

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90160

高氧气调包装对鲜切刺嫩芽保鲜效果的影响

Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging of the
quality of fresh-cut *Aralia elata*

刘欢^{1,2} 赵烱羽¹ 叶露露¹ 董艳娇¹

LIU Huan^{1,2} ZHAO Han-yu¹ YE Lu-lu¹ DONG Yan-jiao¹

(1. 吉林工程技术师范学院食品工程学院, 吉林 长春 130052; 2. 吉林省山葡萄资源开发创新团队, 吉林 长春 130052)

(1. College of Food Engineering, Jilin Engineering Normal University, Changchun, Jilin 130052, China;

2. Mountain Grape Resources Development for Innovative Research Team of Jilin Province,
Changchun, Jilin 130052, China)

摘要:目的: 探寻有效的鲜切刺嫩芽高氧气调包装保鲜方法。方法: 对鲜切刺嫩芽进行不同高氧气组合二氧化碳气调包装, 探索高氧气调包装处理对鲜切刺嫩芽感观品质和生理变化的影响。结果: 90% 高氧气调包装处理显著减缓呼吸强度、硬度和颜色的变化, 抑制总糖和总酚成分消耗, 降低酶促褐变相关酶 POD 和 PPO 活力以及 MDA 累积, 保护细胞膜系统动态平衡。结论: 90% 高氧结合 10% 二氧化碳气调处理效果最佳, 可延长鲜切刺嫩芽保鲜期。

关键词: 高氧气调包装; 鲜切刺嫩芽; 保鲜

Abstract; Objective: This study aimed to explore the effective method of high-oxygen modified atmosphere packaging for fresh cutting *Aralia elata* Seem. **Methods:** In order to explore the effects of high oxygen regulated packaging treatment on the sensory quality and physiological changes of fresh cutting *A. elata*, different combinations of high oxygen regulated packaging with carbon dioxide were carried out. **Results:** The results showed that 90% high-oxygen conditioning package treatment significantly reduced the changes of respiratory strength, hardness and color, inhibited the consumption of total sugar and total phenol, reduced the activities of enzyme browning related enzymes POD and PPO and MDA accumulation, and protected the dynamic balance of cell membrane system. **Conclusion:** 90% high oxygen combined with 10% carbon dioxide has the best effect, which can prolong the preservation period of fresh cutting and prickling buds.

Keywords: high-oxygen modified atmosphere packaging; fresh cutting *Aralia elata* Seem; preservation

刺嫩芽(*Aralia elata* seem)含有丰富的蛋白质、膳食纤维、维生素以及大量木皂甙, 木皂甙与人参皂甙功能相似, 是齐墩果酸的三四糖皂, 具有抗炎、镇静和免疫等作用, 也是国内外餐桌上常见的特色蔬菜^[1]。目前, 刺嫩芽已经实现人工繁殖和栽培, 产量达 22.5 t/hm², 供应时间也由原来 1 个月延长至 6 个月以上。但刺嫩芽采后代谢旺盛, 生鲜产品贮藏期仅 2~3 d, 市场多为速冻、腌制和干制产品^[2]。对刺嫩芽进行鲜切, 不但可以最大程度保留原有的风味和营养成分, 还能显著提高可食部分, 减少浪费。然而鲜切蔬菜经清洗、剥皮和切割等工艺处理后, 造成的机械损伤会导致组织的生理和代谢变化, 包括呼吸速率和乙烯生成增加, 微生物生长以及质量恶化^[3-5]。因此, 需要有效保鲜技术, 提高鲜切刺嫩芽货架期。

