

# 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜的品质比较

范振梅<sup>1,2</sup>, 宋贤良<sup>1\*</sup>, 陈晓维<sup>2</sup>, 余元善<sup>2\*</sup>, 林羨<sup>2</sup>, 李璐<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 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:** 为降低鲜切菠萝蜜在贮藏和流通过程中出现的褐变、胀袋、质地软化等问题, 采用两种不同的保鲜方式(静电场联合低温、二氧化氯溶液处理联合低温)贮藏鲜切菠萝蜜, 对其进行感官评价, 并测定其菌落总数、色泽、硬度、可溶性固形物、可滴定酸、相对电导率和维生素 C 含量, 比较不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜的品质变化。试验发现: 与对照组相比, 静电场保鲜可显著 ( $P<0.05$ ) 延缓鲜切菠萝蜜的外观、色泽、硬度、可溶性固形物的下降以及可滴定酸、相对电导率的上升。二氧化氯液处理可减缓鲜切菠萝蜜的可滴定酸上升, 但对鲜切菠萝蜜的外观、色泽、硬度和相对电导率具有负面影响。两种保鲜方式下, 鲜切菠萝蜜的维生素 C 含量无显著差异, 其含量介于 5.66~7.24 mg/100 g 之间; 其菌落总数均小于  $1.0\times 10^3$  CFU/g。综合分析, 较于普通低温保鲜和二氧化氯处理联合低温保鲜, 静电场联合低温贮藏鲜切菠萝蜜的保鲜效果更优, 品质保持更好。

**关键词:** 保鲜方式; 鲜切; 菠萝蜜; 品质

文章编号: 1673-9078(2023)06-93-100

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0976

## Comparison of the Quality of Fresh-cut Jackfruit under Different Preservation Methods

FAN Zhenmei<sup>1,2</sup>, SONG Xianliang<sup>1\*</sup>, CHEN Xiaowei<sup>2</sup>, YU Yuanshan<sup>2\*</sup>, LIN Xian<sup>2</sup>, LI Lu<sup>2</sup>

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(2. Guangdong Provincial Academy of Agricultural Sciences, Sericulture and Agricultural Products Processing Research Institute, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Provincial Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** In order to reduce browning, bag swelling, and softening of the texture of fresh-cut jackfruit during storage and distribution, two different preservation methods (electrostatic field combined with low temperature and chlorine dioxide solution treatment combined with low temperature) were used to preserve fresh-cut jackfruit. A sensory evaluation was conducted, and the total bacterial count, color, firmness, total soluble solid content, titratable acid content, relative conductivity, and vitamin C content were determined to compare the quality changes in the fresh-cut jackfruit under different preservation methods. The results showed that compared with the control group, electrostatic field preservation significantly delayed ( $P<0.05$ ) the decrease in appearance, color, firmness, and soluble solids, and increased the titratable acids and relative conductivity of the fresh-cut jackfruit. Chlorine dioxide solution treatment slowed down the increase in the titratable acid content of the fresh-cut jackfruit, but had negative effects on the appearance, color, firmness, and relative electrical conductivity. Both preservation methods had no significant effect on the vitamin C content of the fresh-cut jackfruit, which ranged from 5.66 mg/100 g to 7.24 mg/100 g, whereas the total

引文格式:

范振梅, 宋贤良, 陈晓维, 等. 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜的品质比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 93-100.

FAN Zhenmei, SONG Xianliang, CHEN Xiaowei, et al. Comparison of the quality of fresh-cut jackfruit under different preservation methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 93-100.

收稿日期: 2022-08-04

基金项目: 广东省重点研发计划项目(2020B02020800); 广东省现代农业产业技术体系优稀水果创新团队项目(2022KJ116); 广东省农业科学院团队建设和人才培养专项(202109TD; R2020PY-JG009); “十四五”广东省农业科技创新十大主攻方向“揭榜挂帅”项目(2022SDZG04)

作者简介: 范振梅(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1528974885@qq.com

通讯作者: 宋贤良(1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工新技术, E-mail: songxl2000@163.com; 共同通讯作者: 余元善(1983-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: yuyuanshan2016@qq.com

bacterial count was less than  $1.0 \times 10^3$  CFU/g. Our findings demonstrate that the electrostatic field combined with low temperature storage of fresh-cut jackfruit had superior preservation effects and maintained jackfruit quality more effectively than ordinary low-temperature preservation and chlorine dioxide treatment combined with low temperature treatment.

