

# 气调包装对鲜切菠萝品质的影响分析

陈敏惠, 陈于陇\*, 李佳鸿, 戴凡炜, 陈飞平, 王玲, 戚英伟

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

**摘要:** 该试验研究了包装材料对鲜切菠萝贮藏品质的影响。采用自发气调袋包装鲜切菠萝, 对照组选用普通菠萝保鲜袋, 置于 4 °C 低温贮藏。测评了鲜切菠萝感官评价, 探究了包装袋气体成分变化、硬度、可溶性固形物 (TSS)、可滴定酸 (TA)、抗坏血酸 (Vc)、丙二醛 (MDA)、乙醇等各项指标。结果表明, 与对照组相比, 气调袋包装的鲜切菠萝在贮藏期间 O<sub>2</sub> 浓度保持在 11.29% 以上, CO<sub>2</sub> 浓度保持在 3.03% 以下, 贮藏 12 d 感官得分为 9.67 分, 硬度下降 11.17%, TSS 下降 19.44%, TA 下降 12.14%, Vc 含量下降 21.78%, 有效缓解了鲜切菠萝各生理指标下降的趋势。与普通保鲜袋相比, 气调袋抑制了菠萝 MDA 含量和乙醇含量的增加, 普通袋 MDA 含量为 3.52 μmol/g, 而气调袋为 2.99 μmol/g, 缓解了鲜切菠萝的膜脂过氧化; 普通袋乙醇含量高达 615.9 μg/g, 而气调袋乙醇含量仅为 120.68 μg/g, 大大减少了菠萝在贮藏期间无氧呼吸产生乙醇。因此, 采用自发气调袋包装有效的保持了鲜切菠萝的品质, 延长了鲜切菠萝的贮藏期, 具有广阔的市场前景。

**关键词:** 自发气调袋; 鲜切菠萝; 品质; 贮藏期

文章编号: 1673-9078(2023)11-135-142

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.11.1015

## Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Fresh-cut Pineapple

CHEN Minhui, CHEN Yulong\*, LI Jiahong, DAI Fanwei, CHEN Feiping, WANG Ling, QI Yingwei

(Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** In this study, the influence of packaging materials on the storage quality of fresh-cut pineapple was examined. Fresh-cut fruit pineapple were packed in self-activated modified atmosphere bags (MAP) or normal commercially available fresh-keeping bags (the control group (CK)), before being stored at 4 °C. The fresh cut pineapple samples were subjected to sensory evaluation, and the quality indices including the headspace gas composition, and the hardness, total soluble solids content (TSS), titratable acid (TA), ascorbic acid (Vc) content, malondialdehyde (MDA) content and ethanol content of the fruit samples were measured. The results showed that compared with the control group, the fresh-cut pineapple packed in MAP had an O<sub>2</sub> concentration above 11.29% and CO<sub>2</sub> concentration below 3.03% during the storage. On the 12<sup>th</sup> day of storage, the sensory score was 9.67, and the hardness, TSS, VC and TA decreased by 11.17% 19.44%, 12.14% and 21.78%, respectively, thereby alleviating effectively the decline of the physiological indices of fresh-cut pineapple. Compared with the normal fresh-keeping bag, the MAP inhibited the increases of MDA and ethanol contents in fresh-cut pineapple. The MDA content of the fruit in the normal bag was 3.52 μmol/g, whilst that for the MAP was 2.99 μmol/g (MAP alleviated effectively the membrane lipid peroxidation).

引文格式:

陈敏惠, 陈于陇, 李佳鸿, 等. 气调包装对鲜切菠萝品质的影响分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(11): 135-142

CHEN Minhui, CHEN Yulong, LI Jiahong, et al. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut pineapple [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(11): 135-142

收稿日期: 2022-08-15

基金项目: 广东省重点研发计划项目 (2020B0202080003); “十四五”广东省农业科技创新十大主攻方向“揭榜挂帅”项目 (2023SDZG04); 省级农业科技创新推广项目 (粤财农〔2021〕170号)

作者简介: 陈敏惠 (1996-), 女, 硕士, 实习研究员, 研究方向: 农产品物流与保鲜, E-mail: 729561509@qq.com

通讯作者: 陈于陇 (1968-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品物流与保鲜, E-mail: chenylong@gdaas.cn

The ethanol content of the fruit in the normal bag was 615.9  $\mu\text{g/g}$ , whilst that for the MAP was only 120.68  $\mu\text{g/g}$  (MAP reduced greatly the anaerobic respiration to produce ethanol in the fresh-cut pineapple during storage). Therefore, the self-activated MAP effectively maintained the quality of fresh-cut pineapple and prolonged its storage duration, thereby having a broad market prospect.

