

# 臭氧处理协同低压静电场对青见柑橘低温贮藏品质的影响

朱亚猛<sup>1</sup>, 谢超<sup>1\*</sup>, 郑炜<sup>2\*</sup>, 史恬恬<sup>1</sup>, 周卓颖<sup>1</sup>, 吴玉婷<sup>1</sup>

(1. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022; 2. 舟山正品科技有限公司, 舟山 316000)

**摘要:** **目的** 探究臭氧处理联合低压静电场(low voltage electrostatic field, LVEF)对青见柑橘的保鲜效果。**方法** 青见柑橘随机分为臭氧组(4.0 mg/m<sup>3</sup>, 30 min)、LVEF组(2400 V, 5 mA)、臭氧+LVEF组和对照组(control check, CK), 4°C冷藏。测定其贮藏期间水分含量、可滴定酸(titratable acid, TA)、可溶性糖含量、可溶性固形物含量(soluble solid content, SSC)、维生素C(vitamin C, VC)含量、硬度和水分迁移情况变化。**结果** 贮藏期间, 各组青见柑橘TA、VC含量、硬度、水分含量均呈下降趋势, 可溶性糖含量、SSC呈先上升后下降趋势, 腐烂率呈上升趋势, 且臭氧+LVEF组对于青见柑橘贮藏品质的维持效果显著优于CK组、臭氧组和LVEF组( $P<0.05$ )。此外, 臭氧组和LVEF组对青见柑橘贮藏品质的维持效果均显著优于CK组, 而LVEF组对青见柑橘贮藏品质维持效果显著低于臭氧组( $P<0.05$ )。横向弛豫时间 $T_2$ 反演谱结果显示, 与新鲜样品相比, 贮藏至40 d的青见柑橘的结合水无显著性变化, 不易流动水含量有所上升, 自由水含量显著下降, 臭氧处理联合LVEF保鲜可显著抑制青见柑橘自由水含量的减少( $P<0.05$ )。**结论** 贮藏期间, 臭氧处理、LVEF贮藏和臭氧处理联合LVEF均能抑制青见柑橘品质的劣化且臭氧处理+LVEF效果最好。

**关键词:** 青见柑橘; 低压静电场; 臭氧; 贮藏; 品质变化

## Effects of ozone treatment combined with low voltage electrostatic field on the quality of *Citrus unshiu*×*sinensis* during cold storage

ZHU Ya-Meng<sup>1</sup>, XIE Chao<sup>1\*</sup>, ZHENG Wei<sup>2\*</sup>, SHI Tian-Tian<sup>1</sup>, ZHOU Zhuo-Ying<sup>1</sup>, WU Yu-Ting<sup>1</sup>

(1. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;  
2. Zhoushan Zhengpin Technology Co., Ltd., Zhoushan 316000, China)

**ABSTRACT: Objective** To explore the fresh-keeping effect of ozone treatment combined with low voltage electrostatic field (LVEF) on *Citrus unshiu*×*sinensis* during cold storage. **Methods** *Citrus unshiu*×*sinensis* with the same size were randomly divided into ozone group (4.0 mg/m<sup>3</sup>, 30 min), low-voltage electrostatic field group (2400 V, 5 mA), ozone+LVEF group and control check (CK) group, refrigerated at 4°C. Changes in moisture content, titratable acid (TA), soluble sugar, soluble solids content (SSC), vitamin C (VC) content, hardness and moisture migration

基金项目: 舟山市 5313 人才项目(2018)

Fund: Supported by the Zhoushan 5313 Talent Project (2018)

\*通信作者: 谢超, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品工程。E-mail: xc750205@163.com

郑炜, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: 865262801@qq.com

\*Corresponding author: XIE Chao, Master, Associate Professor, College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China. E-mail: 865262801@qq.com

ZHENG Wei, Master, Senior Engineer, Zhoushan Zhengpin Technology Co., Ltd., Zhoushan 316000, China. E-mail: 865262801@qq.com

during storage were determined. **Results** During the cold storage, the TA, soluble sugar content, VC content, hardness and moisture content of *Citrus unshiu*×*sinensis* in each group showed a downward trend, when the soluble sugar content and SSC increased first and then decreased, when the rotting rate showed an upward trend, and the maintenance effect of ozone+LVEF group of *Citrus unshiu*×*sinensis* on storage quality was significantly better than CK group, ozone group and LVEF group ( $P<0.05$ ). In addition, the maintenance effect of ozone group and LVEF group of *Citrus unshiu*×*sinensis* on storage quality was significantly better than that of CK group, while the effect of LVEF group on maintaining quality of *Citrus unshiu*×*sinensis* storage was significantly lower than that of ozone group ( $P<0.05$ ). The inversion spectrum of transverse relaxation time  $T_2$  showed that compared with the fresh samples, the bound water of *Citrus unshiu*×*sinensis* preserved for 40 d had no significant change, the content of free water did not increase, but the content of free water decreased significantly. Ozone treatment+LVEF could significantly inhibit the reduction of free water content in *Citrus unshiu*×*sinensis* ( $P<0.05$ ). **Conclusion** During the storage period, ozone treatment, LVEF storage and ozone treatment combined with LVEF can inhibit the quality deterioration of *Citrus unshiu*×*sinensis*, and the effect of ozone treatment+LVEF is the best.