**Key words:** preservation methods; fresh-cut; jackfruit; quality

菠萝蜜, 别名木菠萝、树菠萝, 为菠萝蜜系桑科常绿乔木, 其果实颜色亮黄, 香气浓郁, 口感清甜, 营养丰富, 具有降压、抗炎和抗氧化等作用<sup>[1]</sup>。在我国, 菠萝蜜广泛种植于海南、广东、广西、云南等热带亚热带地区, 尤以海南省和广东湛江地区居多, 是当地重要的经济作物<sup>[2]</sup>。但由于菠萝蜜果实硕大, 含糖量高, 耐贮性差, 每年有大量的果实在采后贮运和销售过程中腐烂变质, 为其进入市场销售, 以及南果北运带来巨大的困难。此外, 菠萝蜜果实切开后有粘液渗出, 并且果肉被大量未发育成熟的苞肉包裹, 人们要获取其可食用的果肉部分极其不易。基于上述问题, 通过鲜切处理后的菠萝蜜果肉更受消费者喜爱。然而, 鲜切水果经过切分会造成一定的机械损伤, 失去外果皮保护的果肉在贮藏过程中会加速褐变、失水、腐烂等<sup>[3]</sup>。

目前, 对鲜切菠萝蜜保鲜方法的研究主要集中在低温冷藏、气调保鲜、蒸气熏蒸、可食性材料涂膜等方面。曾丽萍等<sup>[4]</sup>通过监测不同贮藏温度鲜切菠萝蜜生化指标变化以及梅成铭<sup>[5]</sup>研究冷藏条件下鲜切菠萝蜜的水分迁移情况, 均证实了合适的低温条件可维持鲜切菠萝蜜的品质。Saxena 等<sup>[6,7]</sup>采用壳聚糖涂膜结合气调包装的方法处理鲜切菠萝蜜, 可将其的保藏时间增加到 35~50 d, 但处理方式过于繁琐。另有学者利用肉桂油复合涂膜<sup>[8]</sup>, 木薯淀粉—壳聚糖可食性复合膜涂膜<sup>[9]</sup>以及有机弱酸熏蒸<sup>[10]</sup>、正己醛结合反-2-己烯醛熏蒸<sup>[11]</sup>的方法处理鲜切菠萝蜜, 发现均有一定的保鲜效果, 但仍存在涂膜材料成本高和熏蒸处理时间长等问题。

近年来, 新型高效的鲜切果蔬保鲜方式不断涌现, 包括辐照、等离子体和静电场等物理保鲜, 可食性涂膜、抗褐变剂和化学消毒剂等化学保鲜方式。其中, 二氧化氯 ( $\text{ClO}_2$ ) 是一种被联合国卫生组织列为 A1 级安全新型的保鲜剂, 已被广泛应用于多种果蔬保鲜中<sup>[12-15]</sup>; DENBA+静电场保鲜是近些年来新型高效的物理保鲜技术, 操作便捷无污染, 其原理是可在冷库中制造负离子环境, 产生臭氧, 并且产生的静电波可与水分子发生共振, 使水分子活化, 从而起到降低果蔬呼吸强度, 减慢酶的活性等作用, 最终达到果蔬保鲜的效果<sup>[16,17]</sup>。目前, 上述两种保鲜方式在鲜切西兰花、藕片、鲜切桃等果蔬中已有研究, 但在鲜切菠萝

蜜保鲜上应用的相关研究比较有限, 而不同种类的果蔬其生理生化特性具有差异, 因此本研究将比较二氧化氯溶液处理联合低温和静电场联合低温保鲜技术对鲜切菠萝蜜品质的影响, 以期当前鲜切菠萝蜜保鲜的实际应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

菠萝蜜, 八成熟, 无病虫害, 产地海南; 塑料自封袋, 怀宁九天塑业有限公司; 酚酞, 天津市天新精细化工开发中心; 氢氧化钠, 天津市大茂化学试剂厂; 甲醇, 欧普森色谱级; 偏磷酸, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 磷酸氢二铵, 天津市瑞金特化学品有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Ultra Scan VIS 型全自动色差仪, 美国 Hunter Lab 公司; TA-Xt.PLUS 物性分析仪, 英国 Stable Micro System 公司; S230-K 台式电导率仪, 梅特勒托利多科技有限公司; PB-10 型 pH 计, 赛多利斯公司; RFM3400 阿贝折光仪, 英国 Bellingham+Stanley 公司; LC-20AT 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; 精益冷库结合 DENBA 2.0 电场。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

将一整个带皮菠萝蜜置于 50 mg/L  $\text{ClO}_2$  溶液中浸泡 10 min, 清水清洗表皮, 沥干水分, 再将其切开, 取出完整无损伤的果肉 (含种子)。一组直接用无菌水清洗果肉, 冷风吹干, 塑料自封袋密封包装, 分别放入  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  普通冷库 (对照组) 和 740 V  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  静电场冷库贮藏 (标记为试验组 1); 另一组则用 50 mg/L  $\text{ClO}_2$  溶液中浸泡 10 min, 取出用无菌水清洗, 冷风吹干, 包装,  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  普通冷库贮藏 (标记为试验组 2)。以上处理组均每隔 2 d 取样测试。