**Key words:** modified atmosphere packaging; fresh-cut pineapple; quality; expiration date

菠萝[*Ananas comosus* (Linn.) Merr]是一种主要产于(亚)热带国家的水果,占全球热带水果产量的20%以上,约2 550万 $\text{t}^{[1]}$ 。菠萝富含维生素A、B<sub>1</sub>、B<sub>6</sub>和C,以及其他营养元素,如矿物质和膳食纤维<sup>[2]</sup>,深受消费者喜爱。然而新鲜菠萝在食用时去皮麻烦,为食用方便,市场上推出了鲜切菠萝的新型售卖形式。菠萝在加工过程中会造成其一定程度上组织损伤,增加呼吸代谢过程,提高酶活性和细胞降解<sup>[3]</sup>,即使在最适温度条件下,鲜切加工处理也会将菠萝货架期从1~2周降至仅1~3 d。此外,鲜切还为微生物的生长提供了有利的环境,导致微生物污染内部组织造成菠萝腐坏变质<sup>[4]</sup>。

鲜切菠萝最常见的传统保鲜方式主要是浸泡在盐水中,盐水可抑制微生物生长达到一定保鲜效果,然而这种方法保鲜时间短,达不到延长货架期的要求。此外,还有涂膜保鲜的方法,通过减少水分流失和果蔬组织与外界接触,抑制其生理代谢紊乱来延长贮藏期<sup>[5]</sup>。目前最常用的可食用涂膜材料包括壳聚糖、淀粉、纤维素、海藻酸钠、角叉菜胶、玉米醇溶蛋白、乳清、脂肪酸<sup>[6]</sup>。然而,可食用涂膜在实际应用上也存在一些问题,例如亲水性较强的涂膜抗水能力差,在湿度较高的条件下可能会出现吸湿发黏的现象<sup>[7]</sup>。

气调保鲜技术是延长果蔬贮藏期的有效方法,该技术通过改变储存环境中气体的比例来抑制微生物的生长,延缓采后果蔬代谢速度,减少营养元素的消耗<sup>[8]</sup>。通过氩气、氮气的气调处理能抑制菠萝的呼吸代谢及乙烯合成,延缓菠萝褐变,延长了鲜切菠萝的货架期<sup>[9]</sup>。研究发现,通过低温结合复合气体环境包装鲜切菠萝,能有效抑制菠萝褐变和维生素C氧化,保持其良好的品质<sup>[10]</sup>。但以上处理需要配套的气调库等设备,应用成本高,不利于推广使用。自发气调包装袋是通过调节果蔬自身呼吸的气体与气调膜透过气体之间的平衡,使袋内气体成分保持最佳状态,在果蔬贮藏期起到自发气调和保湿透气的效果,更适用于研究鲜切菠萝的保鲜<sup>[11]</sup>。自发气调袋具有无毒、易操作、成本低、效果好等优点<sup>[12]</sup>,其推广和使用在拓宽果蔬保鲜技术上尤为重要,然而,自发气调包装袋在鲜切菠萝贮藏保鲜的应用上却鲜有研究和报道。

本研究探究自发气调袋对鲜切菠萝贮藏期间品质变化的影响。以市售的菠萝常用包装袋(镀铝阴阳自

封袋)为对照,采用实验室自主研发的自发气调保鲜袋,在低温条件下进行鲜切菠萝的贮藏保鲜实验,寻找简易但适用于鲜切菠萝贮藏的保鲜材料,延长鲜切菠萝贮藏期,为鲜切菠萝的冷链气调包装提供参考依据,解决菠萝产业在保鲜难题上困境。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

菠萝,购于广州天河区五山水果市场,产地湛江,品种为“巴厘”。挑选开花后120 d左右,大小均匀,色泽相似,无病害破损的菠萝作为试验材料。洗净后用不锈钢刀去皮、去眼。先置于冰水混合物浸泡15 min预冷,再转移至3.5% (m/V) 盐水浸泡5 min作保鲜处理,沥干水分后,分别用两种包装处理。对照组选用市售菠萝保鲜袋,即镀铝阴阳自立袋(材质为纯铝和PE膜,厚度20  $\mu\text{m}$ ,规格26 cm $\times$ 38 cm);实验组采用研究室自主研发的改性聚乙烯保鲜袋,即MP20气调袋(厚度20  $\mu\text{m}$ ,水蒸气透过率62.58  $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ,O<sub>2</sub>渗透率11 643  $\text{cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{atm})$ ,规格26 cm $\times$ 38 cm)。每袋包装2个菠萝,每组包装3袋,共24袋。贮藏于4  $^{\circ}\text{C}$ 低温条件下,每3 d取样一次,测量各项指标数据。

### 1.2 仪器与试剂

Checkmate9900型顶空气体分析仪,丹麦PBI公司;TA-XTPlus质构仪,英国StableMicroSystem公司;RFM340+糖度仪,英国Bellingham Stanley公司;CARYEclipse荧光分光光度计,美国VARIAN公司;GC-2010Plus气相色谱仪,日本岛津公司。

草酸、硼酸、维生素C标准品(纯度>99%)、三氯乙酸(分析纯),天津福晨化学试剂有限公司;无水乙酸钠、邻苯二胺(分析纯),天津市大茂化学试剂厂;硫代巴比妥酸(分析纯),源叶生物科技有限公司。

### 1.3 测试指标及方法

#### 1.3.1 感官评价

感官评价采用闫静坤等<sup>[13]</sup>的方法,选择12名(6男,6女)成立测评小组,感官评定人员为年龄

20~40 岁身体健康、味觉正常人员。采用盲评的方式鉴赏菠萝,按色泽、香气、组织状态、风味为指标,进行感官评价,评分标准见表 1。感官评分时,先以各指标的得分相加算出总评分,再取平均值。