**KEY WORDS:** *Citrus unshiu*×*sinensis*; low voltage electrostatic field; ozonation; storage; quality change

## 0 引言

青见柑橘(*Citrus unshiu*×*sinensis*)产于四川,由温州蜜柑和特罗维塔甜橙杂交育成。果实个头较大,果皮较薄且颜色鲜亮,果肉颜色橙红,味道鲜美甘甜,深受全国人民的喜爱<sup>[1]</sup>。青见柑橘营养价值丰富,富含多种营养物质和微量元素<sup>[2]</sup>。研究表明,青见柑橘果实中含有的酚酸和类黄酮在抗癌、抗氧化等方面具有一定的效果<sup>[3]</sup>。我国是世界上最大的柑橘种植国和生产国,每年柑橘产业带来的经济效益巨大<sup>[4]</sup>。但柑橘的成熟期较为集中,不易保存,因此探究柑橘贮藏方式,提高柑橘贮藏时间从而提高经济收益具有重要意义。

臭氧具有强氧化性<sup>[5]</sup>,可较好维持果蔬贮藏品质<sup>[6-8]</sup>。章宁瑛<sup>[9]</sup>研究发现在蓝莓采摘后的贮藏过程中,使用臭氧处理可以抑制蓝莓的呼吸作用。臭氧通过氧化分解降低蓝莓贮藏过程中产生的乙烯含量,从而降低蓝莓机体的代谢速率,延缓蓝莓的成熟和老化。除此之外,臭氧还具有杀菌作用<sup>[10]</sup>。董宗宗<sup>[11]</sup>在鲜熟玉米的保鲜研究中发现,用臭氧处理禾谷镰孢菌和拟轮枝镰孢菌,菌体的细胞膜通透性变大,菌体体内的可溶性糖流出,菌体因代谢失调而死亡,证明臭氧对细菌具有较好的抑制效果。低压静电场(low voltage electrostatic field, LVEF)可用于果蔬、水产品及肉制品的保鲜<sup>[12-14]</sup>,是近些年所研究使用的一种新型保鲜技术。肉制品在贮藏过程中, LVEF 主要通过抑制其微生物的生长,降低蛋白质的损耗以延长保鲜时间<sup>[15]</sup>。果蔬贮藏时,受自身氧化作用和呼吸作用的影响,其品质下降较快,腐烂速度增快, LVEF 可通过抑制果蔬的氧化和呼吸作用以达到保鲜的目的。其有效性在长枣<sup>[16]</sup>和杨梅<sup>[17]</sup>等果蔬的保鲜中得到较好的实践。青见柑橘水分含量较高,贮藏期间其水分的流失会严重影响口感导致经济效用降低,且目前尚未有关于臭氧联合 LVEF 对柑橘贮藏期间水分变化影响的研究,

因此探究其水分变化情况也是研究中较为关注的重点。

本研究中,臭氧主要运用于青见柑橘贮藏的前处理阶段, LVEF 主要作用于青见柑橘贮藏阶段,两种保鲜方式作用阶段不同,因此不易产生不利影响,可更好地提升保鲜效果。目前,臭氧联合热处理<sup>[18]</sup>、气调<sup>[19]</sup>等协同保鲜方式运用于果蔬被证实其保鲜效果优于单一保鲜方式,然而尚未有关于臭氧处理联合 LVEF 保鲜对于青见柑橘贮藏效果的研究,其保鲜效果是否优于单一保鲜方式成为研究中关注的重点。此外,青见柑橘水分含量较高,贮藏期间其水分的流失会严重影响口感导致经济效用降低,因此探究臭氧联合 LVEF 对青见柑橘贮藏期间水分变化的影响对于青见柑橘的贮藏具有重要意义。本研究以青见柑橘为实验原料,以水分含量、可滴定酸(titratable acid, TA)、可溶性糖、可溶性固形物(soluble solids content, SSC)、VC 含量、硬度、腐烂率和水分迁移为评价指标,研究青见柑橘经 4 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理 30 min 后,在 4℃的 LVEF (2400 V, 5 mA)环境中进行贮藏其品质变化情况,拟为臭氧处理联合 LVEF 保鲜柑橘提供一定的理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

青见柑橘(四川眉山),挑选大小均匀、无虫害的个体,48 h 内运送至实验室。

氢氧化钠、甲苯、1%酚酞试剂、邻苯二甲胺、斐林试剂、亚甲蓝(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