#### 1.3.2 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[18]</sup>进行测定。

表1 鲜切菠萝蜜贮藏期间感官评价表

Table 1 Sensory evaluation table of fresh-cut jackfruit during storage

指标	级别	感官评价	评分/分
外观 (25分)	I级	亮黄色, 有光泽, 无汁液外渗	20~25
	II级	黄色, 部分区域颜色加深, 有汁液渗出	10~19
	III级	暗黄色, 褐变明显, 汁液渗出, 出现斑点	0~9
质地 (25分)	I级	果肉水分充足, 硬度适宜, 表面干爽	20~25
	II级	果肉较软, 硬度一般, 表面轻微发黏	10~19
	III级	果肉质地变软, 表面黏度大, 出现腐烂	0~9
气味 (25分)	I级	有菠萝蜜特有的果香, 无异味	20~25
	II级	香气较淡, 无异味	10~19
	III级	无香味, 有异味	0~9
总体可接受性 (25分)	I级	可接受性高	20~25
	II级	可接受性一般	10~19
	III级	可接受性差	0~9

### 1.3.3 感官评价

感官评价参考文献<sup>[4]</sup>的方法并稍作修改。由10名经过培训的评价员对经过处理的鲜切菠萝蜜从4个方面进行综合评价, 取平均分, 满分为100分, 评分标准见表1, 结果以平均值表示。

### 1.3.4 色泽的测定

使用色差仪测试, 每组样品随机取6片不同区域, 每片测三次, 取平均值。色差值以  $L^*$  (光泽度)、 $a^*$  (红色/绿色)、 $b^*$  (黄色/蓝色) 表示, 总色差  $\Delta E^*$  计算公式为:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (1)$$

式中:

$\Delta E^*$ ——总色差;

$L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$ ——新鲜菠萝蜜果肉色差值。

### 1.3.5 硬度的测定

参考文献<sup>[5]</sup>的方法并稍加修改。使用物性分析仪对样品进行TPA质构测试, 采用P/36R探头, 质构测试条件如下: 测前速度为2.00 mm/s、测试速度为0.5 mm/s、测后速度为2.00 mm/s、测试距离为3.00 mm、测试时间为5 s、力度为5 g。

### 1.3.6 可溶性固形物含量的测定

菠萝蜜果肉切块, 加入等量蒸馏水, 放入高速组织捣碎机中捣碎, 得到菠萝蜜匀浆, 再用四层纱布滤出汁液, 取滤液, 用阿贝折光仪进行测定。

### 1.3.7 可滴定酸含量的测定

取1.3.6的菠萝蜜匀浆5 g, 蒸馏水定容至50 mL, 静置30 min后5 000 r/min离心10 min, 取10 mL上清液于三角瓶中, 加2滴  $m=1\%$  酚酞指示剂, 用已标

定的0.01 mol/L氢氧化钠溶液滴定至微红色30 s不褪色, 记录消耗滴定液的体积 (以苹果酸作为换算系数计算结果)。

### 1.3.8 相对电导率

参考 Xu 等<sup>[19]</sup>的方法并稍加修改, 取2 g 菠萝蜜果肉, 用蒸馏水清洗表面, 加入50 mL去离子水, 震荡1 h, 使用电导率仪测定电导率  $P_1$ , 加热煮沸10 min, 冷却, 测定电导率  $P_2$ 。相对电导率计算公式如下:

$$P = \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$P$ ——样品的相对电导率, %;

$P_1$ ——样品溶液蒸煮前的电导率,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

$P_2$ ——样品溶液蒸煮后的电导率,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

### 1.3.9 维生素C含量的测定

参照 Zou 等<sup>[20]</sup>的方法并稍加修改, 采用高效液相色谱仪进行测定。取1 g 菠萝蜜果肉, 加液氮用研钵研碎, 加3 mL 0.3% ( $m/V$ )  $\text{HPO}_3$  超声20 min提取, 10 000 r/min离心10 min, 取上清液过0.22  $\mu\text{m}$ 滤膜, 得到测试样品。色谱条件如下: C18 色谱柱 (4.6  $\times$  250 mm, 5  $\mu\text{m}$ ), 柱温为30  $^\circ\text{C}$ ; 二极管阵列检测器 (DAD), 检测波长为254 nm, 流动相为pH值2.7的0.1% ( $m/V$ ) 的  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , 流速为1 mL/min, 进样量为10  $\mu\text{L}$ 。