高氧气调包装是一种高效、方便和安全的食品保鲜包装技术, 在抑制果蔬呼吸作用和酶变色等方面具有良好效果^[6-8]。Fan 等^[9]研究发现, 高氧气调包装有效地降低了鲜切黄瓜在贮藏期间的硬度和总可溶性固形物损失, 缓解了抗坏血酸和风味降解, 抑制了过氧化物酶活性, 并延缓了水分的流动。Oms-Oliu 等^[10]研究发现, 高氧气与二氧化碳气体结合能有效提高梨的感官质量, 并具有较好的抗菌效果。Waghmare 等^[11]研究发现, 用化学处理结合高氧气调包装对鲜切菜豆进行保鲜处理, 可以抑制鲜切菜豆的失重率、硬度和颜色等品质的劣变。目前, 针对不同蔬菜品种, 高氧气调的保鲜作用不尽相同, 而关于高氧气调对鲜切刺嫩芽品质影响的研究尚未见报道。

研究拟通过测定贮藏期间鲜切刺嫩芽的感观品质和生理生化指标, 探讨不同高氧气调包装结合适当浓度二

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(编号: 20190301081NY); 吉林工程技术师范学院博士基金项目(编号: BSKJ201817)

作者简介: 刘欢(1981—), 女, 吉林工程技术师范学院副教授, 博士。E-mail: liuhuan800331@jlenu.edu.cn

收稿日期: 2022-02-13

氧化碳处理对鲜切刺嫩芽保鲜效果的影响,以期对鲜切刺嫩芽制品的气调包装保鲜技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

生长刺嫩芽的成熟枝条:嫩芽长 8~10 cm,枝条长 15~20 cm,辽宁省抚顺市农业科技研究院双河村栽培基地(从生产基地到实验室运输时间<24 h);

三氯乙酸、2-巯代巴比妥酸、2,6-二氯酚靛酚、碳酸氢钠、抗坏血酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

草酸、乙二胺四乙酸、乙酸:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

过氧化物酶(peroxidase, POD)、多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)测定试剂盒:生工生物工程(上海)股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

pH 计:雷磁 PHS-3E 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

多功能真空气调包装机:DZQ-600L 型,华联机械集团有限公司;

台式高速冷冻离心机:H1850R 型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

果蔬呼吸测定仪:SY-1022 型,石家庄世亚科技有限公司;

便携式表面色度仪:RT300 型,英国 Tintometer 公司;

质构分析仪:CT3 型,美国博勒飞公司;

紫外可见分光光度计:UV-2600 型,日本岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 鲜切刺嫩芽高氧气调包装处理 为保持刺嫩芽鲜切前新鲜度,将购买生长刺嫩芽的成熟枝条垂直放入水(水高 3~5 cm)中培养防止萎蔫和变质。鲜切保鲜及高氧气调包装前,成熟刺嫩芽枝条水中培养时间<24 h。

将鲜切刺嫩芽放入食品包装袋中,包装袋材质为高阻性聚乙烯(PE)薄膜、膜厚 0.055 mm、高阻隔性聚乙烯薄膜的透氧量低于 789.54 cm³/(m²·d·MPa),抽真空后充入不同比例氧气和二氧化碳气体后密封,充气后包装袋规格为 12 cm×7 cm×6 cm(长×宽×高)。具体步骤:

(1) 挑选:用无菌小刀从成熟刺嫩芽枝条切下刺嫩芽,摘选大小一致、新鲜、无病虫害的刺嫩芽。

(2) 清洗:用 10~15℃ 无菌水进行冲清,洗去表面的杂质。

(3) 晾干:温度为 10~15℃、避光环境中自然风干蒸发表面水分。

(4) 鲜切:采用无菌小刀,去掉外皮和皮刺,将刺嫩芽

修理成长 7~8 cm。

(5) 装袋:将鲜切刺嫩芽放入高阻性聚乙烯(PE)食品包装袋中,鲜切刺嫩芽放入质量为 20~40 g/袋(2~3 个/袋)。

(6) 抽气:鲜切刺嫩芽包装袋内的气体抽成真空,真空度小于 0.03 MPa。

(7) 充气:在压力为 101.3 kPa、温度为 10~15℃ 条件下,向食品包装袋内充气,充气比例分别为 50% O₂ 和 50% CO₂ (50%)、70% O₂ 和 30% CO₂ (70%)、90% O₂ 和 10% CO₂ (90%),对照(CK)为充入自然空气(N₂ 的体积分数占 78%,O₂ 占 21%,CO₂ 占 0.03%,稀有气体占 0.94%,其他气体和杂质占 0.03%)。