LVEF 发生装置(浙江驰力科技有限公司,工作原理如图 1 所示); HT-1150ATC 手持折光仪(田园信科光学仪器有限公司); TA.XTC 质构仪(上海保圣科技有限公司); TG-GL-12A 高速冷冻离心机(北京通的创业科技有限公司); MLS-A-1020G 臭氧发生器(广州迈浪设备有限公司)。

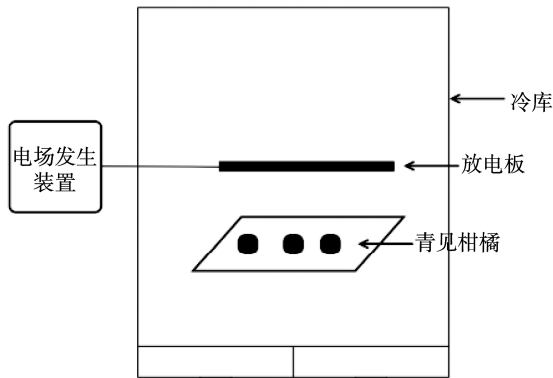


图 1 低压静电场装置处理青见柑橘样品示意图

Fig.1 Schematic diagram of *Citrus unshiu*×*sinensis* samples treated by low voltage electrostatic field

## 1.3 方法

### 1.3.1 样品处理

挑选形状大小均匀、无病害、无机械损伤的青见柑橘, (8±2)°C冷库中预冷 24 h 后自来水清洗后晾干。晾干的青见柑橘 100 个为一组, 随机分为 4 组。以无任何处理的青见柑橘为对照组(control check, CK), 4 mg/m<sup>3</sup>臭氧处理 30 min 的青见柑橘为臭氧组, 2400 V、5 mA 电场强度冷藏的青见柑橘为 LVEF 组, 4 mg/m<sup>3</sup>臭氧处理 30 min 后放置 2400 V、5 mA 的电场环境下的青见柑橘为臭氧+LVEF 组。各组样品均在 4°C冷库中贮藏, 每 5 d 测定其指标变化。

### 1.3.2 理化指标的测定

TA 含量的测定参考 GB/T 12456—2008《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》。可溶性糖含量测定参考黄家红等<sup>[20]</sup>可溶性糖检测方式, 使用斐林试剂滴定, 以亚甲基蓝为指示剂, 通过样品液消耗体积计算出可溶性糖含量。SSC 含量测定采用手持式折光仪<sup>[18]</sup>。VC 含量的测定参考 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸测定》。硬度的测定方法参考张海波等<sup>[21]</sup>的测定方法, 使用质构仪, 选用 2 mm 的探头, 测试速度 10 mm/s, 深度 10 mm, 样品去皮后, 在赤道部位选取对应 4 个点进行测定。水分含量测定参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。腐烂率的测定参考公式(1)。

$$\text{腐烂率}/\% = \text{腐烂数}/\text{总果数} \times 100\% \quad (1)$$

### 1.3.3 低场核磁共振弛豫时间 $T_2$ 反演谱图分析

通过低场核磁共振技术(nuclear magnetic resonance, NMR)测定新鲜样品及贮藏 40 d 时 4 个实验组样品,  $T_2$  用于横向弛豫时间  $T_2$  反演谱测量时选择核磁共振分析软件中 CPMG 序列, 质子共振频率主值为 23.314 MHz; 90°和 180°射频频宽分别为 20 和 36 μs; 开始采样时间控制参数 80 μs, 信息采样点数 1200020, 重复采样等待时间 10000 yms, 模拟增益 10, 累加次数 16 次, 回波个数 15000。

## 1.4 数据统计分析

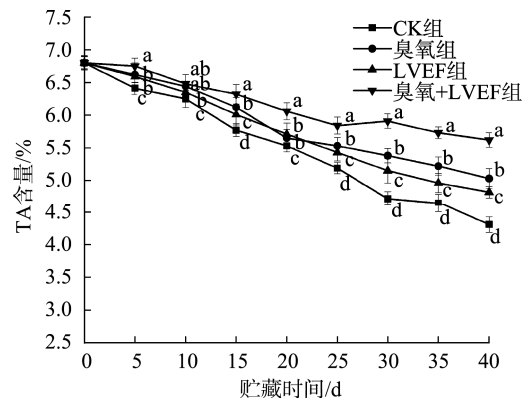
所有指标进行 3 次平行实验。实验采用 Excel 2019 进

行数据的统计, Origin 2019 软件绘制图形, 使用 SPSS 22.0 统计分析软件进行显著性分析,  $P < 0.05$  表示样本间具有显著差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 TA 的影响