## 1.4 数据统计与分析

所有试验均重复三次进行, 数据以平均值  $\pm$  标准差的方式表示; 采用 Origin 2019b 软件作图, SPSS 26 软件进行显著性分析,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜菌落总数的比较

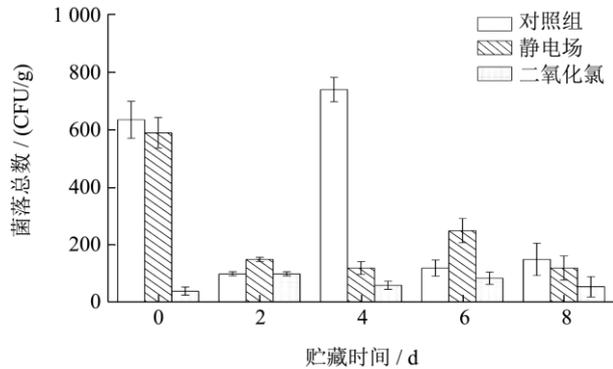


图1 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜菌落总数的比较

Fig.1 Comparison of total bacterial count of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

不同保鲜方式对鲜切菠萝蜜菌落总数的变化情况



图2 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜外观的比较

Fig.2 Comparison of the appearance of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

### 2.3 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜感官品质的比较

感官评价可直观反映消费者对鲜切菠萝蜜品质的接受度。经过8d的贮藏后,不可避免的是,三组样品的感官评价得分与0d的样品相比均显著( $P<0.05$ )下降。在外观上,三组样品得分差异显著( $P<0.05$ ),外观得分静电场组>对照组>二氧化氯溶液处理组,这与图片呈现的结果一致。在质地和气味上,对照组与静电场组无显著差异,表面轻微发黏,但未发生明显软化现象,香气较淡但无异味,二氧化氯溶液处理组得分最低,果肉表面较黏,质地变软,菠萝蜜气味加重并有异味出现。在整体的可接受度方面,对照组与静电场组的得分处在I级与II级的

如图1所示,在8d的贮藏期内,随着贮藏时间的延长,对照组、静电场组和二氧化氯溶液处理组的菌落总数未表现出明显的规律性。从整个贮藏期来分析,抑菌效果为二氧化氯溶液处理组>静电场组>对照组,三组样品菌落总数均小于 $1.0\times 10^3$  CFU/g,仍在可接受范围内( $1.0\times 10^6$  CFU/g)<sup>[21]</sup>。田春美<sup>[9]</sup>使用木薯淀粉/壳聚糖可食性复合膜处理鲜切菠萝蜜,在贮藏第9天时的菌落总数介于 $1.0\times 10^2\sim 1.0\times 10^3$  CFU/g之间,这说明二氧化氯溶液处理和静电场保鲜在控制微生物污染上与木薯淀粉/壳聚糖涂膜处理具有相似的效果。

### 2.2 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜外观的比较

鲜切菠萝蜜的外观可以直接体现其商品价值。如图2所示,新鲜的菠萝蜜颜色亮黄,有光泽;在贮藏期间,三种不同保鲜方式的样品均未产生霉变,但光泽均有所下降。在贮藏8d后,静电场保鲜的样品颜色未发生明显变化,仍呈现亮黄色;对照组的样品颜色加深,发生轻微褐变;二氧化氯溶液处理的样品颜色加深最明显,由亮黄色逐渐转变为深黄色。

范围内,无显著差异;三组样品中,二氧化氯溶液处理组的整体可接受度最低。综上,鲜切菠萝蜜在静电场中感官评价最好。

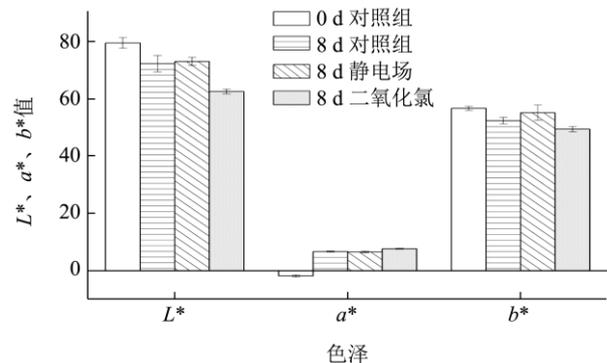


图3 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜色泽的比较

Fig.3 Comparison of color of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

