

超声波-气调联合处理对番茄、丝瓜混合贮藏保鲜效果的影响

章潇天¹, 张 慜^{*1}, 过志梅²

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 无锡海核装备科技有限公司, 江苏 无锡 214191)

摘要: 以粉红熟番茄、丝瓜为试验材料, 研究不同超声波时间对番茄、丝瓜硬度的影响。探究 O₂ 体积分数(3%、6%)和 CO₂ 体积分数(2%、4%、6%)交叉复配后不同气体组分对番茄、丝瓜混合贮藏硬度和感官的影响。在优化了超声处理时间和气体组成的基础上, 对比冷藏、气调处理、超声波处理以及超声波-气调联合处理 4 种保鲜方式对番茄、丝瓜混藏品质的影响。结果表明: 超声时间 5 min 对番茄、丝瓜硬度的保持最为有效; 番茄、丝瓜在气体组分(体积分数)6% O₂、4% CO₂、90% N₂ 下贮藏至 21 d 时, 硬度最大, 感官评分最高; 超声波-气调联合保鲜组番茄和丝瓜失重率的增加、丙二醛(MDA)的积累以及呼吸的变化均较其他方式缓慢, 番茄滋味与新鲜番茄最接近, 丝瓜气味与冷藏相比差异明显。因此超声波-气调联合处理有利于番茄、丝瓜混藏品质的保持。

关键词: 番茄; 丝瓜; 超声波-气调联合处理; 混藏; 品质

中图分类号: TS 255.3 文章编号: 1673-1689(2020)12-0062-09 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.12.010

Effect of Ultrasound Combined with Modified Atmosphere Packaging on Preservation Quality of Tomato and Loofah Mixed Storage

ZHANG Xiaotian¹, ZHANG Min^{*1}, GUO Zhimei²

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi Haihe Equipment Technology Co., Ltd., Wuxi 214191, China)

Abstract: The effect of different ultrasound time on the hardness of tomato and loofah was investigated. The hardness and sensory of tomato and loofah during storage were studied by cross-matching different gas compositions, i.e., O₂ with concentration of 3%, 6% and CO₂ with concentration of 2%, 4%, 6%. After the optimization of ultrasound time and gas composition of modified atmosphere packaging (MAP), the preservation of tomato and loofah mixed storage was evaluated via cold storage, MAP, ultrasound treatment (UT) and ultrasound treatment combined with modified atmosphere packaging (UTMAP). The results showed that 5 min of ultrasound time was most effective in maintaining the hardness of tomatoes and melons. The highest hardness and sensory score were achieved when stored under 6% O₂, 4% CO₂ and 90% N₂ for 21 d. The increase of weight

收稿日期: 2019-01-23

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2018YFD0700303)。

* 通信作者: 张 慜(1962—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事生鲜食品加工、贮藏保鲜机理和工程方面研究。

E-mail: min@jiangnan.edu.cn

loss, the accumulation of malondialdehyde(MDA) and the change of respiration in tomato and loofah mixed storage under UTMAP were slower than those stored under other treatments, exhibiting similar taste with fresh tomato while the flavor of loofah was significantly different from that of cold storage. The UTMAP is therefor much effective than UT alone or MAP alone for tomato and loofah mixed storage.

Keywords: tomato, loofah, combined ultrasonication and modified atmosphere packaging, mixed storage

蔬菜营养丰富,是船员远洋航行中必不可少的饮食需求。但随着航行时间的增加,果蔬新鲜度逐渐下降,无法满足航行全程中船员的蔬菜需求。另外,由于船舶空间有限,船员可以吃到的蔬菜种类也有限,因此蔬菜混合贮藏保鲜有着广阔的应用前景^[1]。果蔬呼吸产生乙烯气体,造成水分损失,肉质软化,保鲜期缩短^[2]。可见混藏的主要问题在于多品种蔬菜呼吸作用产生的乙烯积累,且易造成病原微生物的交叉感染。目前关于蔬菜混藏的研究较少^[3-4]。而关于番茄、丝瓜的混藏试验尚未有报道。

番茄果实酸甜可口,丝瓜生津止渴、顺气健脾。番茄、丝瓜中维生素C含量丰富,多食有助于降低血清胆固醇^[5],是夏季常食蔬菜,在船舶航行中也能提供船员必需的营养和美味。番茄水分含量大、果皮薄软怕挤压,属于喜温性果实,低于12℃贮藏易受冷害,高温对番茄的后熟有促进作用,贮藏保鲜比较困难^[6]。丝瓜低于11℃贮藏也易受冷害,瓜条变软。因此冷藏12~14℃为宜^[5]。

超声波作为一种非热技术,可产生强烈的机械作用和空化作用,用于果蔬清洗除尘。超声波空化产生的局部高温高压和高剪切力打破细胞壁和膜结构,破坏微生物细胞,起到杀菌作用^[7]。此外,有研究表明超声波处理采后果蔬可以改善其质地特性和理化品质^[7]。超声波保鲜方法条件温和、安全、清洁且无副作用,近年来在果蔬保鲜领域得到快速发展。张福平等^[8]评估了超声波结合气调包装对番石榴保鲜的影响,与无处理相比,超声波处理10 min结合气调包装将番石榴的贮藏期延长了12 d。黄利强等^[9]将超声波处理结合气调包装应用到葡萄保鲜中,得出超声5 min结合MA包装处理可降低葡萄失重和呼吸。Feng等^[10]研究了超声波结合CA对黄瓜品质的影响,研究表明联合处理能有效保护黄瓜细胞膜并抑制水分的流动。