TA 含量的变化会对青见柑橘贮藏期间的风味产生影响。从图 2 可以看出, 在贮藏过程中, 随着贮藏时间的延长, 各组青见柑橘 TA 含量均呈下降趋势。贮藏至第 40 d 时, CK 组 TA 含量下降了 36.62%, 显著高于臭氧组(26.03%)、LVEF 组(29.12%)和臭氧+LVEF 组(17.35%) ( $P < 0.05$ )。结果表明, 臭氧处理、LVEF、臭氧+LVEF 处理均能有效抑制 TA 含量的降低。贮藏结束时, 臭氧+LVEF 处理组 TA 含量显著高于臭氧组和 LVEF 组 ( $P < 0.05$ ), 表明臭氧处理联合 LVEF 对于青见柑橘 TA 含量的维持效果相对较好。此外, 臭氧组 TA 含量显著高于 LVEF 组 ( $P < 0.05$ ), 表明臭氧处理对于青见柑橘 TA 含量的维持效果相对较好。有研究表明, 柑橘中含量较高的酸是柠檬酸<sup>[22]</sup>, 贮藏期间柠檬酸参与柑橘的呼吸作用, 是柑橘呼吸作用的底物, 而臭氧和 LVEF 通过抑制柑橘的呼吸作用影响了青见柑橘中的 TA 含量。



注: 不同小写字母表示同一时间不同组别之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

图 2 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 TA 含量的影响 ( $n=3$ )

Fig.2 Effects of ozone treatment combined with LVEF on TA content in *Citrus unshiu*×*sinensis* during storage ( $n=3$ )

### 2.2 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘可溶性糖含量的影响

贮藏期间, 各组青见柑橘可溶性糖含量变化如图 3 所示。贮藏前期, 各组青见柑橘可溶性糖含量无显著性变化, 贮藏至第 15 d 时各组青见柑橘可溶性糖含量均呈下降趋势, 这可能是受柑橘果实自身代谢影响所致。贮藏至第 40 d 时, CK 组、臭氧组、LVEF 组及臭氧+LVEF 组的可溶性糖含量分别下降至 65.31、73.63、72.14 和 76.35 mg/g。臭氧+LVEF

组可溶性糖含量显著高于其他 3 组( $P<0.05$ ), 表明臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘的可溶性糖含量维持效果相对较好, 可能是因为臭氧和 LVEF 处理可以氧化分解柑橘自身作用产生的乙烯<sup>[23]</sup>, 降低柑橘的自身代谢。此外, 臭氧组和 LVEF 组两组的可溶性糖含量贮藏末期具有显著性差异, 且均显著高于 CK 组( $P<0.05$ ), 表明臭氧处理和 LVEF 处理也能抑制青见柑橘可溶性糖含量的降低。

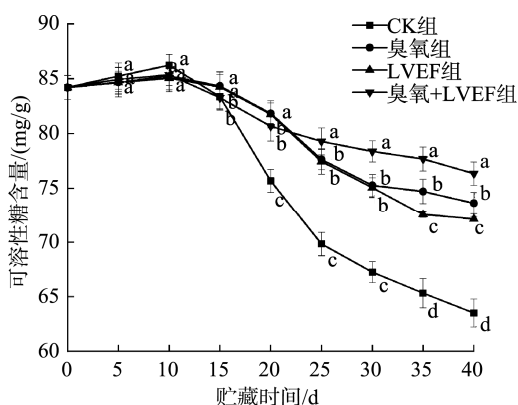


图 3 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘可溶性糖含量的影响( $n=3$ )

Fig.3 Effects of LVEF combined with ozone treatment on ososuble sugar content of *Citrus unshiu*×*sinensis* ( $n=3$ )

### 2.3 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 SSC 含量的影响

如图 4 所示, 冷藏期间青见柑橘 SSC 含量呈先上升后下降趋势。贮藏第 0 d 时新鲜青见柑橘的 SSC 含量为 12.7%, 冷藏至 15 d 时各组的 SSC 含量达到顶峰, 且 CK 组 SSC 含量显著低于其他 3 组( $P<0.05$ )。贮藏至 40 d 时, 各组青见柑橘 SSC 含量均有所下降, CK 组 SSC 含量显著低于其他 3 组( $P<0.05$ ), 表明臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 SSC 含量具有显著影响。可能是因为臭氧和 LVEF 处理均能有效抑制青见柑橘酶活性, 降低其体内的化学反应和青见柑橘自身的呼吸作用, 从而减少 SSC 含量的消耗<sup>[7,24]</sup>。此外, 臭氧组和 LVEF 组 SSC 含量高于 CK 组, 表明臭氧处理和 LVEF 单一贮藏均对青见柑橘 SSC 含量具有显著影响。而臭氧组 SSC 含量高于 LVEF 组, 表明臭氧组对青见柑橘 SSC 含量的维持显著优于 LVEF 组。