表 1 鲜切菠萝感官评价表

Table 1 Sensory evaluation of fresh-cut pineapple

项目	评分标准	得分
色泽	色泽明亮,非常新鲜	5
	色泽明亮,比较新鲜	4
	淡黄色光泽,一般新鲜	3
	轻微浑浊失光,较差	2
	浑浊失光,很差	1
香气	具有菠萝果香,香气浓郁	5
	具有菠萝果香,香气较淡	4
	具有菠萝果香,香气一般	3
	有些微乙醇异味	2
	有乙醇异味和腐坏异味	1
组织状态	果肉组织紧密,状态优秀	5
	果肉组织紧密,状态良好	4
	果肉组织正常,状态一般	3
	果肉组织松散,状态较差	2
	果肉组织糜烂,状态很差	1
风味	果味丰富,酸甜可口	5
	果味丰富,风味良好	4
	果味淡薄,风味一般	3
	有些许腐坏异味	2
	腐坏异味,难以咽	1

### 1.3.2 贮藏过程中微环境气体成分

参考于茂兰等<sup>[14]</sup>的方法,采用顶空气体分析仪测量袋内气体成分。在包装袋密封的环境下,将橡胶垫贴片纸贴于包装袋上,用取样针管扎透垫片贴,避免扎到菠萝,抽取袋内气体进行测量。每包样品在上中下三个位置各测三次。

### 1.3.3 果肉硬度的测定

参考 Oms-oliu 等<sup>[15]</sup>的方法,并稍作修改。用质构仪测定菠萝果肉硬度,探头型号为 A/WEG,以 1 mm/s 的速度穿透 5 mm,返回高度 6 cm。结果表示为穿透过程中记录的最大力(N),硬度单位用 g/cm<sup>2</sup> 表示。

### 1.3.4 TSS 和 TA 含量测定

参考巫梅婷等<sup>[16]</sup>的方法,并稍作修改。将菠萝果肉榨汁,细纱布过滤后收集汁液,4℃下 5 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,低温保存备用。在数显糖酸度计检测镜面凹槽处滴加菠萝果肉汁液 500 μL,按 start 读数并记录,即得 TSS 值。在此基础上吸取 100 μL

汁液,用纯水稀释 50 倍,再次读数并记录,得到菠萝的 TA 值。

### 1.3.5 维生素 C 含量测定

参考黄方志等<sup>[17]</sup>的方法,并稍作修改,采用荧光分光光度计测定维生素 C 含量,取 1.3.5 中收集的上清液 0.5 mL,加入 5 mL 2% (m/V) 草酸和 0.2 g 活性炭,涡旋震荡均匀,离心取上清液。样品管为 1 mL 上清液加 250 g/L 乙酸钠溶液,对照管为 1 mL 上清液加 30 g/L 硼酸-250 g/L 乙酸钠溶液,混合均匀,避光反应 20 min,分别加入 1 mL 0.2 g/L 邻苯二胺溶液,混匀,避光反应 40 min。激发波长 355 nm,发射波长 425 nm,测定荧光强度。

### 1.3.6 丙二醛含量测定

参考 Zhang 等<sup>[18]</sup>的方法,并稍作修改。取 1.3.5 中收集的上清液 1 mL,加入 5 mL 100 g/L TCA 溶液,混合均匀。样品管取 2 mL 混液,对照管为 2 mL 100 g/L TCA 溶液,分别加入 2 mL 0.67% (m/V) TBA 溶液,混匀,沸水浴 20 min,取出冷却后 5 000 r/min 离心 10 min,测定上清液在 450、532、和 600 nm 波长处的吸光值。

### 1.3.7 乙醇含量测定

参照侯玉茹等<sup>[19]</sup>的方法,并稍作修改。顶空收集果蔬组织释放的乙醇气体,通过气相色谱柱分离后,测定乙醇含量。气相色谱配置为氢火焰离子化检测器 FID 和 DB-FFAP 填充柱,载气为 N<sub>2</sub>。进样口温度 220℃,柱温 40℃,检测器 FID 检测器温度 300℃。取 1.3.5 中收集的上清液 5 mL,移入 20 mL 样品瓶中,密封后 60℃保温 1 h,顶空取 1 mL 气体,通过气相色谱仪测定。根据标准曲线,利用面积外标法,计算提取液中乙醇浓度。

## 1.4 数据处理及分析

除感官评价有 12 个重复外,其余数据均独立重复 3 次,结果以平均值±标准偏差显示。实验数据以 Microsoft Office Excel 2010 (美国微软公司),进行汇总,SPSS Statistics 22 (美国 IBM 公司)进行进行单因素方差分析,利用 Duncan's 多重比较进行显著性差异分析,采用 Sigma Plot10.0 (美国 Systat 公司)作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同包装对鲜切菠萝储藏期间外观和感官品质的影响

不同包装下的鲜切菠萝在 4℃低温下贮藏,外观

品质如图 1a 所示。随着贮藏时间的延长, 对照组保鲜袋包装的鲜切菠萝在贮藏期间果肉色泽逐渐变深, 在贮藏第 9 天出现了果肉弥散的现象, 在第 12 天出现了部分自溶, 而用 MP20 气调袋包装的菠萝果肉在整个贮藏期间均结构完整, 色泽保持较好。