(8) 密封:将包装袋进行热封。

(9) 贮藏:鲜切刺嫩芽高氧气调包装袋置于 4~6℃ 低温贮藏。

(10) 样品测定:每隔 2 d 测定各项指标,3 次重复测定。当各处理组出现 50% 以上萎蔫或褐变或腐烂或异味时,即终止贮藏。

1.2.2 呼吸强度 采用 SY-1022 型果蔬呼吸测定仪测定,测定间隔 1 min,结果以鲜重质量计。

1.2.3 硬度 采用 CT3 型质构分析仪测定,选用 TA-44 型探头,选取测试参数:预压速度 2.0 mm/s、下压速度 0.5 mm/s 和压后上行速度 0.5 mm/s,触发点负载为 0.05 N,探头测试距离 4.0 mm。TPA 函数曲线,第一压缩周期中最高峰处的力值为硬度值,单位为 N。

1.2.4 色度 采用 RT300 型便携式表面色度仪测定。

1.2.5 总酚 根据 Caldwell 等^[12]的方法测定,结果以鲜重质量计,单位为 mg/100 g。

1.2.6 总糖 采用蒽酮—硫酸法,检测波长 620 nm,以葡萄糖标品建立标准曲线,结果以鲜重质量计,单位为 mg/g。

1.2.7 丙二醛(MDA) 参照乔永祥等^[13]的方法测定,结果以鲜重质量计,单位为 μmol/g。

1.2.8 酶活性 过氧化物酶活力(POD)和多酚氧化酶(PPO)采用试剂盒测定。分别取 2 g 样品低温研磨,测定样品酶活力。POD 酶活力以每分钟每克样品 OD 变化值(ΔA_{470 nm})变化 0.01 作为 1 个 POD 活力单位(U);PPO 以每分钟每克样品 OD 变化值(ΔA_{420 nm})变化 0.01 作为 1 个 PPO 活力单位(U)。

1.3 数据统计

采用 Origin 2021 作图。采用 SPSS 19.0 软件进行试验数据分析(ANOVA),Duncan's 新复极差法检验其差异显著性,重复测定 3 次。

2 结果与分析

2.1 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽呼吸强度和硬度的影响

由图 1 可知,鲜切刺嫩芽呼吸强度先升高再降低,说

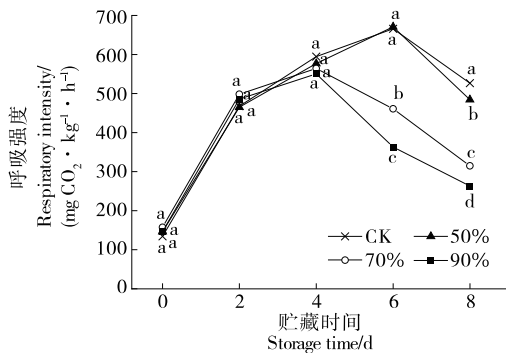
明果蔬采收后仍进行呼吸作用,经过鲜切导致机械损伤,使其呼吸强度迅速升高;贮藏后期鲜切果蔬营养成分流失可能导致代谢作用减缓,使呼吸强度降低。贮藏第4天,与其他处理相比,90%高氧气调处理呼吸强度最小,但各处理之间差异不显著;贮藏第6天,CK和50%高氧气调处理呼吸强度达到最大值,且显著高于70%和90%高氧气调处理($P<0.05$);贮藏第8天,4组处理差异显著($P<0.05$),其中90%高氧气调处理组的呼吸强度最小。较高氧气浓度环境伴随机械损伤引起呼吸强度上升,但当氧气浓度超过呼吸链末端氧化酶饱和浓度时,反而抑制呼吸作用,使呼吸强度下降^[14]。因此,90%高氧结合10%二氧化碳气调处理能有效抑制鲜切刺嫩芽贮藏过程中呼吸代谢作用。

