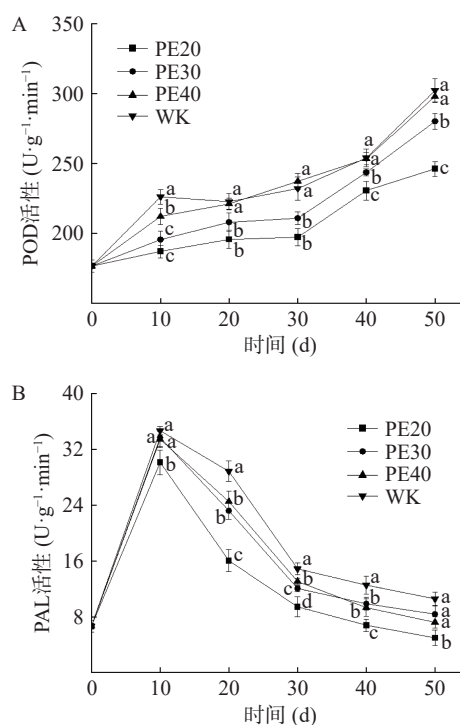


图 6 自发气调包装处理对方竹鲜笋 POD 活性和 PAL 活性大小的影响

Fig.6 Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on POD activity and PAL activity of fresh bamboo shoots

白质、 V_C 含量、PAL 活性、底部硬度的变化均能影响方竹鲜笋的保鲜效果,且呼吸强度和 PAL 活性呈现极其显著正相关($P<0.01$),因此方竹笋贮藏期间的各个生理指标中有着很大的关联。

2.3.2 主成分分析 对方竹笋贮藏期间的各个生理指标进行主成分分析。将方竹笋贮藏期间的 13 个指标转化成 2 个主成分,如图 8 所示,其中第一、二主成分的特征值分别为 9.742 和 2.464,主成分贡献率为 69.583% 和 17.602%,累计贡献率为 87.185%,说明前 2 个主成分反映了原始变量的绝大部分信息,符合分析要求。

由图 9 因子载荷图可以看出多酚含量、总色差值、硬度中、腐烂率、褐变指数、可溶性蛋白质含量、PAL 活性在 PCA 1 轴有较高载荷,证明多酚含量、硬度中、腐烂率、可溶性蛋白质含量、PAL 活性对第一主成分贡献大;而呼吸强度、POD 活性、硬度底在 PCA 2 轴有较大载荷,证明呼吸强度、POD 活性、硬度底对第二主成分的贡献大。综合二者可以得出影响方竹鲜笋保鲜效果的关键指标是多酚含量、总色差值、呼吸强度、硬度中、腐烂率和可溶性蛋白质含量。

2.3.3 方竹鲜笋贮藏保鲜效果综合评价 用 2 个主成分变量 PCA 1、PCA 2 代替原来的 13 个指标,得出各主成分特征向量为:

$$\begin{aligned} \text{PCA1} = & 0.014 \times Z_1 - 0.094 \times Z_2 + 0.098 \times Z_3 + 0.101 \times Z_4 + \\ & 0.085 \times Z_5 - 0.097 \times Z_6 - 0.097 \times Z_7 + 0.096 \times Z_8 + 0.098 \times Z_9 - \\ & 0.033 \times Z_{10} + 0.095 \times Z_{11} + 0.085 \times Z_{12} + 0.098 \times Z_{13} - 0.047 \\ & \times Z_{14} \end{aligned}$$