感官评价是反映鲜切菠萝品质最直观的指标, 其硬度、口感、气味、果肉状态是影响菠萝商品质量的四个重要指标。感官品质测定满分为 20 分, 按照表 1 进行评分, 统计后作图。由图 1b 可以发现, 随着贮藏时间的延长, 菠萝感官评价得分持续下降。然而, 采用 MP20 袋包装的实验组菠萝感官评分下降较为缓慢, 在贮藏第 9 天时仍然有良好的感官品质, 感官评价分为 11.86 分, 其果肉状况较好, 有一定抑制菠萝肉芽产生的作用, 品尝后并未发现腐坏异味。这与朱佳佳<sup>[20]</sup>气调保鲜下贮藏鲜切菠萝 9 d 仍能保持良好的品质结果一致。而对照组保鲜袋包装的菠萝在贮藏 9 d 时感官评价分为 9.29 分, 果肉外观色泽不佳, 有些许乙醇异味, 品尝后口感欠佳, 只能保存 6 d。在贮藏第 12 天时, 实验组菠萝外观正常, 仅有些许异味, 而对照组菠萝外观有明显过熟表象, 乙醇异味明显。这表明采用适宜的包装袋能很好地保持鲜切菠萝的颜色、组织状态、香气及风味。

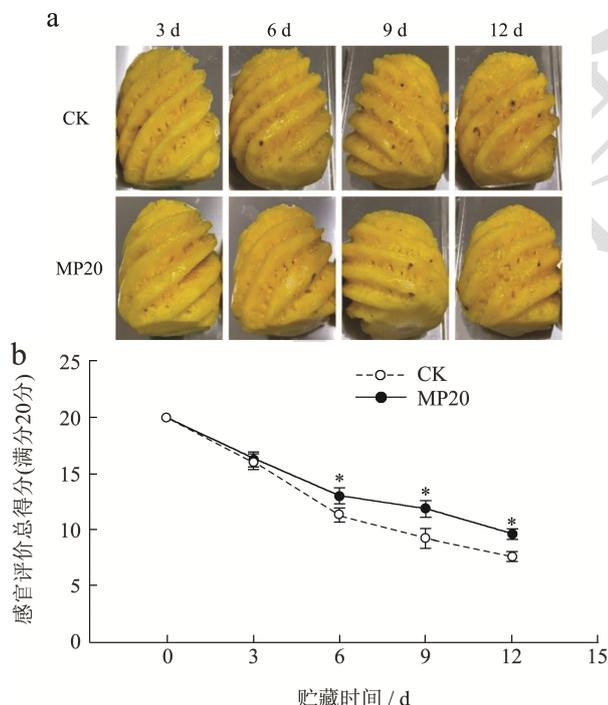


图 1 不同包装对鲜切菠萝外观 (a) 和感官品质 (b) 的影响  
**Fig.1 The appearance (a) and sensory changes (b) of fresh-cut pineapple treated with different packages**

注: 同一时间不同包装对比下, \*表示显著水平  $P<0.05$ , \*\*表示极显著水平  $P<0.01$ , \*\*\*表示极其显著水平  $P<0.001$ 。下图同。

## 2.2 不同包装对鲜切菠萝包装环境内气体体积分数的影响

测试包装内环境气体成分的变化情况能反应水果在贮藏期的呼吸状态, 于此同时, 水果的贮藏品质及生理代谢同样也受到包装内环境气体成分的影响<sup>[21]</sup>。如图 2 所示, 在前 9 d 贮藏期间, 普通包装袋  $O_2$  含量逐渐下降,  $CO_2$  含量逐渐升高, 推测可能是菠萝在贮藏期间代谢旺盛, 进行无氧呼吸产生  $CO_2$ , 导致  $CO_2$  含量积累较快, 在第 9 天  $CO_2$  含量高达 27.63%,  $O_2$  含量仅为 3.08%。实验组采用自发气调袋, 使贮藏期菠萝的气体成分能持续的保持  $O_2$  的透入和  $CO_2$  的透出, 使气调袋内  $O_2$  含量维持 12.31%, 提供了菠萝有氧呼吸所需的  $O_2$ , 并排出多余  $CO_2$ ,  $CO_2$  含量维持 2.29%, 避免了菠萝在缺氧环境下进行无氧呼吸产生乙醇等不良风味物质的积累。Wilson 等<sup>[22]</sup>同样也认为调节保鲜膜气体渗透性和调节果蔬呼吸可以保持新鲜水果和蔬菜的质量和延长货架期。