由图2可知,鲜切刺嫩芽硬度逐渐降低,说明鲜切果蔬贮藏过程中因衰老和腐烂等导致硬度下降,使鲜切果蔬的食用口感变差^[15]。贮藏0~4 d,4组处理硬度差异不显著;贮藏第6天和第8天,CK和50%高氧气调处理之间硬度差异不显著,90%高氧气调处理硬度显著高于

其他处理($P<0.05$),50%高氧气调处理最小。说明90%高氧结合10%二氧化碳气调处理抑制鲜切刺嫩芽呼吸作用,延缓衰老,使硬度下降变慢;但氧气浓度为50%时,会促进呼吸作用,反而加速了硬度下降。

2.2 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 L^* 值和 a^* 值的影响

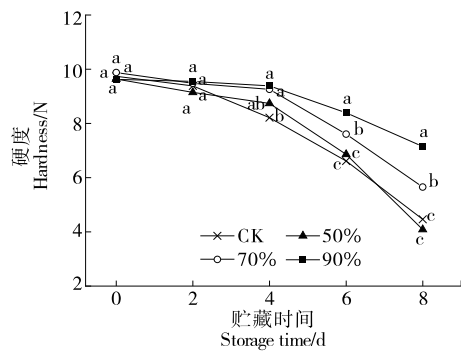
果蔬颜色是重要感官品质指标之一,不仅影响消费者的感官评价,还反映果蔬的新鲜度和内部品质的变化。由图3可知,鲜切刺嫩芽 L^* 值逐渐降低, a^* 值逐渐上升,说明亮度逐渐减小,绿色逐渐增加而黄色逐渐减小,鲜切刺嫩芽由新鲜绿色逐渐变为腐败褐色。贮藏第4天和第6天,90%和70%高氧气调处理 L^* 值高于CK和50%高氧气调处理($P<0.05$),而 a^* 值则相反;CK和50%高氧气调处理之间、90%和70%高氧气调处理之间 L^* 值和 a^* 值差异不显著。贮藏第8天,90%高氧气调处理的 L^* 值显著高于其他处理($P<0.05$);90%和70%高氧气调处理的 a^* 值显著低于其他处理($P<0.05$);CK和50%高氧气调处理之间 L^* 值和 a^* 值差异不显著。说明90%高氧结合10%二氧化碳气调处理能有效缓解鲜



字母不同表示不同处理之间存在显著差异($P<0.05$)

图1 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽呼吸强度的影响

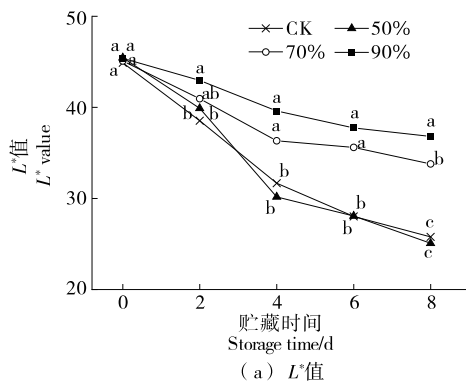
Figure 1 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on respiratory intensity of fresh cutting *A. elata*



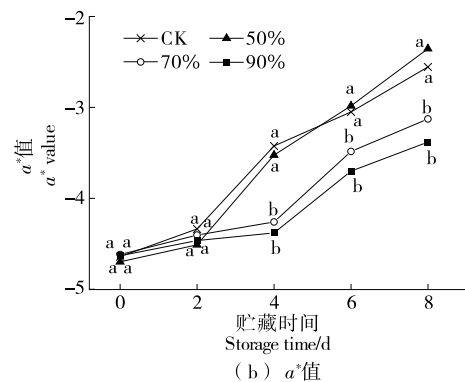
字母不同表示不同处理之间存在显著差异($P<0.05$)

图2 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽硬度的影响

Figure 2 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on hardness of fresh cutting *A. elata*



(a) L^* 值



(b) a^* 值

字母不同表示不同处理之间存在显著差异($P<0.05$)