表 2 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜贮藏期间感官评价

**Table 2 Sensory evaluation of fresh-cut jackfruit during storage under different preservation methods**

贮藏时间/d	保鲜方式	外观 (25 分)	质地 (25 分)	气味 (25 分)	整体可接受性 (25 分)
0	对照组	23.19±0.82 <sup>a</sup>	22.68±0.86 <sup>a</sup>	23.75±1.25 <sup>a</sup>	23.81±0.45 <sup>a</sup>
8	对照组	15.83±0.96 <sup>c</sup>	18.75±1.16 <sup>b</sup>	19.22±2.40 <sup>b</sup>	18.54±1.82 <sup>b</sup>
8	静电场	19.37±2.12 <sup>b</sup>	19.69±2.09 <sup>b</sup>	21.09±1.82 <sup>b</sup>	18.85±3.05 <sup>b</sup>
8	二氧化氯	13.02±2.13 <sup>d</sup>	14.84±2.26 <sup>c</sup>	17.34±4.03 <sup>c</sup>	15.10±2.29 <sup>c</sup>

注: a、b、c 表示同一列各数值之间的差异性显著 ( $P<0.05$ )。

### 2.4 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜色泽的比

鲜切菠萝蜜在贮藏 8 d 后,  $L^*$ 值和  $b^*$ 值下降,  $a^*$ 值上升, 这一趋势与 Rana 等<sup>[22]</sup>的结果一致。对照组、静电场组和二氧化氯溶液处理组的  $\Delta E^*$ 分别为 11.97、10.66 和 20.70, 表明静电场组的鲜切菠萝蜜色差变化最小, 二氧化氯溶液处理组的色差变化最大。鲜切菠萝蜜的初始  $L^*$ 值和  $b^*$ 值为 79.35 和 56.59, 8 d 后, 对照组、静电场组和二氧化氯溶液处理组的样品  $L^*$ 值均显著 ( $P<0.05$ ) 下降, 分别为 72.14、72.92 和 62.46。与此同时, 静电场组的样品  $b^*$ 值为 55.05, 和初始值相比无显著差异, 而对照组和二氧化氯溶液处理组均显著 ( $P<0.05$ ) 下降至 52.25 和 49.31, 这说明静电场保鲜对鲜切菠萝蜜的黄颜色维持较好。 $a^*$ 值表示有色物质的红绿偏向, 样品的初始  $a^*$ 值为-1.84, 在贮藏 8 d 后, 所有样品颜色均向红色偏移, 对照组和静电场组  $a^*$ 值增加至 6.67 和 6.52, 二氧化氯溶液处理组为 7.65, 在所有样品中最高, 这表明鲜切菠萝蜜颜色加深与  $a^*$ 值关系密切。

### 2.5 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜硬度的比较

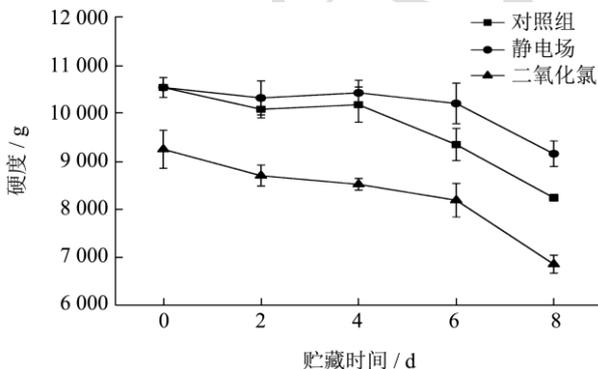


图 4 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜硬度的比较

Fig.4 Comparison of hardness of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

软化是贮藏过程中水果品质下降的主要因素, 因此硬度指标在一定程度上可以反映果实的新鲜度<sup>[23]</sup>。如图 4 所示, 鲜切菠萝蜜经过二氧化氯溶液浸泡处理后, 初始硬度值低于未处理组, 这可能是浸泡过程中,

由于渗透压的作用, 果肉吸收了外界的水分而变软。整个贮藏期间, 鲜切菠萝蜜硬度呈下降趋势, 0~4 d 内三组样品硬度缓慢降低, 4 d 后对照组和二氧化氯溶液处理组样品硬度降低速率加快, 静电场组样品硬度降低速率相对缓慢。对照组、静电场组和二氧化氯溶液处理组的硬度损失率分别为 21.84%、13.12% 和 25.92%, 表明静电场可以有效减缓鲜切菠萝蜜的硬度下降, 这可能是因为外加静电场可产生一种特殊的电磁静电波, 可使鲜切菠萝蜜内的水分子发生共振, 使得水与酶的结合态发生改变, 进而使酶失活, 最终降低了细胞壁内果胶的溶解<sup>[24]</sup>。