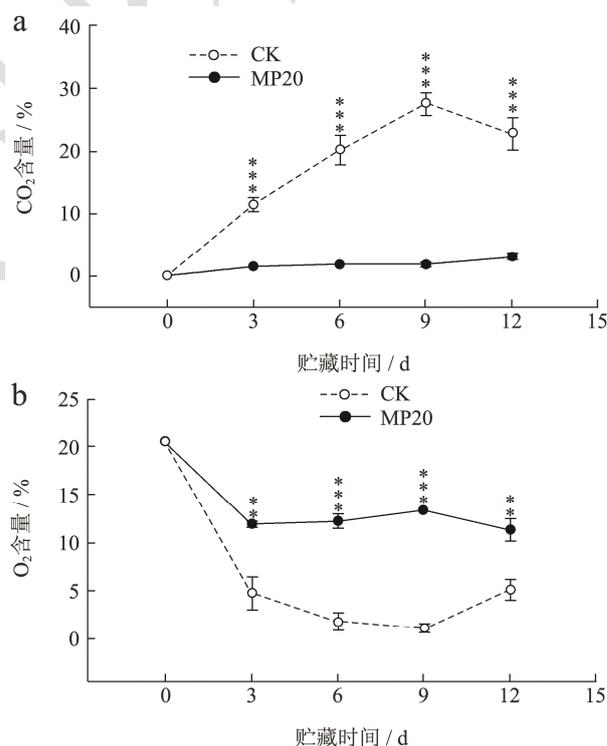


图 2 不同包装对鲜切菠萝包装环境内气体体积分数的影响  
**Fig.2 Effect of different packaging on gas concentration in packaging environment of fresh-cut pineapple**

## 2.3 不同包装对鲜切菠萝硬度的影响

测试鲜切水果硬度的变化情况能反应水果在贮藏期的新鲜程度及果肉状态<sup>[23]</sup>。如图 3 所示, 随着贮藏时间的延长, 鲜切菠萝的硬度呈现下降的趋势。果蔬

经鲜切处理后,原完整结构受到破坏,增大组织生理代谢活动,呼吸作用增强,同时会促进内源乙烯的释放,加速果蔬衰老,影响果蔬硬度<sup>[24]</sup>。然而相比于对照组,实验组采用的自发气调袋包装缓解了鲜切菠萝硬度的下降趋势。这是由于采用 MP20 气调袋能自发调节 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 气体平衡,结合低温环境能有效抑制菠萝果肉进行生理代谢,延缓其衰老,同时避免果肉因缺氧进行无氧呼吸产生乙醇伤害组织细胞,保持菠萝所含有的营养物质和水分流失,从而减缓果肉硬度的下降。在贮藏期间菠萝的硬度提高了 10.14%,更有助于其保持良好的物理性能、外观品质和口感。路贵龙等<sup>[25]</sup>探究气调袋对苹果贮藏品质的影响,与其研究结论类似,气调袋包装延缓了苹果硬度的下降。

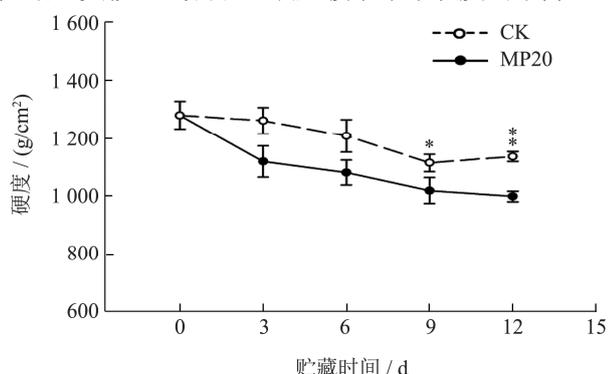


图3 不同包装对鲜切菠萝硬度的影响

Fig.3 Effects of different packaging on hardness of fresh-cut pineapple

#### 2.4 不同包装对鲜切菠萝 TSS 和 TA 的影响

可溶性固形物主要指可溶性糖 (TSS) 和可滴定酸 (TA),是衡量果蔬贮藏和食用品质的指标,也是影响菠萝果实风味的重要因素<sup>[26]</sup>。如图 4 所示,鲜切菠萝在贮藏期间 TSS 含量随贮藏时间的延长,呈现下降的趋势,在贮藏 12 d 时对照组与实验组 TSS 含量分别为 12.93% 和 13.53%,与贮藏初期相比分别下降了 3.87% 与 3.27%。这可能是由于贮藏期间菠萝果肉生命代谢活动消耗许多营养物质,而气调贮藏处理可避免鲜切菠萝的无氧呼吸,进行有氧呼吸提供给菠萝更多的能量供其生命代谢活动,降低糖类物质的消耗速率,减少 TSS 的下降幅度。TA 作为呼吸底物之一,在贮藏过程中不断消耗,同时 TA 会溶于水分,随水分的流失而下降。在贮藏前期菠萝 TA 含量基本维持稳定,在贮藏 12 d 时对照组与实验组 TA 含量分别为 1.04 和 1.13 mg/L,与贮藏初期相比分别下降了 18.86% 与 12.14%。实验组采用的自发气调袋包装均缓解了菠萝 TSS 和 TA 含量的下降,更有利于鲜切菠萝的贮藏。张凯等<sup>[27]</sup>研究自发气调袋贮藏对葡萄果实品