图3 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 L^* 值和 a^* 值的影响

Figure 3 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on L^* and a^* values of fresh cutting *A. elata*

切刺嫩芽颜色变化,减缓叶绿素降解以及酚类物质氧化褐变^[16];氧气浓度为 50% 时,高氧气处理未能达到减缓颜色改变的目的。

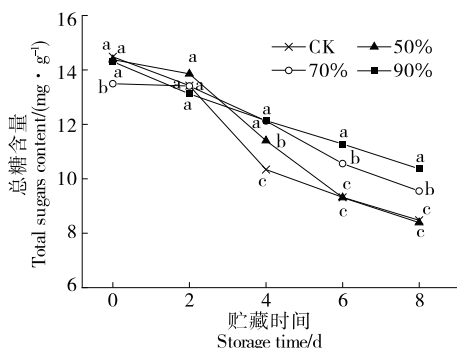
2.3 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽总糖和总酚含量的影响

由图 4 可知,鲜切刺嫩芽总糖含量逐渐下降,鲜切刺嫩芽采收再进行鲜切后,呼吸代谢作用旺盛,总糖被逐渐转化为能量、水和二氧化碳,鲜切刺嫩芽营养价值下降。贮藏第 4 天,90% 和 70% 高氧气调处理显著高于 CK 和 50% 高氧气调处理;贮藏第 6 天和第 8 天,90% 高氧气调处理总糖显著高于其他处理($P<0.05$),而 CK 和 50% 高氧气调处理之间差异不显著。50% 高氧浓度未超过呼吸链末端氧化酶饱和浓度时,高氧气环境无抑制呼吸代谢的作用。90% 和 70% 高氧气调处理能有效抑制鲜切果蔬的呼吸作用,减缓糖代谢消耗,与 Conesa 等^[17]研究一致。

酶促褐变的速率与鲜切果蔬组织内 PPO 活力、氧气浓度和酚类物质含量三者密切相关,酚类物质含量变化直接影响果蔬贮藏品质^[18]。由图 5 可知,鲜切刺嫩芽总酚含量逐渐下降,鲜切处理后,细胞内酚类物质暴露发生氧化作用,导致总酚含量下降。贮藏第 2 天,各处理之间总酚含量差异显著($P<0.05$),90% 高氧气调处理总酚含量最大;贮藏第 4 天,90% 和 70% 高氧气调处理与 CK 和 50% 高氧气调处理差异增加;贮藏第 6 天和第 8 天,90% 和 70% 高氧气调处理显著高于 CK 和 50% 高氧气调处理($P<0.05$),CK 和 50% 高氧气调处理之间差异不显著,其中 90% 高氧气调处理总酚含量最大。说明 90% 高氧结合 10% 二氧化碳气调处理能显著抑制酚类物质的氧化作用,延缓酚类物质消耗。

2.4 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 POD 和 PPO 活力的影响

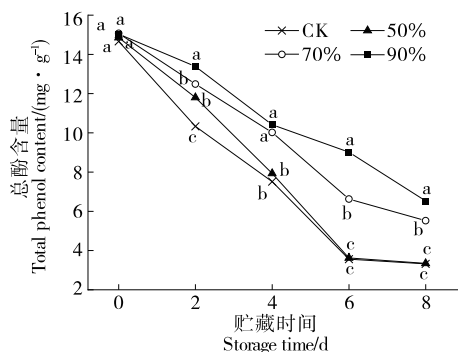
由图 6 可知,鲜切刺嫩芽高氧气调处理 POD 活力先降低后增加,CK 处理的 POD 活力逐渐增加。贮藏第



字母不同表示不同处理之间存在显著差异($P<0.05$)

图 4 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽总糖含量的影响

Figure 4 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on the total sugars content of fresh cutting *A. elata*



字母不同表示不同处理之间存在显著差异($P<0.05$)