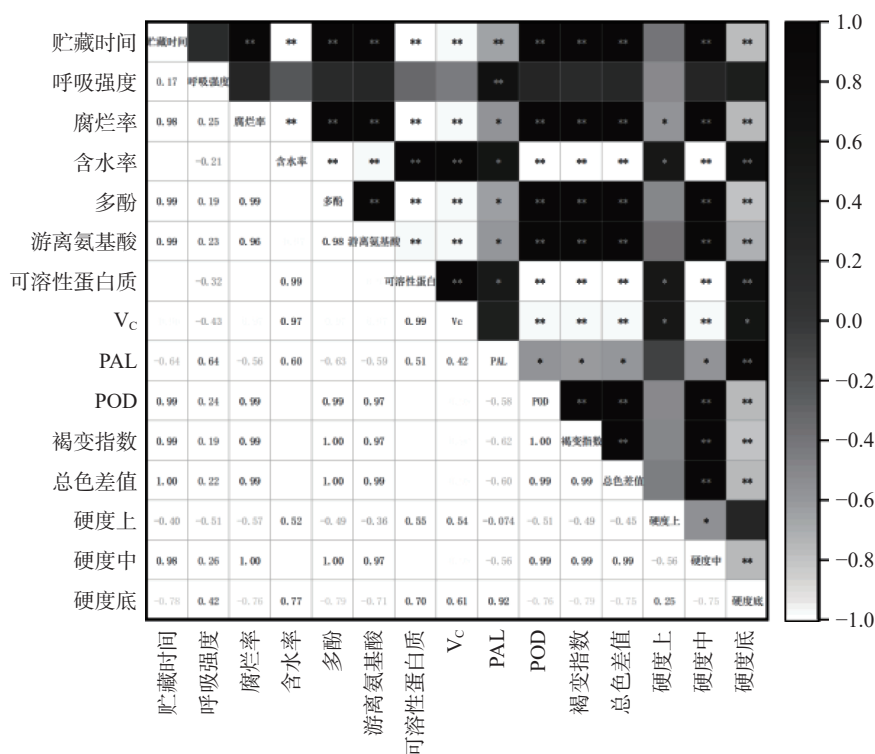


图7 各生理指标间的相关性矩阵热图

Fig.7 Heat map of correlation matrix among physiological indexes

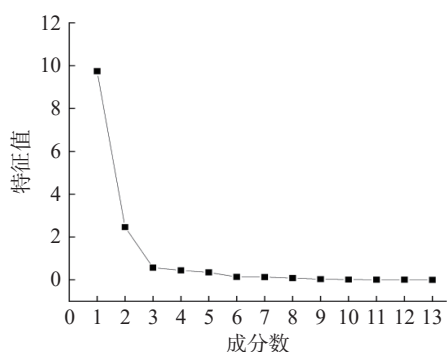
注: *代表差异显著, $P<0.05$; **代表差异极显著, $P<0.01$ 。

图8 碎石图

Fig.8 Scree plot

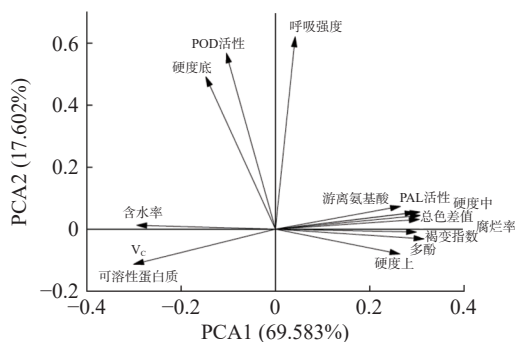


图9 因子载荷图

Fig.9 Factor load diagram

$$\begin{aligned} \text{PCA2} = & 0.394 \times Z_1 + 0.01 \times Z_2 + 0.019 \times Z_3 - 0.02 \times Z_4 \\ & + 0.041 \times Z_5 - 0.078 \times Z_6 - 0.078 \times Z_7 - 0.007 \times Z_8 + 0.027 \times \\ & Z_9 + 0.362 \times Z_{10} - 0.033 \times Z_{11} - 0.053 \times Z_{12} + 0.034 \times Z_{13} + \\ & 0.313 \times Z_{14} \end{aligned}$$

同时选取第一、第二主成分的方差贡献率 α_1 (69.583%)、 α_2 (17.602%) 作为权数, 构建综合评价模型: $F = \alpha_1 \times Y_1 + \alpha_2 \times Y_2$, 为 $F = 0.69583 \times Y_1 + 0.17602 \times Y_2$, F 求出的值即为方竹鲜笋贮藏保鲜效果的综合评价。

图10可以看出, 综合得分呈现不断下降的趋势, 贮藏期间 PE20 袋的综合得分高于其它3种自发气调袋, 50 d 时 PE20 袋的得分比 PE30、PE40、WK 三种自发气调袋依次高 0.52、0.40、1.05。表明相对于其他3种自发气调袋, PE20 自发气调袋在贮藏期间更能保持方竹鲜笋的品质, 保鲜效果更佳。