作者将超声波技术应用于采后番茄、丝瓜混合贮藏保鲜,同时与气调包装联合,对比冷藏,研究贮藏期内联合技术的保鲜效果,旨在降低成本、船运能耗和船舶使用空间的同时,保持混合蔬菜良好的保鲜品质,以为果蔬混合贮藏提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

番茄、丝瓜:购买于无锡市滨湖雪浪菜市场,选用无机械损伤的粉红熟番茄与丝瓜;气调包装袋(高密度聚乙烯袋(HDPE),尺寸70 cm×80 cm,厚度35 mm);深圳市创信包装材料有限公司产品。

1.2 实验设备

KK180气调包装机:苏州市凯康机械设备有限公司产品;JY98-3D超声波清洗仪:浙江宁波超声机械设备有限公司产品;UV-2600紫外分光光度计:上海天美科学仪器有限公司产品;SIGMA2-16K低温高速离心机:德国西格玛公司产品;NMI120低场核磁分析仪:上海纽迈电子科技有限公司产品;GY-1型硬度计:广州市华智仪器仪表有限公司产品。

1.3 实验设计

1.3.1 超声波处理时间优化试验 分别用超声波(频率20 kHz,输出功率180 W)处理番茄5 min和10 min,晾干后置于冷库中(12±1)℃贮藏,以蒸馏水浸泡番茄5 min为对照;分别用超声波(频率20 kHz,输出功率300 W)处理丝瓜5 min和10 min,晾干后置于冷库中(12±1)℃贮藏,以蒸馏水浸泡丝瓜5 min为对照;优化超声波处理番茄和丝瓜的时间。

1.3.2 番茄、丝瓜混藏气调试验 将番茄、丝瓜分6组混藏,充气(第1组(体积分数):3%O₂、2%CO₂、95%N₂;第2组(体积分数):3%O₂、4%CO₂、93%N₂;第3组(体积分数):3%O₂、6%CO₂、91%N₂;第4组

(体积分数):6%O₂、2%CO₂、92%N₂;第5组(体积分数):6%O₂、4%CO₂、90%N₂;第6组(体积分数):6%O₂、6%CO₂、88%N₂),置于冷库中(12±1)℃贮藏,每组番茄、丝瓜各1 kg,总质量2 kg。本次实验共6组,每组3个平行,优化混藏的气体组分。

1.3.3 超声波-气调联合处理保鲜试验 在超声波试验和混藏气调试验的基础上,设置:

1)冷藏组 将番茄和丝瓜混放于筐中(长×宽×高:40 cm×30 cm×10 cm),置于冷库中(12±1)℃贮藏。

2)超声组 分别用频率20 kHz,输出功率180 W和300 W的超声波处理番茄和丝瓜5 min,晾干后混放于筐中(长×宽×高:40 cm×30 cm×10 cm),置于冷库中(12±1)℃贮藏。

3)气调贮藏组 将番茄和丝瓜混置于HDPE气调袋中,充入初始气体比例(体积分数)6%O₂、4%CO₂、90%N₂后封口置于冷库中(12±1)℃贮藏;

4)超声-气调联合保鲜组 分别用频率20 kHz,输出功率180 W和300 W的超声波处理番茄和丝瓜5 min,晾干后混置于HDPE气调袋中充入(体积分数)6%O₂、4%CO₂、90%N₂后封口,置于冷库中(12±1)℃贮藏。

本次实验中共4个处理,每个处理3个平行,分别测定各项指标。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 失重率 采用差量法^[3]测定各实验组失重率:

$$M = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

式中, M 为失重率,%; m_0 为初始质量,g; m_1 为最终质量,g。

1.4.2 硬度 采用GY-1型手持硬度计测量,单位以N表示。

1.4.3 呼吸强度 采用静置法,参照曹健康《果蔬采后生理生化实验指导》中静置碱液吸收法,结果以 H 表示,单位为mg/(kg·h)表示。

1.4.4 抗坏血酸质量分数 参照国标GB5009.86—2016,采用2,6-二氯酚酚滴定法,滴定终点为溶液呈微红色,结果以 K 表示,单位为mg/hg表示。

1.4.5 丙二醛(MDA)质量摩尔浓度 采用硫代巴比妥酸法测定^[4],结果以 Q 表示,单位为μmol/kg表示。

1.4.6 感官评定 选择7名具有专业知识的人员分别对番茄和丝瓜评分再取平均值。表1—2为参考有关文献制定的具体感官评分标准^[5,12-13]。

表1 番茄感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of tomato

感官指标	等级(评分)				
	I(10分)	II(7分)	III(5分)	IV(3分)	V(1分)
新鲜度	新鲜	轻度失水	花萼端裂开	花萼端开始腐烂	严重失水腐烂
冷害	果实完好	果皮表面有凹斑	果皮表面有褐色小斑点	花萼端有大斑点	花萼端开始腐烂
气味	清香味	香气淡	无香气	略有异味	有腐烂味
硬度	果实硬度大	硬度较大	硬度一般,局部软化	大面积软化	完全软化
整体接受度	完全接受	较好	一般	较差	不能接受