### 2.6 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜可溶性固形物含量的比较

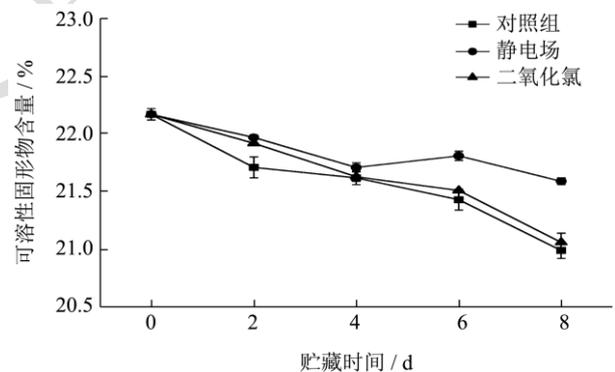


图 5 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜可溶性固形物含量的比较

Fig.5 Comparison of total soluble solids content of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

可溶性固形物是果蔬中可溶性糖类、酸、维生素等物质的总称, 是评价保鲜效果的指标之一。如图 5 所示, 随着贮藏时间的延长, 对照组和二氧化氯溶液处理组样品可溶性固形物含量从初始的 22.17% 分别降至 20.99% 和 21.06%, 两组样品的下降趋势无显著差异 ( $P<0.05$ ); 静电场组样品在第 4 天后, 可溶性固形物含量下降速度显著 ( $P<0.05$ ) 减缓, 第 8 天的样品可溶性固形物含量比对照组高 0.60%。可溶性固形物含量减少与糖类的减少密切相关, 而糖是呼吸作用所消耗的第一类物质<sup>[25]</sup>, 结合试验结果分析可

得, 静电场保鲜可抑制鲜切菠萝蜜的呼吸作用, 延缓其可溶性固形物含量降低, 这对营养物质保留具有积极作用。

### 2.7 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜可滴定酸的比较

鲜切菠萝蜜可滴定酸含量变化如图 6 所示, 随着贮藏时间增加, 由于细胞的呼吸作用和微生物生长繁殖, 鲜切菠萝蜜的酸度增大, 可滴定酸含量均升高。对照组的可滴定酸含量从贮藏第 6 天开始, 与静电场组和二氧化氯溶液处理组出现显著差异 ( $P < 0.05$ ), 在三组样品组中处于最高水平。这可能是由于静电场和二氧化氯溶液的抑菌作用, 减缓了可滴定酸含量的增加。有学者利用 UV-C 处理鲜切胡萝卜<sup>[26]</sup>, 可食性材料涂膜鲜切哈密瓜后冷藏保鲜<sup>[27]</sup>, 也得到趋势相近的结论。在贮藏 8 d 后, 两种不同处理组的菠萝蜜可滴定酸含量无显著性差异, 说明静电场和二氧化氯溶液处理均能延缓贮藏过程中果实的腐烂。

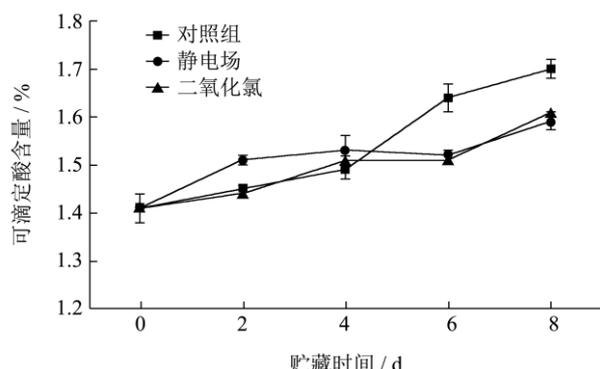


图 6 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜可滴定酸含量的比较  
Fig.6 Comparison of titratable acid content of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

### 2.8 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜相对电导率的比较

果蔬贮藏过程中, 细胞膜发生损伤, 导致细胞内的电解液外泄增强, 因此相对电导率可以用来衡量细胞膜的完整性<sup>[28]</sup>。由图 7 所示, 在贮藏期间不同处理组鲜切菠萝蜜的相对电导率均随贮藏时间的延长而上升。相对电导率按从大到小顺序为: 二氧化氯溶液处理组 > 对照组 > 静电场组, 即二氧化氯溶液处理过后的样品其细胞膜受损最为严重, 其次是对照组的样品。静电场组的相对电导率在贮藏 4 d 后增长速率减缓,