质的影响,与该结论类似,可延缓葡萄 TSS、TA 含量的下降,具有较好的果实保鲜作用。

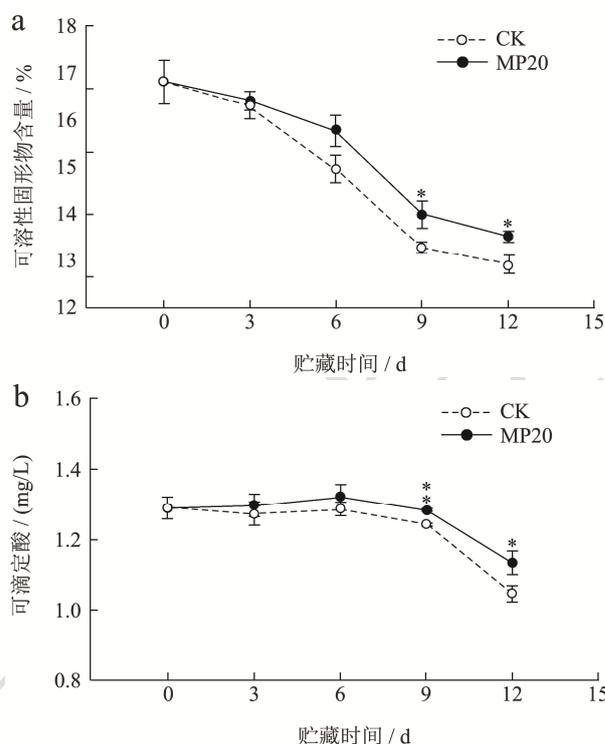


图4 不同包装对鲜切菠萝可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

Fig.4 Effects of different packaging on soluble solid content of fresh-cut pineapple

#### 2.5 不同包装对鲜切菠萝维生素 C 含量的影响

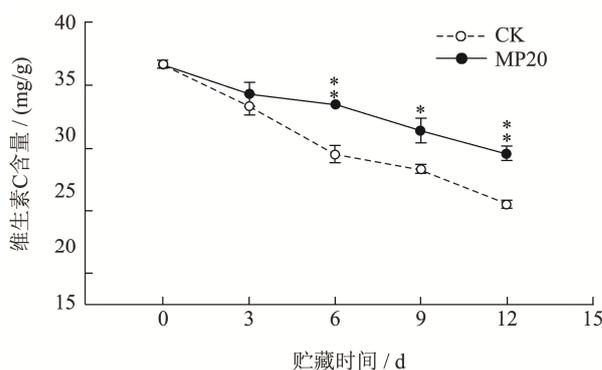


图5 不同包装对鲜切菠萝维生素 C 含量的影响

Fig.5 Effects of different packaging on vitamin C content of fresh-cut pineapple

菠萝中的维生素 C 含量丰富,维生素 C 对清除自由基、保护和维持黄酮、多酚等物质的还原状态起着关键作用<sup>[28]</sup>,但其性质很不稳定,容易被氧化,菠萝经加工后,失去果皮保护,组织结构被破坏,所以在鲜切菠萝的贮藏过程中,维生素 C 会逐渐流失。从图 5 中可看出,对照组维生素 C 含量呈现大幅下降的趋势,贮藏至第 12 天时与贮藏初期相比下降了

34.16%。经气调袋包装的菠萝，能自发调节菠萝的呼吸速率至合适的范围，避免细胞无氧呼吸，同时抑制各项生理生化反应，减少了维生素 C 氧化和流失，第 12 天时维生素 C 含量是对照组的 1.19 倍，与贮藏初期相比仅下降了 21.77%。气调贮藏可减缓鲜切菠萝维生素 C 的降解速率，减少氧化反应造成降低菠萝的氧化能力，提高鲜切菠萝果实新鲜度。方宗壮等<sup>[29]</sup>采用真空包装处理鲜切菠萝同样也能减少维生素 C 的氧化和流失。

### 2.6 不同包装对鲜切菠萝丙二醛含量的影响

丙二醛作为膜脂过氧化的产物之一，其含量常用来表示果蔬衰老或冷害过程中细胞膜的膜脂过氧化程度和逆境伤害程度<sup>[30]</sup>。从图 6 可以看出，随着贮藏时间的增加，对照组菠萝果肉的丙二醛含量总体变化呈现上升的趋势，显著高于实验组，对照组 MDA 含量为 3.52  $\mu\text{mol/g}$ ，与贮藏初期相比上升了 0.69  $\mu\text{mol/g}$ 。采用自发气调包装袋包装能抑制菠萝果肉丙二醛含量的上升，尤其是在贮藏后期，仍能保持一个较低的水平，贮藏至第 12 天时气调组菠萝果肉 MDA 含量为 2.99  $\mu\text{mol/g}$ ，与贮藏初期相比仅上升 0.15  $\mu\text{mol/g}$ ，说明自发气调贮藏处理可有效减缓鲜切菠萝的膜脂过氧化。此外，在其他水果上也发现，气调贮藏可以降低果实丙二醛的积累，防止了细胞膜结构的损伤，例如猕猴桃<sup>[31]</sup>、杨梅<sup>[32]</sup>等。