表2 丝瓜感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standard of loofah

感官指标	等级(评分)				
	I(10分)	II(7分)	III(5分)	IV(3分)	V(1分)
新鲜度	新鲜	轻度失水	瓜条头尾部失水	瓜条头尾部腐烂	严重失水,瓜条完全腐烂
冷害	瓜条硬挺	瓜条头尾部变软	瓜身变软	瓜条大面积变软	瓜条完全软化断裂
气味	清香味	香气淡	无香气	略有异味	有腐烂味
硬度	瓜条完好	瓜条变软	瓜条出现暗黑色水渍	大面积暗条水渍	水渍处凹陷腐烂
整体接受度	完全接受	较好	一般	较差	不能接受

1.4.7 低场核磁共振(LF-NMR)分析 对于丝瓜,每次测试取约2.6 g的去皮丝瓜样品。CPMG脉冲序列被用来获得衰变信号。信号采集的主要参数如

下:TW(时间等待)=3 000 ms,TE(时间回波)=1 ms,NECH(回波数)=9 000,NS(扫描次数)=16。

1.4.8 电子鼻分析 取样品4 g,置于电子鼻专用

样品瓶中,室温下密封放置 30 min,待样品挥发性成分积累到一定浓度并充满样品测试瓶上部的顶空空间时,将电子鼻检测探头插入样品瓶中采集检测信号。电子鼻使用前预热 30 min,并进行清洗,每测试一个样品后,都对电子鼻检测探头进行清洗,清洗结束后进行下次的扫描。测试参数为气体流量 1 L/min,测试时间 120 s,清洗时间 120 s,每个样品平行做 4 次。结果用主成分分析图(PCA 图)和雷达图表示。在传感器阵列系统中有 14 个传感器,所代表的成分如表 3 所示。

表 3 电子鼻中不同传感器代表的风味成分

Table 3 Flavor components represented by different sensors in the electronic nose

传感器	敏感成分
S1	芳香族化合物类、醚类及酚醚,多有香辛料香气
S2	硫化物类、硫醇、硫醚、二丙烯基二硫化物、异硫氰酸酯等
S3	氢气
S4	有机酸酯和萜类为主,其次是醇、酮、酸等
S5	生物合成(萜类、酯类)加热、烘烤等,如美拉德反应生成吡嗪类香气成分、类胡萝卜素氧化降解产生茶叶香气
S6	香菇精
S7	脂肪烃含氧衍生物类
S8	氮氧化合物、氨类,低分子胺类
S9	氢类
S10	碳氢化合物
S11	挥发性有机化合物类(烷类、芳烃类、烯类、卤烃类、醛类、酮类和其他类)
S12	酒精、有机溶剂
S13	食物烹调中挥发的气体
S14	乙烯

1.4.9 电子舌分析 取样品 70 mL,分别倒入电子舌专用测试杯中,使液面低于刻度线 0.5~1 mm,机器自动测试 4 次,分析时取后 3 组实验的平均值,并转化为各味觉的响应值数值再输出。本设备的响应值具有相对意义,即只有比较才有意义,响应值的差值越大表明差异越大,正值表明该味觉比对照组强,负值则相反。

1.5 数据处理

试验数据用 OriginPro 2015 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 超声处理时间对番茄和丝瓜硬度的影响

果实硬度与其成熟度有关。由图 1 可知,番茄的硬度在贮藏过程中逐渐降低,可能是番茄成熟度增加,导致果实变软。超声处理后有效减缓了番茄硬度的下降,其中以超声处理 5 min 效果最明显,与对照组差异显著($P<0.05$)。贮藏至第 18 天,对照组、超声处理 5 min 组、超声处理 10 min 组番茄的硬度分别为 2.12、4.45、3.36 N。由此可见超声 5 min 对保持番茄的硬度最有效。

图 2 为超声处理时间对贮藏过程中丝瓜硬度的影响,超声处理 5 min 后丝瓜在贮藏期内保持最高的硬度值,与对照组差异显著($P<0.05$)。贮藏至第 14 天,对照组丝瓜硬度大幅度下降,至第 18 天,对照组、超声 5 min 组、超声 10 min 组丝瓜的硬度分别为 3.01、4.29、4.10 N。由此可得,丝瓜经超声波处理 5 min 最为有效减缓了其硬度的下降。