这表明静电场保鲜有利于维持细胞膜的完整性, 与孟晓曼等<sup>[29]</sup>的研究一致。

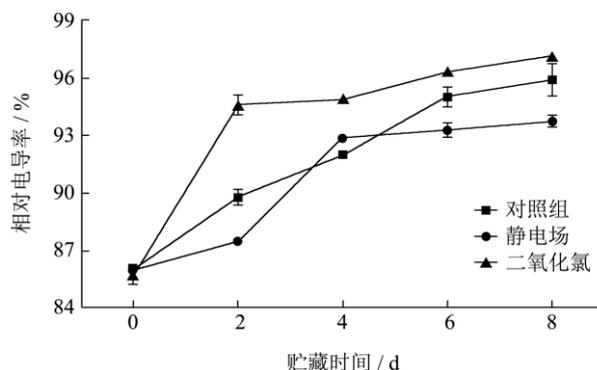


图 7 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜相对电导率的比较

Fig.7 Comparison of relative conductivity of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

### 2.9 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜维生素 C 含量的比较

维生素 C (Vitamin C, Vc) 是果蔬中的一种水溶性维生素, 具有抗氧化的功能, 在维持果蔬品质上起到重要作用<sup>[30]</sup>。不同保鲜方式对鲜切菠萝蜜 Vc 含量的影响如图 8 所示, 0~8 d 内, 对照组、静电场组和二氧化氯溶液处理组的样品 Vc 含量无显著差异, 在 5.66~7.24 mg/100 g 中小范围波动。这表明在抑制鲜切菠萝蜜 Vc 的损失方面低温条件起着重要的作用, 而二氧化氯溶液处理和外加静电场在短期保藏 (0~8 d) 上对 Vc 的保护作用还未凸显。李海波等<sup>[24]</sup>在低压静电场协同低温对杨梅保鲜的研究中发现静电场有利于保持 Vc 的含量, 与本试验结果存在差异, 这可能与样品种类不同有关。

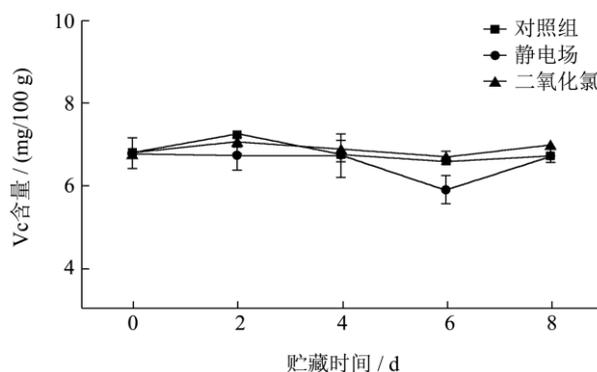


图 8 不同保鲜方式下鲜切菠萝蜜维生素 C 含量的比较

Fig.8 Comparison of vitamin C content of fresh-cut jackfruit under different preservation methods

### 3 结论

菠萝蜜果肉芳香可口、营养丰富,具有降血压、利尿、抗氧化、促进伤口愈合等作用,深受消费者的喜爱。但菠萝蜜因采后呼吸旺盛,易腐烂,不耐贮藏的特点,容易造成果品严重浪费。且如今的“快节奏”生活方式,人们更希望能够“随时随地”的品尝美味,以鲜切的形式销售菠萝蜜果肉恰好迎合了消费者的需求,具有广阔的市场发展潜力。本研究以鲜切菠萝蜜为试验对象,比较了静电场联合低温和二氧化氯溶液处理联合低温这两种保鲜方式下,鲜切菠萝蜜品质的变化情况。结果表明:在8 d贮藏期内,静电场联合低温保鲜可显著( $P<0.05$ )延缓鲜切菠萝蜜的色泽变化;与对照组相比,贮藏4 d后,静电场联合低温保鲜可显著( $P<0.05$ )抑制硬度、可溶性固形物的下降,可滴定酸、相对电导率的上升。二氧化氯液处理可减缓鲜切菠萝蜜的可滴定酸上升,但对鲜切菠萝蜜的外观、色泽、硬度和相对电导率具有负面影响。两种保鲜方式对鲜切菠萝蜜的维生素C含量影响在8个贮藏日内,无显著差异;鲜切菠萝蜜的菌落总数仍在可接受范围内。综合各品质指标对比得出,鲜切菠萝蜜在静电场联合低温的条件下贮藏,能维持良好的品质,对鲜食菠萝蜜市场的扩大具有积极意义。