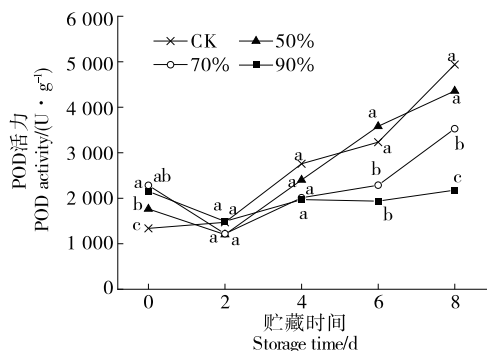
图 5 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽总酚含量的影响

Figure 5 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on the total phenol content of fresh cutting *A. elata*

2 天,各组处理差异不显著且 3 个高氧气调处理的达到最低值;贮藏第 4 天,各组处理显著上升,但各组差异不显著;贮藏第 6 天和第 8 天,CK 和 50% 高氧气调处理显著高于 90% 和 70% 高氧气调处理($P<0.05$),其中 90% 高氧气调处理 POD 活力值最低。

由图 7 可知,鲜切刺嫩芽高氧气调处理 PPO 活力先降低后增加,CK 处理的 PPO 活力逐渐增加。贮藏第 2 天和第 4 天,CK 和 50% 高氧气调处理 PPO 活力显著高于 90% 和 70% 高氧气调处理($P<0.05$);贮藏第 6 天和第 8 天,90% 高氧气调处理 PPO 活力显著低于其他处理($P<0.05$),CK 和 50% 高氧气调处理之间差异不显著。

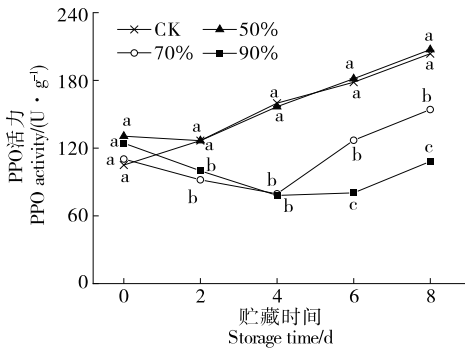
研究^[19-20]表明,高氧气环境引起果蔬氧化应激作用,从而使 POD 和 PPO 活性受抑,膜脂过氧化产物的积累减少。试验发现,贮藏后期(6~8 d),90% 高氧气调处理 POD 和 PPO 活力最小,说明高氧结合二氧化碳气调处理能有效抑制 POD 和 PPO 活力,从而减缓鲜切刺嫩芽酚类等物质发生酶促褐变,保护酶系统动态平衡,有效



字母不同表示不同处理之间存在显著差异($P<0.05$)

图 6 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 POD 活力的影响

Figure 6 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on the POD activity of fresh cutting *A. elata*



字母不同表示不同处理之间存在显著差异 ($P < 0.05$)

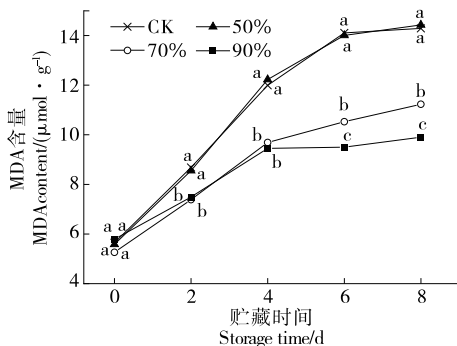
图7 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 PPO 活力的影响

Figure 7 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on the PPO activity of fresh cutting *A. elata*

延缓鲜切刺嫩芽的衰老。

2.5 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 MDA 含量的影响

由图8可知,随着贮藏时间延长,鲜切刺嫩芽MDA含量逐渐增加。贮藏第2天和第4天,CK和50%高氧气调处理MDA含量显著高于90%和70%高氧气调处理 ($P < 0.05$);贮藏第6天和第8天,90%高氧气调处理MDA含量显著低于其他处理 ($P < 0.05$),CK和50%高氧气调处理之间差异不显著。说明90%高氧结合10%二氧化碳气调处理可减轻鲜切刺嫩芽氧化损伤,维持膜完整性,进一步延缓鲜切刺嫩芽贮藏过程中的组织衰老。