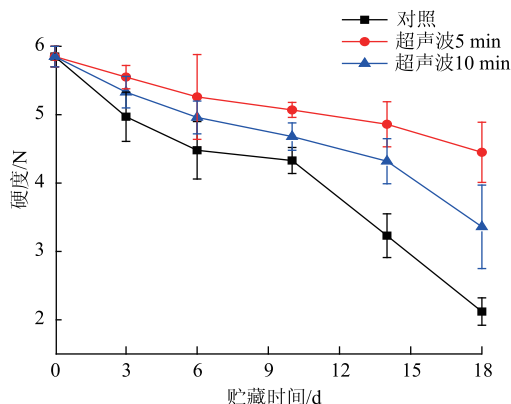


图 1 超声处理时间对番茄硬度的影响

Fig. 1 Effect of ultrasound time on tomato hardness

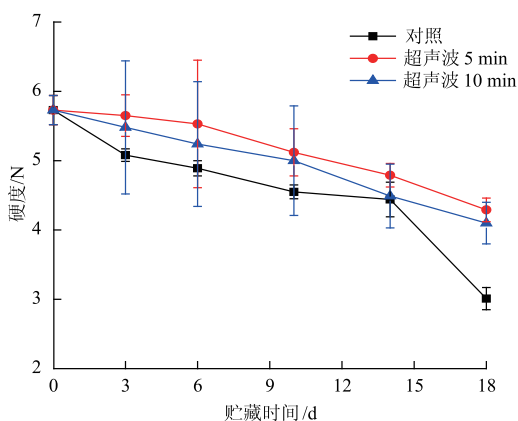


图 2 超声处理时间对丝瓜硬度的影响

Fig. 2 Effect of ultrasound time on loofah hardness

2.2 气调包装对番茄和丝瓜混藏品质的影响

表4显示了不同气体组分对贮藏至第21天的番茄硬度与感官评分的影响。结果显示,当气体组分O₂体积分数6%、CO₂体积分数4%时,番茄的硬度与感官评分值最大,且感官评分值与其他组别差异性显著($P<0.05$),说明此气体组分适宜番茄和丝瓜混藏下番茄品质的保持。果蔬在低O₂、高CO₂气调环境下有利贮藏,但O₂体积分数过低易诱发果蔬

无氧呼吸,增加失重,降低硬度与感官品质。表5为不同气体组分下贮藏至第21天时丝瓜的硬度与感官评分值。结果显示,当气体组分(体积分数)为6%O₂、4%CO₂、90%N₂时,丝瓜的硬度与感官评分值最大,且硬度值与其他组别差异性显著($P<0.05$),因此确定气体组分(体积分数)6%O₂、4%CO₂、90%N₂为番茄和丝瓜混合气调的最佳气体组成。

表4 不同气体组分对番茄果实硬度与感官的影响

Table 4 Effect of different gas composition on the hardness and sensory of tomato

组别	O ₂ 体积分数/%	CO ₂ 体积分数/%	N ₂ 体积分数/%	硬度/N	感官评分
1	3	2	95	4.62±0.04 ^a	4.30±0.63 ^{bc}
2	3	4	93	3.83±0.23 ^b	4.19±0.68 ^{cd}
3	3	6	91	3.78±0.03 ^b	3.57±0.50 ^{de}
4	6	2	92	4.66±0.06 ^a	4.93±0.47 ^b
5	6	4	90	4.79±0.24 ^a	6.77±0.45 ^a
6	6	6	88	3.49±0.09 ^c	3.34±0.74 ^e

注:不同字母代表差异性显著。

表5 不同气体组分对丝瓜硬度与感官的影响

Table 5 Effect of different gas composition on the hardness and sensory of loofah

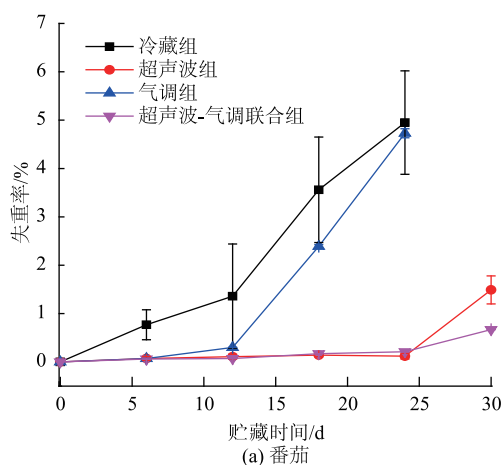
组别	O ₂ 体积分数/%	CO ₂ 体积分数/%	N ₂ 体积分数/%	硬度/N	感官评分
1	3	2	95	5.65±0.10 ^c	5.41±0.29 ^b
2	3	4	93	6.29±0.09 ^b	6.94±0.43 ^a
3	3	6	91	5.14±0.14 ^d	4.96±0.34 ^{bc}
4	6	2	92	4.73±0.08 ^e	4.46±0.49 ^c
5	6	4	90	7.15±0.05 ^a	7.39±0.51 ^a
6	6	6	88	4.84±0.04 ^e	4.86±0.68 ^c

注:不同字母代表差异性显著。

2.3 超声波-气调联合处理对失重率的影响

番茄、丝瓜混藏过程中失重率逐渐增加。失重率的增加主要由水分损失和呼吸消耗引起,其中水分损失占主要原因^[1]。由图3(a)可知,贮藏12d后,冷藏组和气调组番茄的失重率大幅度增加,贮藏24d后,失重率大于4.5%。而超声波组和联合保鲜组番茄的失重率在贮藏30d后仍低于2%,其中超声波组1.49%,联合保鲜组0.67%,与冷藏组和气调组差异性显著($P<0.05$),因此超声波处理结合气调包装的联合保鲜方式最适合此混藏状态下番茄失重率的保持。由图3(b)可知,联合保鲜组丝瓜在贮藏过程中保持最低的失重率,与冷藏组和气调组差异显著($P<0.05$)。贮藏30d后,冷藏组丝瓜失重率达6.06%,而气调组、超声波组、联合保鲜组丝瓜的失