### 2.4 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 VC 含量的影响

如图 5 所示, 冷藏期间各组青见柑橘 VC 含量均呈下降趋势, 可能是因为随着贮藏时间的延长, 青见柑橘中的 VC 逐渐被抗坏血酸酶分解所导致<sup>[4]</sup>。贮藏至第 40 d 时, CK 组的 VC 含量显著低于其他 3 组( $P<0.05$ ), 表明臭氧和 LVEF 处理可以有效抑制青见柑橘 VC 含量的减少。可能是因为臭氧和 LVEF 均能抑制抗坏血酸酶对于 VC 的分解作

用<sup>[25]</sup>, 降低柑橘体内的化学反应。贮藏结束时, 臭氧+LVEF 组的 VC 含量显著高于臭氧组和 LVEF 组( $P<0.05$ ), 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 VC 含量的维持具有较好效果。此外, 贮藏期间, 臭氧组和 LVEF 组之间的 VC 含量基本无显著性差异。

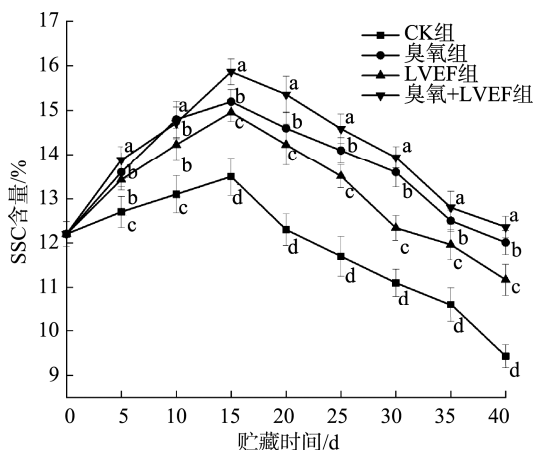


图 4 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 SSC 含量的影响( $n=3$ )

Fig.4 Effects of LVEF combined with ozone treatment on SSC matter of *Citrus unshiu*×*sinensis* ( $n=3$ )

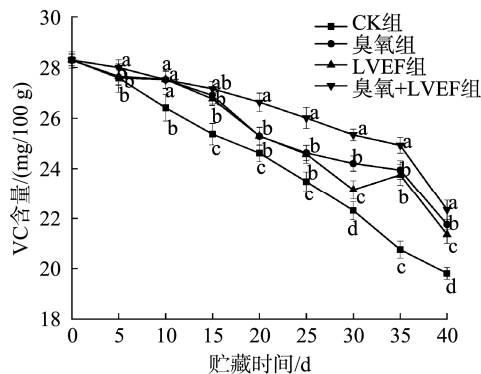


图 5 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘 VC 含量的影响( $n=3$ )

Fig.5 Effects of ozone treatment combined with LVEF on VC content of *Citrus unshiu*×*sinensis* during storage ( $n=3$ )

### 2.5 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘硬度的影响

硬度是评价柑橘品质的重要指标之一<sup>[17]</sup>。由图 6 可知, 贮藏期间, 青见柑橘的硬度呈下降趋势, 可能是因为微生物作用及其自身代谢和呼吸作用引起其品质劣化。贮藏前期, 3 个实验组的硬度无显著性差异。贮藏至第 40 d 时, CK 组、臭氧组、LVEF 组和臭氧+LVEF 组的硬度分别为 3.67、4.08、3.88 和 4.42 N。臭氧组、LVEF 组和臭氧+LVEF 组青见柑橘的硬度均显著高于 CK 组( $P<0.05$ ), 表明 3 种方法对于贮藏期间青见柑橘硬度的维持具有良好效果。此外, 臭氧+LVEF 组的硬度始终显著高于其他实验组( $P<0.05$ ),

表明臭氧处理联合 LVEF 可较好维持青见柑橘硬度。可能是因为臭氧处理和 LVEF 可以抑制微生物的生长,降低青见柑橘自身的代谢作用<sup>[26-27]</sup>。

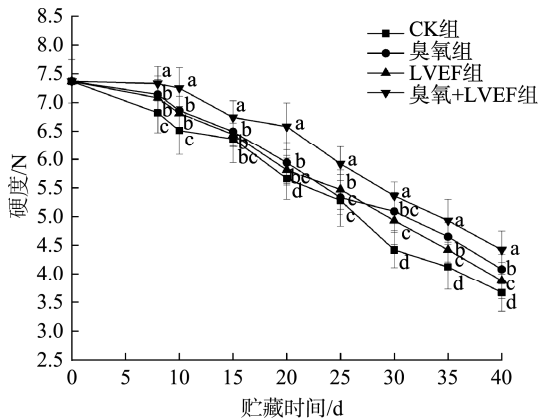


图 6 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘硬度的影响( $n=5$ )  
Fig.6 Effects of ozone treatment combined with LVEF on the firmness of *Citrus unshiu*×*sinensis* during storage ( $n=5$ )