字母不同表示不同处理之间存在显著差异 ($P < 0.05$)

图8 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽 MDA 含量的影响

Figure 8 Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on the MDA content of fresh cutting *A. elata*

3 结论

在4℃贮藏条件下,贮藏6~8d时90%高氧气调处理鲜切刺嫩芽呼吸强度最小;硬度和颜色变化以及总糖和总酚消耗缓于其他处理的。高氧气体结合适当浓度的二氧化碳气体气调包装能降低鲜切蔬菜呼吸速率,其中90%高氧结合10%二氧化碳气调处理对鲜切刺嫩芽保鲜

效果最佳,其在鲜切刺嫩芽贮藏过程显著抑制呼吸强度、硬度、颜色、营养成分和细胞膜系统的变化,进而延缓鲜切刺嫩芽变色、萎蔫、软化、腐败和衰老,提高鲜切刺嫩芽保鲜期。但是90%高氧结合10%二氧化碳气调包装处理延缓鲜切刺嫩芽衰老过程可能还涉及呼吸代谢和能量代谢等机理,下一步还需要从分子水平甚至是基因水平开展研究工作。

参考文献

- [1] 颜廷才,张旋,孟宪军,等. β -葡萄糖苷酶水解刺嫩芽皂甙最佳工艺条件的研究[J]. 食品工业科技, 2021, 33(1): 282-288.
YAN Ting-cai, ZHANG Xuan, MENG Xian-jun, et al. Optimizing the technologic conditions of aralosides hydrolyzed with β -glucosidase[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 33(1): 282-288.
- [2] 刘欢,王冰玉,潘美伊,等. 真空预冷处理对刺嫩芽贮藏期间保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 44-48.
LIU Huan, WANG Bing-yu, PAN Mei-yi, et al. Effect of vacuum pre-cooling treatment on preservation of *Aralia elata* seem during storage[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7): 44-48.
- [3] 徐春蕾,王佳,李长洪,等. 气调包装对混合鲜切果蔬保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 131-135.
XU Chun-lei, WANG Jia, LI Chang-hong, et al. Effect of modified atmosphere packaging on fresh-keeping of mixed fresh-cut fruits and vegetables[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 131-135.
- [4] ANSAH F A, AMODIO M L, COLELLI G. Quality of fresh-cut products as affected by harvest and postharvest operations [J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 2018, 98(10): 3 614-3 626.
- [5] CALEB O J, MAHAJAN P V, AL-SAID F A J, et al. Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh-cut produce and the microbial consequences a review [J]. Food Bioprocess Technology, 2013(6): 303-329.
- [6] LI L, LI C B, SUN J, et al. Synergistic effects of ultraviolet light irradiation and high-oxygen modified atmosphere packaging on physiological quality, microbial growth and lignification metabolism of fresh-cut carrots[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 173: 111365.
- [7] 陈学红,秦卫东,马利华,等. 高氧气调包装对鲜切茼蒿抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 313-317.
CHEN Xue-hong, QIN Wei-dong, MA Li-hua, et al. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on antioxidant activities in fresh-cut lettuce[J]. Food Science, 2011, 32(8): 313-317.
- [8] 何伟. 果蔬气调保鲜技术及其在冷链物流中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 228-232.
HE Wei. Research on application of modified atmosphere in fresh-keeping technology of fruits and vegetables in cold chain logistics[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 228-232.
- [9] FAN K, ZHANG M, FAN D C, et al. Effect of carbon dots with chi-