重率分别为4.68%、3.00%、1.47%。超声波与气调联合保鲜有效减缓了混藏过程中丝瓜失重率的增加。



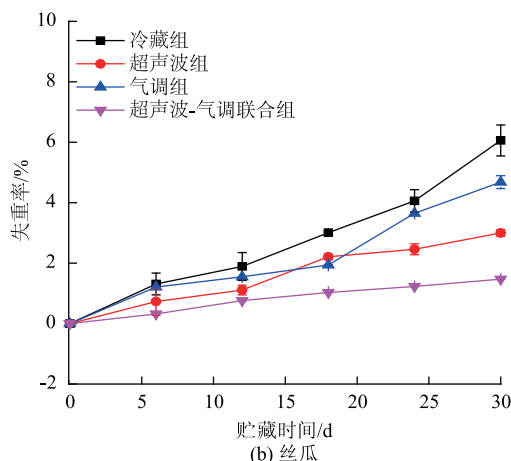


图3 超声波-气调联合处理对失重率的影响

Fig. 3 Effect of ultrasound treatment combined with MAP on weight loss rate

2.4 超声波-气调联合处理对呼吸强度的影响

果蔬的呼吸强度与代谢成正比,与品质成反比,因此呼吸强度对果蔬贮藏具有重要的指导意义^[14]。图4为番茄、丝瓜在混藏期间呼吸强度的变化情况。在贮藏前5 d,番茄、丝瓜的呼吸速率迅速下降。这主要由于蔬菜采后呼吸作用仍然旺盛,迅速置于低温环境下贮藏其呼吸作用会迅速被抑制。

番茄在成熟过程中会出现呼吸高峰,其风味和品质也会逐渐变差^[15]。从图4(a)可以看出,储藏至10~15 d,冷藏组最先出现呼吸高峰,而联合处理将番茄呼吸高峰推迟至20~25 d出现,因此,最为有效减弱了番茄的呼吸作用。

由图4(b)可得,贮藏18 d后,丝瓜的呼吸强度逐渐加强。可能是贮藏后期高体积分数的CO₂诱导丝瓜产生抗逆性生理代谢,引起呼吸增强^[2]。其中冷藏组丝瓜的呼吸强度明显高于其他处理组,而超声波-气调联合保鲜组丝瓜的呼吸强度最低,与冷藏组差异显著($P<0.05$)。说明联合保鲜对丝瓜的呼吸有一定减弱作用。

2.5 超声波-气调联合处理对丙二醛(MDA)质量摩尔浓度的影响

丙二醛是果蔬细胞膜脂过氧化产物,它的含量与细胞膜受损程度呈正相关^[16]。图5是混藏期间番茄和丝瓜MDA质量摩尔浓度的变化情况。番茄、丝瓜的MDA在贮藏过程中逐渐积累,说明细胞膜受损程度逐渐增强。贮藏30 d后,冷藏组、超声波组、气调组、超声波-气调联合组的番茄MDA质量

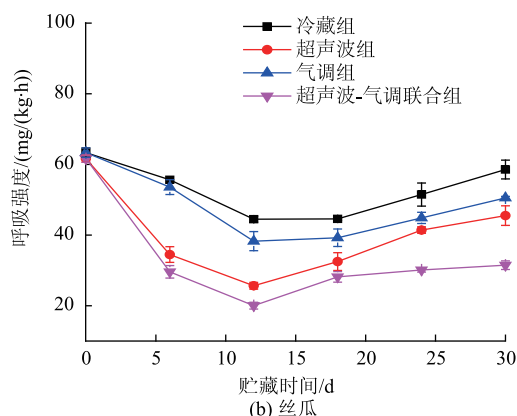
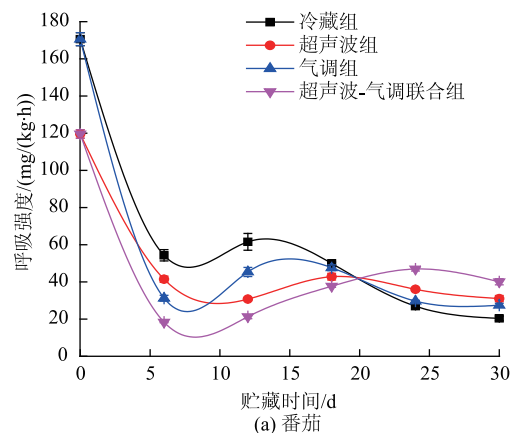


图4 超声波-气调联合处理对呼吸强度的影响

Fig. 4 Effect of ultrasound treatment combined with MAP on respiration rate

摩尔浓度分别为9.62、7.61、7.53、6.19 $\mu\text{mol/kg}$,冷藏组、超声波组、气调组、超声波-气调联合组的丝瓜MDA质量摩尔浓度分别为6.59、5.01、6.24、4.60 $\mu\text{mol/kg}$ 。对番茄和丝瓜而言,联合保鲜组与冷藏组差异显著($P<0.05$),而与气调组和超声波组差异均不显著($P>0.05$)。说明超声波和气调单一作用都一定程度减缓了细胞膜过氧化程度的增加,其中超声波联合气调保鲜最大程度降低了番茄、丝瓜贮藏过程中活性氧自由基积累导致的细胞膜损害,对蔬菜膜系统有双重保护作用。