## 2.6 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘腐烂率的影响

贮藏期间,随着贮藏时间的延长,青见柑橘在自身生理反应及微生物的作用下,果实会出现腐败现象,从而严重影响青见柑橘的商品价值<sup>[18]</sup>。如图 7 所示,各处理组青见柑橘腐烂率均呈上升趋势。贮藏至 40 d 时,臭氧+LVEF 组腐烂率仅为 8.26%,显著低于 CK 组(38.43%)、臭氧组(17.65%)和 LVEF 组(22.43%) ( $P<0.05$ )。说明臭氧+LVEF 对青见柑橘贮藏期间品质的维持效果优于其他组。而臭氧组青见柑橘腐烂率显著低于 LVEF 组( $P<0.05$ ),说明单一臭氧处理方式对青见柑橘品质维持效果优于 LVEF 处理。

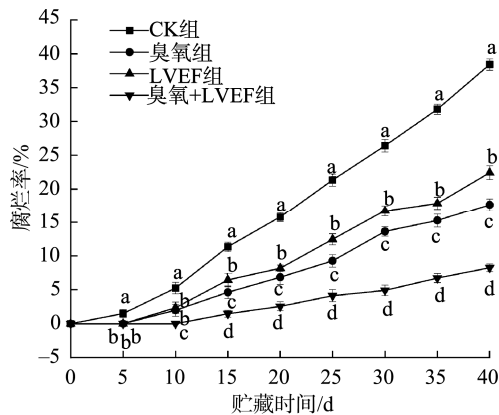


图 7 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘腐烂率的影响( $n=3$ )  
Fig.7 Effects of ozone treatment combined with LVEF on the decay rate of *Citrus unshiu*×*sinensis* during storage ( $n=3$ )

## 2.7 臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘水分含量的影响

青见柑橘水分含量较高,水分含量的降低会影响柑

橘的口感。贮藏期间,青见柑橘水分含量变化如图 8 所示。随着贮藏时间的延长,各组水分含量均呈下降趋势。可能是因为青见柑橘在呼吸作用和蒸腾作用的影响下,导致水分逐渐流失<sup>[28]</sup>。贮藏期间,臭氧+LVEF 组水分含量显著高于 CK 组( $P<0.05$ ),表明臭氧处理联合 LVEF 可较好地维持青见柑橘水分含量。此外,臭氧处理联合 LVEF 的青见柑橘水分含量同样显著高于臭氧组和 LVEF 组( $P<0.05$ ),表明贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对于青见柑橘水分含量的维持效果优于单一贮藏方式。可能是因为臭氧和 LVEF 均能抑制柑橘果实的呼吸作用,两种保鲜方式联合使用可以较好抑制贮藏期间青见柑橘水分含量的流失<sup>[29]</sup>。

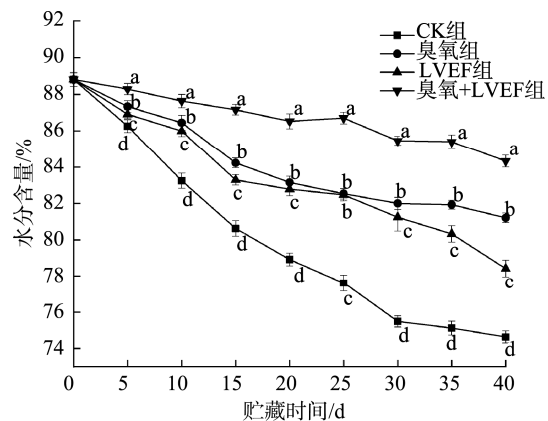


图 8 贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘水分含量的影响( $n=3$ )  
Fig.8 Effects of ozone treatment combined with LVEF on the moisture content of *Citrus unshiu*×*sinensis* during storage ( $n=3$ )

## 2.8 低场核磁共振弛豫时间 $T_2$ 反演谱图分析

图 9 为青见柑橘新鲜样品和贮藏至第 40 d 时各组样品的  $T_2$  反演谱图。如图 9 所示,贮藏期间,青见柑橘共显示出 3 个峰,从左到右分别代表结合水、不易流动水和自由水<sup>[30]</sup>,其  $T_2$  范围分别为  $T_{21}$  (6.30~24.95 ms)、 $T_{22}$  (56.07~283.31 ms)和  $T_{23}$  (361.23~1825.18 ms),3 种水分弛豫时间越短流动性越小,反之则越大<sup>[31-32]</sup>。贮藏期间,与新鲜样品相比,各组青见柑橘  $T_{21}$  弛豫峰物无显著性变化, $T_{22}$  弛豫峰上升较显著( $P<0.05$ ),表明贮藏期间,各组青见柑橘的结合水含量变化不显著,不易流动水显著增加可能是因为贮藏期间柑橘汁胞粒化导致<sup>[33]</sup>。与新鲜样品相比,贮藏至第 40 d 的各组青见柑橘的  $T_{23}$  弛豫峰均显著降低,说明贮藏期间各组柑橘的自由水含量损失较多。此外,臭氧+LVEF 组的  $T_{23}$  弛豫峰显著大于 CK 组、臭氧组和 LVEF 组表明,臭氧处理联合 LVEF 可较好地维持青见柑橘中的自由水含量。总的来说,贮藏期间各组青见柑橘的结合水无显著性变化,不易流动水含量均有所上升,自由水含量均显著下降,然而与其他 3 组相比臭氧处理联合 LVEF 显著