### 参考文献

- [1] Ranasinghe R, Maduwanthi S D T, Marapana R. Nutritional and health benefits of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): A review [J]. International Journal of Food Science, 2019, 6: 4327183.
- [2] 苏兰茜,白亭玉,吴刚,等.菠萝蜜栽培研究现状及发展趋势[J].热带农业科学,2019,39(1):10-5,41.
- [3] 胡叶静,李保国,张敏,等.鲜切果蔬保鲜技术及方法研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(22):276-81.
- [4] 曾丽萍,范红雁,张茂霞,等.不同贮藏温度对鲜切菠萝蜜生化品质的影响[J].江西农业学报,2018,30(5):28-32.
- [5] 梅成铭.鲜切菠萝蜜常温和低温贮藏期间品质变化研究[D].海口:海南大学,2020.
- [6] Saxena A, Saxena T M, Raju P S, et al. Effect of controlled atmosphere storage and chitosan coating on quality of fresh-cut jackfruit bulbs [J]. Food Bioprocess Technology, 2013, 6(8): 2182-2189.
- [7] Saxena A, Bawa A S, Raju P S. Phytochemical changes in fresh-cut jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) bulbs during modified atmosphere storage [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1443-1449.
- [8] 齐红蓉,田建文,张彦军,等.肉桂油复合涂膜对鲜切菠萝蜜果苞贮藏期间品质的影响[J].食品与机械,2020,36(4):126-31,201.
- [9] 田春美.木薯淀粉/壳聚糖可食复合膜性能及在鲜切菠萝蜜中的应用研究[D].海口:华南热带农业大学,2007.
- [10] Pothimon R, Podjanee U, Krusong W, et al. Inhibition of *Pantoea agglomerans* contamination of fresh-cut jackfruit by exposure to weak organic acid vapors [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 139: 110586.
- [11] 张智毅.正己醛结合反-2-己烯醛熏蒸鲜切菠萝蜜保鲜技术研究[D].海口:海南大学,2014.
- [12] 刘云飞,纪海鹏,陈存坤,等.二氧化氯对香梨贮藏后期品质保持效果的研究[J].包装工程,2020,41(5):1-7.
- [13] 孔方南,李文砚,罗培四,等.二氧化氯对木奶果保鲜效果的影响[J].保鲜与加工,2021,21(2):20-7.
- [14] 董晓庆,朱守亮,张文娥,等.二氧化氯处理对鲜食泡核桃保鲜效果的影响[J].经济林研究,2021,39(4):230-238.
- [15] 邓浩,张容鹤,吴广,等.CIO<sub>2</sub>缓释剂的制备及对龙眼保鲜效果综合评价[J].食品与发酵工业,2023,49(6):149-155.
- [16] 魏国平,冯志刚,熊双丽,等.DENBA+静电场猪肉保鲜效果研究[J].现代食品,2019,23:99-102,5.
- [17] 王伟强,董丹华.DENBA+静电波保鲜技术应用浅析[J].新疆农机化,2017,2:25-27.
- [18] GB 4789.2-2016,食品微生物学检验菌落总数测定[S].
- [19] Xu F, Lu F, Xiao Z, et al. Influence of drop shock on physiological responses and genes expression of apple fruit [J]. Food Chemistry, 2020, 303: 125424.
- [20] Zou Y, Yu Y, Cheng L, et al. Effects of curcumin-based photodynamic treatment on quality attributes of fresh-cut pineapple [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 141(3): 110902.
- [21] Azarakhsh N, Osman A, Ghazali H M, et al. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 88: 1-7.
- [22] Rana S S, Pradhan R C, Mishra S. Image analysis to quantify the browning in fresh cut tender jackfruit slices [J]. Food Chemistry, 2019, 278: 185-189.
- [23] 钟秋夏,郑海英,朱燕丽,等.百里香酚微胶囊的制备及其对草莓的保鲜效果[J/OL].食品科学.<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220621.1608.033.html>
- [24] 李海波,谢超,梁瑞萍,等.基于低压静电场技术(LVEF)协同低温对舟山杨梅保鲜过程中品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(7):265-270.

- [25] Koh P C, Noranizan M A, Hanani Z A N, et al. Application of edible coatings and repetitive pulsed light for shelf life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L. *reticulatus* cv. *Glamour*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 129: 64-78.
- [26] 李丽,易萍,唐杰,等.UV-C 处理对鲜切胡萝卜低温下贮藏保鲜效果的研究[J].*中国食品添加剂*,2021,32(7):23-29.
- [27] 王艳,汤卫东,张亮.壳聚糖+植酸复合涂膜对鲜切哈密瓜保鲜效果的影响[J].*食品科技*,2022,47(4):48-53.
- [28] Zhao X X, Xia M, Wei X P, et al. Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2019, 109: 207-215.
- [29] 孟晓曼,孙亚男,程儒杨,等.低压静电场/真空协同保鲜对白玉菇采后品质和抗氧化代谢的影响[J].*食品科学*,2022,43(23):72-81.
- [30] Li H, Li X L, Wang R R, et al. Quality of fresh-cut purple cabbage stored at modified atmosphere packaging and cold-chain transportation [J]. *International Journal of Food Properties*, 2020, 23(1): 138-153.