2.6 超声波-气调联合处理对番茄抗坏血酸质量分数的影响

抗坏血酸是果蔬重要的品质指标。果蔬在贮藏过程中品质下降,抗坏血酸含量也相应下降。图6为不同处理对贮藏过程中番茄抗坏血酸质量分数的影响。超声波-气调联合处理番茄在贮藏期内保持最高的抗坏血酸含量。贮藏24 d后,冷藏组番茄的抗坏血酸质量分数为5.55 mg/hg,而贮藏至30 d

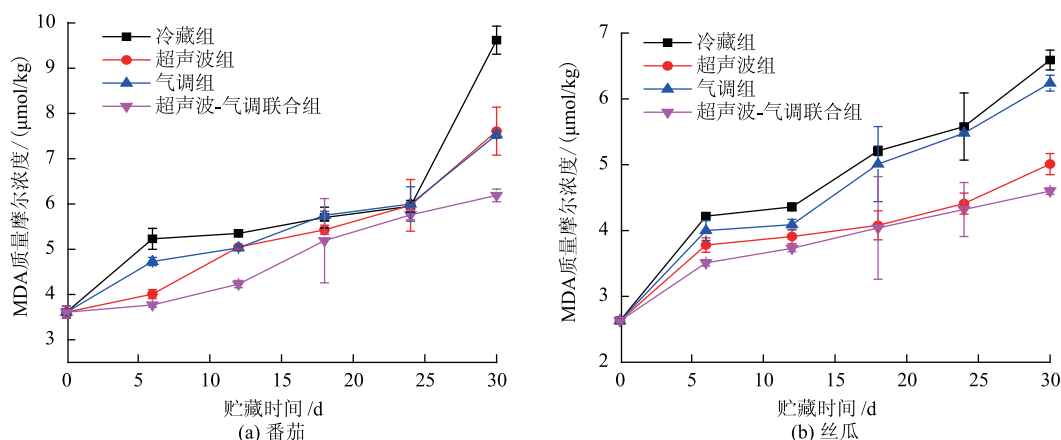


图5 超声波-气调联合处理对MDA质量摩尔浓度的影响

Fig.5 Effect of ultrasound treatment combined with MAP on MDA content

后,超声波组、气调组、联合保鲜组的番茄抗坏血酸质量分数分别为5.62、5.65、7.11 mg/hg,高于贮藏至24 d冷藏组番茄的抗坏血酸质量分数,说明超声波处理和气调均有利于混藏过程中番茄抗坏血酸含量的保持,其中,超声波-气调联合保鲜对番茄抗坏血酸含量的保存最为有利。

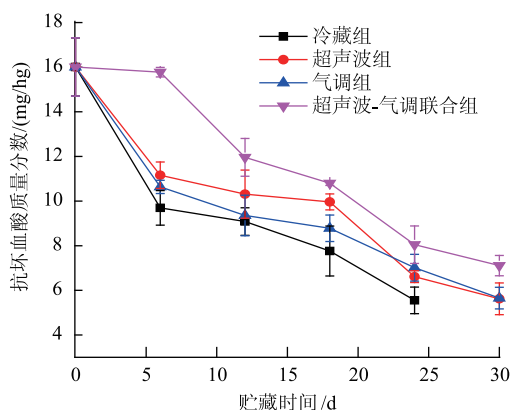


图6 超声波-气调联合处理对番茄抗坏血酸质量分数的影响

Fig. 6 Effect of ultrasound treatment combined with MAP on ascorbic acid content of tomato

2.7 超声波-气调联合处理对丝瓜水分分布的影响

图7(a)(b)分别为不同处理混藏体系中丝瓜贮藏至第18天、第30天的核磁共振图谱。果蔬贮藏过程中组织内部的水分流动性会增加,导致失水增加,品质下降^[17]。低场核磁共振图谱可以直观地观察丝瓜贮藏过程中水分状态的变化。根据横向弛豫时间的不同,丝瓜体系中的水分可以分为 T_{21} (1~10 ms), T_{22} (10~200 ms), T_{23} (200~1 000 ms), 分别代表

不同结合度和流动性的水分, T 值越大,水分流动性越强,自由度越高。 T_{23} 代表着丝瓜体系中最易失去的自由水,由图7(a)可知,在贮藏至第18天,冷藏组: T_{23} =666.99 ms; 超声波组: T_{23} =580.52 ms; 气调组: T_{23} =666.99 ms; 超声波-气调联合组: T_{23} =541.59 ms,由图7(b)可知,贮藏至第30天也得到相同的结果。即 T_{23} 值大小:冷藏组=气调组>超声波组>超声波-气调联合组,说明超声波处理可有效降低水分自由度,减少水分散失。其中,超声波-气调联合保鲜组丝瓜 T_{23} 水的自由度最低,可见联合处理使丝瓜中的 T_{23} 水与非水组分结合更紧密,水分不易失去,因此联合处理对丝瓜的保鲜效果最佳。

2.8 基于电子舌对超声波-气调联合处理下番茄的滋味分析

电子舌利用仿生技术可模拟人类味觉器官分析出酸、甜、苦、咸、鲜等味觉指标^[18]。表6为混藏第15天和第30天番茄的味觉响应值。其中酸味均大于新鲜番茄,且随着贮藏时间的增加,酸味响应值增加。冷藏组与新鲜的差异最大,处理组的酸味值接近新鲜,其中联合保鲜组番茄与新鲜番茄的酸味差异最小。番茄的酸味与它的成熟和腐烂有关^[9]。根据涩味响应值,所有组别番茄的涩味均较新鲜番茄有很大的差异。果蔬中的涩味主要来源于可溶性单宁等多酚化合物,当单宁与口腔黏膜上的蛋白质作用引起凝固时,会产生收敛的感觉,就是涩味。新鲜番茄刚采摘,成熟度低,大多含有水溶性单宁,因此有轻微的涩味,当果实成熟度增加,涩味就逐渐脱除。