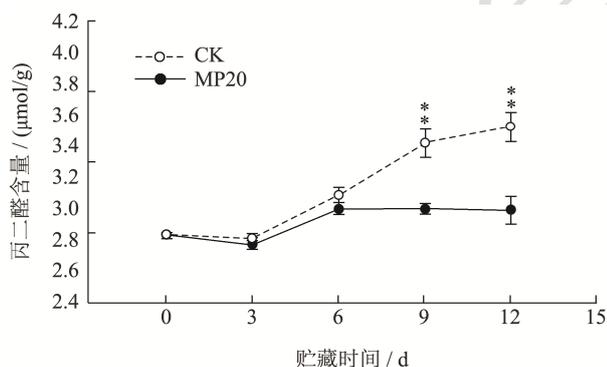


图 6 不同包装对鲜切菠萝丙二醛含量的影响

Fig.6 Effects of different packaging on malondialdehyde content of fresh-cut pineapple

### 2.7 不同包装对鲜切菠萝乙醇含量的影响

乙醇是菠萝天然香味化合物成分之一，在菠萝的贮藏和后熟过程中由于自身呼吸作用使乙醇有不同程度的积累，然而，乙醇的累积会伤害菠萝组织细胞，导致果肉生理代谢紊乱，产生乙醇异味及褐变现象，加剧果肉腐烂，严重影响其风味和品质<sup>[33]</sup>。因此，乙醇含量的测定评价鲜切菠萝贮藏期间品质的重要指标之一。

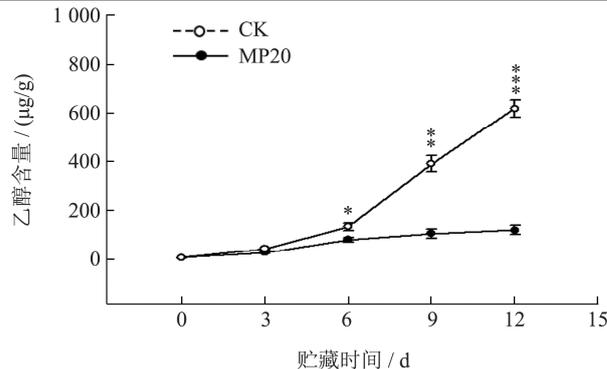


图 7 不同包装对鲜切菠萝乙醇含量的影响

Fig.7 Effects of different packaging on ethanol content of fresh-cut pineapple

如图 7 所示，随着贮藏时间的增加，贮藏的菠萝不断进行呼吸作用产生乙醇。对照组在 0~6 d 的贮藏期时乙醇含量缓慢升高，在 6~12 d 时乙醇含量迅速增加，在贮藏 12 d 时达到了 615.9  $\mu\text{g/g}$ ，有明显的乙醇异味。采用自发气调袋包装的鲜切菠萝乙醇含量在贮藏期间均能维持在低浓度的含量，在贮藏 12 d 时仅有 120.7  $\mu\text{g/g}$ ，远低于对照组，且没有乙醇异味，说明采用自发气调袋包装鲜切菠萝能预防菠萝在贮藏期间无氧呼吸产生乙醇，影响品质变化。张文江等<sup>[34]</sup>探究气调处理贮藏蓝莓果实，同样也能抑制乙醇含量的升高，并可较好地保持蓝莓原有风味。

### 3 结论与展望

根据研究结果表明，采用低温自发气调袋包装鲜切菠萝可确保在贮藏期前 9 d 仍然有良好的感官品质，而市售的保鲜袋仅能保鲜 6 d。与普通包装袋低  $\text{O}_2$ ，高  $\text{CO}_2$  的袋内微环境相比，气调袋内  $\text{O}_2$  体积分数能维持鲜切菠萝正常生理代谢消耗，并排除多余  $\text{CO}_2$ 。在贮藏后期，普通袋包装菠萝产生酒精及过量  $\text{CO}_2$ ，出现异味，而自发气调保鲜袋能维持鲜切菠萝的硬度，减缓了菠萝维生素 C、可溶性固形物等营养物质的在贮藏期间的损失，抑制了丙二醛含量和乙醇含量的上升，有效减缓了鲜切菠萝的膜脂过氧化和抑制菠萝果肉无氧呼吸产生酒精。

今后，研究室将会致力于鲜切果蔬的保鲜研究，探索更多适用于果蔬保鲜的气调包装材料和保鲜技术，为农产品贮藏、运输、销售等环节保驾护航。

### 参考文献

[1] Djido U, Lommen W J, Hounhouigan J D, et al. Effect of planting density and  $\text{K}_2\text{O}:\text{N}_2$  ratio on the yield, external quality, and traders' perceived shelf life of pineapple fruits in Benin [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 627808.