抑制了青见柑橘自由水含量的减少( $P<0.05$ ), 这与前面青见柑橘总体水分含量变化情况相符。

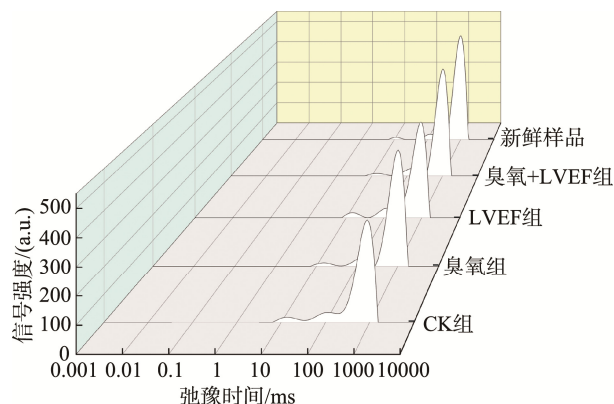


图 9 贮藏 40 d 时青见柑橘低温核磁共振弛豫时间  $T_2$  反演谱图分析

Fig.9  $T_2$  inversion spectra of the horizontal relaxation time of each group of *Citrus unshiu*×*sinensis* for 40 d

### 3 结 论

本研究以青见柑橘为对象, 探讨了贮藏期间臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘贮藏期间品质变化影响。结果表明, 臭氧处理、LVEF 保鲜和臭氧处理联合 LVEF 均能有效抑制青见柑橘品质的劣化, 且臭氧处理联合 LVEF 对青见柑橘保鲜效果最好。贮藏期间, 各组青见柑橘 TA 含量、VC 含量、硬度、水分含量均呈下降趋势, 可溶性糖含量、SSC 呈先上升后下降趋势, 腐烂率呈上升趋势, 臭氧处理联合 LVEF 效果显著优于其他 3 组( $P<0.05$ )。水分迁移结果表明, 与新鲜样品相比, 贮藏至第 40 d 的青见柑橘的结合水无显著性变化, 不易流动水含量有所上升, 自由水含量显著下降, 臭氧处理联合 LVEF 保鲜可显著抑制青见柑橘自由水含量的减少( $P<0.05$ )。综上所述, 臭氧处理协同 LVEF 可以较好地维持青见柑橘品质, 延长保鲜时间。

### 参考文献

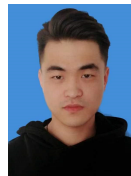
- [1] 李勋兰, 洪林, 杨蕾, 等. 11 个柑橘品种果实营养成分分析与品质综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 228–233.  
LI XL, HONG L, YANG L, *et al.* Analysis of nutritional component and comprehensive quality evaluation of citrus fruit from eleven varieties [J]. Food Sci, 2020, 41(8): 228–233.
- [2] WANG L, NING T, CHEN XL. Postharvest storage quality of citrus fruit treated with a liquid ferment of Chinese herbs and probiotics [J]. Sci Hortic-Amsterdam, 2019, 255: 169–174.
- [3] HE YZ, LI WG, ZHU PP, *et al.* Comparison between the vegetative and fruit characteristics of 'Orah' (*Citrus reticulata* Blanco) mandarin under different climatic conditions [J]. Sci Hortic-Amsterdam, 2022, 300: 111064.
- [4] LIU H, ZAKY MY, AHMED NA, *et al.* An up-to-date review on citrus flavonoids: Chemistry and benefits in health and diseases [J]. Curr Pharm