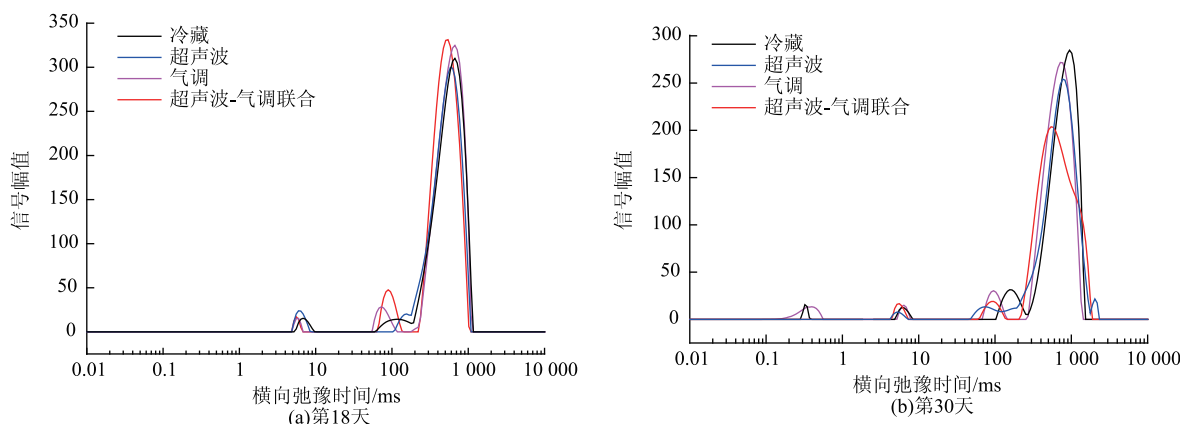


图 7 丝瓜贮藏至不同时间的低场核磁共振图谱

Fig. 7 Low field nuclear magnetic resonance spectrum of loofah stored at different day

表 6 不同处理番茄的滋味特征

Table 6 Taste characteristics of tomato treated with different methods

组别	处理	酸味		苦味		涩味		苦味回味		涩味回味		鲜味		丰厚度		咸味	
		15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d
1	对照	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	新鲜	-17.47	-17.47	4.05	4.05	0.27	0.27	-1.00	-1.00	0.07	0.07	-0.03	-0.03	0.63	0.63	-0.58	-0.58
3	冷藏	-13.13	-11.43	2.88	3.88	-4.64	-4.95	-1.21	-1.22	-0.34	-0.35	-0.95	-1.46	0.66	0.10	-2.58	-2.42
4	超声波	-15.53	-11.69	2.20	2.7	-3.96	-4.87	-1.12	-1.22	-0.23	-0.35	-1.15	-1.29	0.02	-0.07	-2.96	-1.99
5	气调	-15.76	-11.88	2.42	2.69	-4.47	-4.32	-1.62	-1.65	-0.05	-0.23	-1.23	-1.52	0.46	-0.28	-2.45	-1.92
6	超声波-气调联合	-17.47	-15.12	3.42	3.62	-4.59	-5.02	-1.35	-1.36	0.07	-0.25	-1.29	-1.80	0.11	-0.33	-2.16	-2.66

2.9 基于电子鼻对超声波-气调联合处理下丝瓜的气味分析

主成分分析是用于区分样品之间差异的有效办法^[19]。电子鼻能够检测样品之间气味的差异性。图 8 为基于电子鼻对不同处理下贮藏第 30 天丝瓜气味的主成分分析,主成分 1 和主成分 2 的贡献率分别为 82.197%、16.986%,2 个主成分的总贡献率高达 99.183%, 因此根据这 2 个主成分可以很好地区分冷藏组和联合保鲜组的丝瓜样品。图 9 为不同处理下丝瓜贮藏至第 30 天的气味雷达图, 冷藏组和超声波丝瓜的 S1、S5、S6、S9 和 S13 传感器的响应值大于气调组和联合保鲜组,其中冷藏组最大。结合表 3 来看, 其中冷藏组丝瓜中的芳香族化合物类、醚类和酚醚类物质以及氢类物质较多,可能是丝瓜腐烂产生的气味, 说明丝瓜冷藏保鲜品质低劣。而联合处理丝瓜的响应值最小,可能是气调结合超声波减弱了丝瓜的呼吸作用,减慢了其腐烂进