- [2] Ali M M, Hashim N, Aziz S A, et al. Pineapple: A comprehensive review of nutritional values, volatile compounds, health benefits, and potential food products [J]. Food Research International, 2020, 137: 109675.
- [3] G A González-Aguilar, Ruiz-Cruz S, Cruz-Valenzuela R, et al. Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents [J]. Food Science and Technology, 2004, 37(3): 369-376.
- [4] Trevino-Garza M Z, S García, Heredia N, et al. Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 128: 63-75.
- [5] Nor S M, Ding P. Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review [J]. Food Research International, 2020, 134: 109208.
- [6] 戚英伟,王玲,陈飞平,等.可食性涂膜性能及其水果保鲜应用研究进展[J].保鲜与加工,2022,22(22):110-120.
- [7] 岳燕霞,崔胜文,罗双群,等.复合可食性膜在果蔬保鲜中应用研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(11):195-200.
- [8] Zhang W, Li X, Jiang W. Development of antioxidant chitosan film with banana peels extract and its application as coating in maintaining the storage quality of apple [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 154(7): 1205-1214.
- [9] Wu Z S, Zhang M, Wang S J. Effects of high-pressure argon and nitrogen treatments on respiration, browning and antioxidant potential of minimally processed pineapples during shelf life [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2012, 92(11): 2250-2259.
- [10] 方宗壮,何艾,窦志浩,等.不同气调包装结合低温处理对鲜切菠萝贮藏品质的影响[J].河南工业大学学报,2018,39(4): 102-107.
- [11] 罗政,袁兆飞,陈飞平,等.不同气调包装袋对红心猕猴桃后熟品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2021,12(11): 4506-4512.
- [12] 吉宁,张丽敏,彭熙,等.低温下不同自发气调袋对百香果贮藏品质的影响[J].包装工程,2021,42(23):54-63.
- [13] 闫静坤,李萍,汪青青,等.肉桂醛及其  $\beta$ -环糊精包合物对鲜切西瓜的保鲜作用[J].食品科技,2019,44(1):43-49.
- [14] 于茂兰,陈于隴,徐玉娟,等.气调包装对带叶荔枝褐变及品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(1):108-114.
- [15] Oms-Oliu G, Raybaudi-Massilia M, Soliva-Fortuny R, et al. Effect of superatmospheric and low oxygen modified atmospheres on shelf-life extension of fresh-cut melon [J]. Food Control, 2008, 19(2): 191-199.
- [16] 巫梅婷,陈于隴,戚英伟,等.室温下不同电商包装对荔枝保鲜效果的比较[J].现代食品科技 2022,38(7):177-183.
- [17] 黄方志,沈玉华,李士阔,等.果汁中维生素 C 荧光法测定的实验设计与教学探索[J].实验室研究与探索,2015,34(5): 105-107.
- [18] Zhang W, Jiang B, Li W, et al. Corrigendum to "polyamines enhance chilling tolerance of cucumber through modulating antioxidative system" [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 123(3): 428-428.
- [19] 侯玉茹,王宝刚,李文生,等.水果中乙醇含量的气相色谱法测定[J].食品工业科技,2016,37(13):287-289.
- [20] 朱佳佳.鲜切菠萝 MAP 保鲜技术研究[D].海口:海南大学, 2011..
- [21] Chaudhary P R, Jayaprakasha G K, Porat R, et al. Low temperature conditioning reduces chilling injury while maintaining quality and certain bioactive compounds of 'Star Ruby' grapefruit [J]. Food Chemistry, 2014, 153(15): 243-249.
- [22] Wilson M D, Stanley R A, Eyles A, et al. Innovative processes and technologies for modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut fruits and vegetables [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(3): 411-422.
- [23] Yousuf B, Srivastava A K, Ahmad S. Application of natural fruit extract and hydrocolloid-based coating to retain quality of fresh-cut melon [J]. Food Science Technology, 2020, 57(10): 3647-3658.
- [24] Ansah F A, Amodio M L, Colelli G. Quality of fresh-cut products as affected by harvest and postharvest operations [J]. Science Food Agric, 2018, 98(10): 3614-3626.
- [25] 路贵龙,代安国,土旦·吉热等.采前套袋及气调袋贮藏对拉萨'新红星'苹果品质的影响[J].西北农业学报,2018,27(6): 839-845.
- [26] Gómez J M, Mendoza S M, Herrera A O, et al. Evaluation and modeling of changes in color, firmness, and physicochemical shelf life of cut pineapple slices in equilibrium-modified atmosphere packaging [J]. Food Science, 2020, 85(11): 3899-3908.
- [27] 张凯,王朔,路贵龙,等.自发气调袋贮藏对拉萨'红地球'葡萄品质的影响[J].西藏农业科技,2019,41(4):17-20.
- [28] Tietel Zipora, Feldmesser Ester, Lewinsohn Efraim, et al. Changes in the transcriptome of 'Mor' mandarin flesh during storage: emphasis on molecular regulation of fruit flavor deterioration [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,

- 2011, 59(8): 3819-3827.
- [29] 方宗壮,段宙位,窦志浩,等.真空包装结合低温处理对鲜切菠萝贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2018,39(6): 259-264.
- [30] Jin P, Zhu H, Wang J, et al. Effect of methyl jasmonate on energy metabolism in peach fruit during chilling stress [J]. *Journal of the Engineering*, 2013, 93(8): 1827-1832.
- [31] 康慧芳,乔勇进,刘晨霞,等.气调贮藏对"徐香"猕猴桃采后保鲜效果影响[J].食品工业科技,2020,41(2):279-287.
- [32] 蔡继业,房祥军,韩延超,等.气调贮藏对东魁杨梅品质的影响[J].浙江农业学报,2022,34(2):352-359.
- [33] Steingass C B, Jutzi M, J Müller, et al. Ripening-dependent metabolic changes in the volatiles of pineapple fruit: I. Characterization of pineapple aroma compounds by comprehensive two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2015, 407(9): 2609-2624.
- [34] 张文江,佟伟,王阳,等.气调贮藏对灿烂蓝莓果实品质的影响[J].中国果树,2022,13(3):66-69.