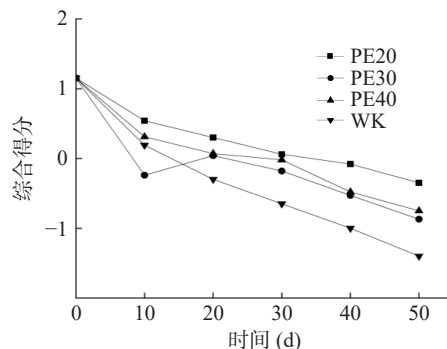


图10 方竹鲜笋贮藏保鲜综合得分

Fig.10 Comprehensive score of fresh bamboo shoots in storage

3 讨论与结论

竹笋生长代谢旺盛, 采后质地劣化、外观褐变是导致其采后品质丧失的主要原因。本研究发现方竹鲜笋随着贮藏时间延长, 硬度、褐变指数不断上升,

可溶性蛋白质和 V_C 含量不断下降。可能是竹笋在贮藏期间不断进行生理代谢活动随着贮藏时间的延长导致其木质化加剧,营养物质逐步丧失,这一结果与 ZHENG 等^[30] 研究发现基本一致。本研究发现 PE20 袋包装能更有效抑制方竹鲜笋贮藏期间的生理代谢活动,延缓方竹鲜笋贮藏期间营养物质的降低,维持较高的营养品质。PAL 活性、POD 活性、褐变指数和竹笋自身硬度的上升,是造成竹笋口感丧失、品质降低的直接原因,本研究发现 PE20 袋包装能更有效抑制 POD、PAL 活性,减缓褐变指数、竹笋自身硬度上升,较好保持方竹笋贮藏期间的口感。主成分分析得出呼吸强度、硬度中、腐烂率等是影响方竹鲜笋保鲜的关键指标,分析结果进行综合评价得分显示 PE20 处理在贮藏 50 d 后得分最高,拥有最佳的保鲜效果。

综上所述,PE20 自发气调袋可以更有效抑制方竹鲜笋贮藏期间的木质化、褐变等现象,减缓方竹鲜笋营养品质的下降,维持方竹鲜笋贮藏期间的品质,具备更好的保鲜效果。但是本研究对 PE20 自发气调袋对方竹鲜笋木质化、褐变过程及相关酶的调控机制尚未明确,有待进一步深入研究。同时本研究也为今后在方竹鲜笋采后贮藏保鲜过程中自发气调袋的选择与设计提供了参考。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第九卷第一分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 338-340. [Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China (Volume 9, Division 1)[M]. Beijing: Science Press, 1996: 338-340.]
- [2] 吕朝燕, 高智席, 马秀情, 等. 不同热风干燥温度对方竹笋品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 23-29. [LÜ C Y, GAO Z X, MA X Q, et al. Effect of different hot air drying temperature on bamboo shoot quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 23-29.]
- [3] 杨乐, 王洪新. 不同可食性涂膜对方竹笋保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 305-308. [YANG L, WANG H X. Effects of different edible coatings on preservati on effect of bamboo shoots[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(2): 305-308.]
- [4] WANG Y, CHEN J, WANG D, et al. A systematic review on the composition, storage, processing of bamboo shoots: Focusing the nutritional and functional benefits[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 71: 1-16.
- [5] 董小亮, 陶乐仁, 谭万利, 等. 低温条件下蔬菜水分蒸发强度的研究[J]. 食品科学, 2013(13): 136-139. [DONG X L, TAO L R, TAN W L, et al. Study on water evaporation intensity of vegetables under low temperature[J]. Food Science, 2013(13): 136-139.]
- [6] CORPAS F J, S GONZÁLEZ-GORDO, PALMA J M, et al. Nitric oxide: A radical molecule with potential biotechnological a applications in fruit ripening[J]. Journal of Biotechnology, 2020, 324: 211-219.
- [7] YANG H, ZHENG J, HUANG C, et al. Effects of combined aqueous chlorine dioxide and chitosan coatings on microbial growth and quality maintenance of fresh-cut bamboo shoots (*Phyllostachy spraeocox* f. *prevernalis*.) during storage[J]. Food& Bioprocess Technology, 2015, 8(5): 1011-1019.
- [8] BADILLO G M, SEGURA-PONCE L A. Classic and reaction-diffusion models used in modified atmosphere packaging (MAP) of fruit and vegetables[J]. Food Engineering Reviews, 2020(2): 15-32.
- [9] BELAY Z A, CALEB O J, OPARA L, et al. Influence of initial gas modification on physiococ hemical quality attributes and molecular changes in fresh and fresh-cut fruit during modified atmosphere packaging[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019(21): 1-11.
- [10] BOONTHANAKORN J, DAUD W, AONTEE A. Quality preservation of fresh-cut durian cv. 'Monthong' using micro-perforated PET/PE films[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 23: 1-10.
- [11] QU P, ZHANG M, FAN K, et al. Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020(16): 1-15.
- [12] 陈磊, 黄杰, 杨瑞, 等. 臭氧结合气调包装对毛竹笋的保鲜作用[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 200-205. [CHEN L, HUANG J, YANG R, et al. Effects of ozone combined with air conditioning packaging on preservation of bamboo shoots[J]. Food Science, 2021, 42(15): 200-205.]
- [13] LU S M, KNG F C. Effects of low oxygen-modified atmosphere packaging on browning and lignification of peeled bamboo shoots[J]. Acta Photophysio Logica Sinica, 2004, 30: 387-392.
- [14] 陈金凤, 贾澄军, 千春录, 等. 低密度聚乙烯袋保鲜竹笋的研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 132-137. [CHEN J F, JIA C J, QIAN C L, et al. Study on the preservation of bamboo shoots with low density polyethylene bags[J]. Chinese Journal of Food, 2010, 10(6): 132-137.]
- [15] ZHANG D D, XU X F, ZHANG Z K, et al. 6-Benzylaminopurine improves the quality of harvested litchi fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2018, 143: 137-142.
- [16] RLA B, QZA B, JLA B, et al. Chemical composition and deterioration mechanism of *Pleurotus tuoliensis* during postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2021, 338: 1-10.
- [17] MOYER R A, HUMEER K E, CE F, et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: Vaccinium, rubus, and ribes[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(3): 519-25.
- [18] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅, 等. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 32-132. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M, et al. Guidance of postharvest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 32-132.]
- [19] 邓爱妮, 周聪, 赵敏, 等. 树仔菜 V_C 含量分析及变化规律[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 198-201. [DENG A N, ZHOU C, ZHAO M, et al. Analysis and variation of V_C content in L arval vegetables[J]. Food Science, 2014, 35(22): 198-201.]
- [20] WANG J, JIANG J, WANG J, et al. The influence of gamma irradiation on the storage quality of bamboo shoots[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2019, 55: 40-46.