程,因此保鲜品质优于冷藏。

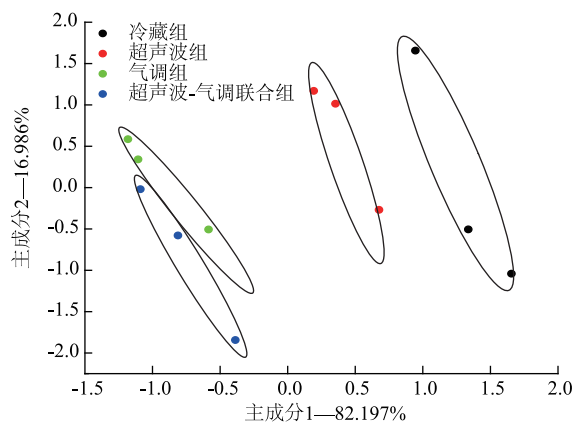


图 8 基于电子鼻对不同处理丝瓜气味的主成分分析

Fig. 8 Principal component analysis of loofah treated with different methods based on electronic nose

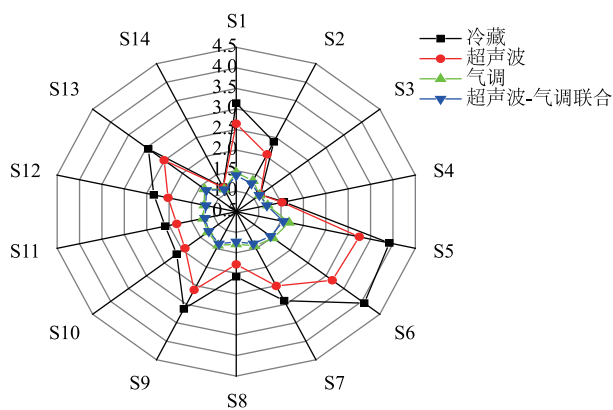


图9 不同处理丝瓜的气味雷达图

Fig.9 Radar chart of loofah treated with different methods

3 结语

超声波(20 kHz、180 W)处理番茄 5 min, 超声波(20 kHz、300 W) 处理丝瓜 5 min 能有效减缓果实硬度的下降; 番茄和丝瓜混合气调的最佳气体组成(体积分数): 6% O₂、4% CO₂、90% N₂; 超声波-气调联合处理保鲜对混藏番茄、丝瓜的品质有利, 有效减缓了失重率的增加、丙二醛(MDA)的积累、呼吸作用以及番茄抗坏血酸含量的下降。联合保鲜组番茄滋味与新鲜番茄最接近, 丝瓜气味与冷藏相比差异明显。因此超声波-气调联合处理有利于番茄、丝瓜混藏品质的保持。

参考文献:

- [1] 包骞, 孙企达, 兰季凯, 等. 远洋蔬果保鲜特性分析及复合气调保鲜的应用研究[J]. 农产品加工, 2009(8): 65-68.
- [2] 张敏, 解越. 采后果蔬低温贮藏冷害研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(1): 1-11.
- [3] 凡家莉, 张懋, 周海莲, 等. 番茄、青椒混储过程的硅窗气调保鲜[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(8): 873-878.
- [4] 董朝贤, 高中学, 张懋, 等. 4 种船载蔬菜硅窗与普通保鲜袋混装贮藏的环境气体与营养品质变化比较研究[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(9): 978-985.
- [5] 朱士农, 崔群香, 范亦刚. 丝瓜的贮藏特性及速冻工艺研究初报[J]. 南京农专学报, 2000(1): 41-46.
- [6] RUGKONG A, MCQUINN R, et al. Expression of ripening-related genes in cold-stored tomato fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 61(1): 1-14.
- [7] 赵树南, 张丽芬, 陈复生, 等. 超声波技术在采后果蔬贮藏保鲜中的应用研究[J]. 食品工业, 2016(11): 249-253.
- [8] 张福平, 陈蔚辉, 郑楚萍, 等. 超声波结合气调包装对番石榴贮藏品质与生理的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 493-498.
- [9] 黄利强, 李昕. 超声波处理结合气调包装对葡萄保鲜效果的应用研究 [C]// 第十三届全国包装工程学术会议论文集. 武汉: [出版者不详], 2010.
- [10] FENG L, ZHANG M, ADHIKARI B, et al. Effect of ultrasound combined with controlled atmosphere on postharvest storage quality of cucumbers (*Cucumis sativus* L.)[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2018, 11(7): 1328-1338.
- [11] BRUMMELL D A, HARPSTER M H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants [J]. *Plant Molecular Biology*, 2001, 47(1/2): 311-339.
- [12] 桑煜, 张懋, 肖卫民. 真空处理对蔬菜减压贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(1): 70-75.
- [13] 虞新新, 吕恩利, 陆华忠, 等. 不同气调环境对番茄保鲜品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 135-139.
- [14] 张群. 典型蔬果气调保鲜贮藏品质调控关键技术[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(9): 1008.
- [15] MAHAJAN P V, LUCA A, EDELENBOS M. Impact of mixtures of different fresh-cut fruits on respiration and ethylene production rates[J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(7): 1366-1371.
- [16] CAO S F, HU Z C. Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest[J]. *Food Control*, 2010, 21(4): 529-532.
- [17] FUNDO J F, et al. NMR water transverse relaxation time approach to understand storage stability of fresh-cut 'Rocha' pear[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 74: 280-285.
- [18] 刘梦婷, 沈馨, 王念, 等. 基于电子舌技术市售番茄调味酱滋味品质的分析[J]. 食品科技, 2016(11): 248-253.
- [19] 孙月娥, 陈芬. 电子鼻与电子舌在果蔬质量评价中的应用[J]. 食品工业, 2011(4): 87-89.