- tosan coating on microorganisms and storage quality of modified-atmosphere-packaged fresh-cut cucumber[J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 2019, 99(13): 6 032-6 041.
 - [10] OMS-OLIU G, AGUILO-AGUAYO I, SOLIVA-FORTUNY R, et al. Effect of ripeness at processing on fresh-cut ‘Flor de Invierno’ pears packaged under modified atmosphere conditions[J]. Institute Journal of Food Science Technology, 2009(44): 900-909.
 - [11] WAGHMARE R B, ANNAPURE U S. Effects of hydrogen peroxide, modified atmosphere and their combination on quality of minimally processed cluster beans[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017(54): 3 658-3 665.
 - [12] CALDWELL C. Alkyl peroxy radical scavenging activity of red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) phenolics [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(16): 4 589-4 595.
 - [13] 乔永祥, 谢晶, 雷昊. 2,4-油菜素内酯溶液浸泡处理对鲜切生菜褐变的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 177-181.
QIAO Yong-xiang, XIE Jing, LEI Hao. Effect of 2, 4-epibrassinolide on fresh-cut lettuce browning[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(9): 177-181.
 - [14] VICTOR H E, VERLINDEN B E, GEYSEN S, et al. Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006(39): 48-55.
 - [15] ALTUNKAYA A, GOKMEN V. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*) [J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1 173-1 179.
 - [16] VAN DER STEEN C, JACXSSENS L, DEVLIEGHERE F, et al. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(1): 49-58.
 - [17] CONESA A, ARTES-HERNANDEZ F, GEYSEN S, et al. High oxygen combined with high carbon dioxide improves microbial and sensory quality of fresh cut peppers[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007(43): 230-237.
 - [18] DENOYA G I, VAUDAGNA S R, POLENTA G. Effect of high pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 62(1): 801-806.
 - [19] LI L, BAN Z, LI X, et al. Phytochemical and microbiological changes of honey pomelo (*Citrus grandis* L.) slices stored under super-atmospheric oxygen, low-oxygen and passive modified atmospheres[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(10): 2 205-2 211.
 - [20] DAY B P F. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared product[J]. Postharvest News Info, 1996, 7(3): 31N-34N.
-
- (上接第 152 页)
- [17] 史君彦, 夏春丽, 范林林, 等. 不同保鲜膜处理对双孢菇保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2016, 37(12): 50-54.
SHI Jun-yan, XIA Chun-li, FAN Lin-lin, et al. Effect of different fresh keeping films on preservation of *Agaricus bisporus* [J]. Food Industry, 2016, 37(12): 50-54.
 - [18] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 25-30.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiological and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 25-30.
 - [19] 王月莹. 壳聚糖/酚酸接枝共聚物膜特性及其对双孢蘑菇保鲜效果研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2020: 41.
WANG Yue-ying. Study on the film properties of chitosan-grafted-phenolic acids and its preservation effect on *Agaricus bisporus* [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2020: 41.
 - [20] ANTMANN G, ARES G, LEMA P, et al. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms[J]. Postharvest Biology & Technology, 2008, 49(1): 164-170.
 - [21] 王步江. 包装方式对双孢菇货架期品质和生理的影响[J]. 食品科技, 2012(8): 57-61.
WANG Bu-jiang. Effect of package types on *Agaricus bisporus* during shelf-life[J]. Food Science and Technology, 2012(8): 57-61.
 - [22] DONKER H C W, AS H V. Cell water balance of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during its post-harvest lifetime studied by quantitative magnetic resonance imaging[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1999, 1 427(2): 287-297.
 - [23] DONKER H, BRAAKSMA A. Changes in metabolite concentrations detected by ¹³C-NMR in the senescing mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 10(2): 127-134.
 - [24] VAROQUAUX P, GOUBLE B, BARON C, et al. Respiratory parameters and sugar catabolism of mushroom (*Agaricus bisporus* Lange) [J]. Postharvest Biology & Technology, 1999, 16(1): 51-61.
 - [25] 陈存坤, 董成虎, 纪海鹏, 等. 臭氧处理对双孢菇采后生理和贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(17): 155-158.
CHEN Cun-kun, DONG Cheng-hu, JI Hai-peng, et al. Effect of ozone treatments on storage of post-harvest physiology and storage quality of *Agaricus bisporus* [J]. Food Research and Development, 2015, 36(17): 155-158.
 - [26] 崔晶. 二氧化氯对双孢菇贮藏效果的影响及其褐变机理的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2011: 42.
CUI Jing. Effect of chlorine dioxide on *Agaricus bisporus* quality and its enzymatic browning[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011: 42.