- [21] XIA L, LU Y, QIAN Y, et al. Cod peptides inhibit browning in fresh-cut potato slices: A potential anti-browning agent of random peptides for regulating food properties[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2018, 146: 36–42.
- [22] 胡烨, 胡秋辉, 郁志芳, 等. 复合护色剂预处理及不同冻融条件对冷冻双孢蘑菇品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(23): 192–198. [HU Y, HU Q H, YU Z F, et al. Effects of compound color protectant pretreatment and different freeze-thaw conditions on quality of frozen *Agaricus bisporus*[J]. *Food science*, 2018, 39(23): 192–198.]
- [23] KOU J J, WEI C Q, ZHAO Z H, et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene treatments on physiological changes and ripening-related gene expression of 'Mopan' persimmon fruit during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 166: 178–185.
- [24] 王懿, 侯媛媛, 马钰晴, 等. 甘氨酸甜菜碱处理对桃果实冷害及抗坏血酸-谷胱甘肽循环代谢的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(13): 158–165. [WANG Y, HOU Y Y, MA Y Q, et al. Effects of glycine betaine treatment on chilling injury and ascorbate-glutathione cycling metabolism of peach fruit[J]. *Food Science*, 2021, 42(13): 158–165.]
- [25] MF F L, AM F L, 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.
- [26] 张翰卿. 不同厚度PE包装和臭氧处理对茭白采后贮藏品质和木质化的影响[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 9–11. [ZHANG H Q. Effects of different thickness PE packaging and ozone treatment on postharvest storage quality and lignification of water bamboo[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 9–11.]
- [27] CHUNG H S, MOON K D. Browning characteristics of fresh-cut 'Tsugaru' apples as affected by pre-slicing storage atmospheres[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(4): 1433–1437.
- [28] 孙若兰, 肖靛, 易有金, 等. 双孢蘑菇采后贮藏保鲜研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 333–340. [SUN R L, XIAO L, YI Y J, et al. Advances in post-harvest storage and preservation of *Agaricus bisporus*[J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 333–340.]
- [29] LUO Z S, XU X L, YAN B F. Accumulation of lignin and involvement of enzymes in bamboo shoot during storage[J]. *Eur Food Res Technol*, 2008, 226(4): 635–640.
- [30] ZHENG J, LI S, XU Y, et al. Effect of oxalic acid on edible quality of bamboo shoots (*Phyllostachys prominens*) without sheaths during cold storage[J]. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, 2019, 109: 194–200.