- Design, 2020, 27(4): 513–530.
- [5] WU QX, ZHU XG, GAO HJ, *et al.* Comparative profiling of primary metabolites and volatile compounds in *Satsuma mandarin* peel after ozone treatment [J]. Postharvest Biol Technol, 2019, 153: 1–12.
- [6] GARCÍA-MARTÍN JF, OLMO M, GARCÍA JM. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of different citrus varieties at laboratory and at industrial facility [J]. Postharvest Biol Technol, 2018, 137: 77–85.
- [7] PINTO L, PALMA A, CEFOLA M, *et al.* Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit [J]. Food Packag Shelf, 2020, 26: 100573.
- [8] TOKALA VY, SINGH Z, KYAW PN. Postharvest fruit quality of apple influenced by ethylene antagonist fumigation and ozonized cold storage [J]. Food Chem, 2020, 341(P2): 128293.
- [9] 章宁瑛. 臭氧处理及气调包装对蓝莓采收后贮藏品质和生理代谢的影响 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.  
ZHANG NY. Effects of ozone treatment and modified atmosphere packaging on postharvest storage quality and physiological metabolism of blueberries [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017.
- [10] SHENG LN, SHEN XY, SU Y, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene and gaseous ozone on *Listeria innocua* survival and fruit quality of Granny Smith apples during long-term commercial cold storage [J]. Food Microbiol, 2022, 102: 103922.
- [11] 董宗宗. 臭氧对鲜食糯玉米保鲜及穗腐病菌抑制效果的研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2016.  
DONG ZZ. Effect of ozone on fresh-keeping of fresh waxy corn and inhibition of ear rot pathogen [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2016.
- [12] HU FF, QIAN SY, HUANG F, *et al.* Combined impacts of low voltage electrostatic field and high humidity assisted-thawing on quality of pork steaks [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 150: 111978.
- [13] XIE Y, CHEN B, GUO J, *et al.* Effects of low voltage electrostatic field on the microstructural damage and protein structural changes in prepared beef steak during the freezing process [J]. Meat Sci, 2021, 179: 108527.
- [14] XU C, ZHANG XY, LIANG J, *et al.* Cell wall and reactive oxygen metabolism responses of strawberry fruit during storage to low voltage electrostatic field treatments [J]. Postharvest Biol Technol, 2022, 192: 112017.
- [15] 张珊, 林慧敏, 邓尚贵. 低压静电场对凡纳滨对虾保鲜效果的研究 [J]. 食品科技, 2020, 45(10): 141–147.  
ZHANG S, LIN HM, DENG SG. Study on the fresh-keeping effect of low-voltage electrostatic field on *Litopenaeus vannamei* [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(10): 141–147.
- [16] 李金娜. 温度结合低压静电场对灵武长枣贮藏保鲜效果的研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2019.  
LI JN. Study on the effect of temperature combined with low-voltage electrostatic field on the preservation of Lingwu long jujube [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [17] 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.  
LI HB, XIE C, LIANG RP, *et al.* Effect of low voltage electrostatic field technology (LVEF) and low temperature on quality of Zhoushan myrica

- rubra during preservation [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(7): 265–270.
- [18] 陈晓彤, 潘艳芳, 郑桂霞, 等. 热处理协同臭氧对沃柑贮藏品质调控研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(12): 21–25.  
CHEN XT, PAN YF, ZHENG GX, *et al.* Study on the control of storage quality of brgamot by heat treatment Co-ozone [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(12): 21–25.
- [19] 雷婷婷, 殷诚, 孙陟岩, 等. 气态臭氧结合微孔气调包装对杨梅品质和抗氧化性能的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-11 [2022-09-20]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=SPKX20220915007&uniplatform=NZKPT&v=sbig8z5V17wuuaU3LSvwyBY8QvcBqYACi1iD11aAkzpuM7pfKo0W8BT2gFLKu2Da>  
LEI TT, YIN C, SUN SY, *et al.* Effect of ozone gas combined with perforated modified atmosphere packaging on quality and antioxidant capacity of Chinese bayberry [J/OL]. *Food Sci*: 1-11 [2022-09-20]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=SPKX20220915007&uniplatform=NZKPT&v=sbig8z5V17wuuaU3LSvwyBY8QvcBqYACi1iD11aAkzpuM7pfKo0W8BT2gFLKu2Da>
- [20] 黄家红, 梁芸志, 李少华, 等. 低温气调协同臭氧间歇处理对柑橘贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(3): 28–32.  
HUANG JH, LIANG YZ, LI SH, *et al.* Effect of low temperature controlled atmosphere combined with ozone intermittent treatment on citrus storage quality [J]. *Storage Process*, 2018, 18(3): 28–32.
- [21] 张海波, 许嘉翔, 姚姝凤, 等. 马来松香季戊四醇酯对柑桔保鲜效果的研究[J]. *林产化学与工业*, 2020, 40(6): 15–22.  
ZHANG HB, XU JL, YAO SF, *et al.* Study on the fresh-keeping effect of maleic rosin pentaerythritol ester on ponkan [J]. *Chem Ind Forest Prod*, 2020, 40(6): 15–22.
- [22] 张艳芳, 赵江, 郝利平, 等. 浸钙结合电场处理对柑橘采收后贮藏效果的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(2): 132–136.  
ZHANG YF, ZHAO J, HAO LP, *et al.* Effect of calcium immersion combined with electric field treatment on postharvest storage of citrus [J]. *Food Mach*, 2014, 30(2): 132–136.
- [23] ESTABLÉS-ORTIZ B, ROMERO P, BALLESTER PR, *et al.* Inhibiting ethylene perception with 1-methylcyclopropene triggers molecular responses aimed to cope with cell toxicity and increased respiration in citrus fruits [J]. *Plant Physiol Bioch*, 2016, 103: 154–166.
- [24] 林旭东, 沈波涛, 朱麟, 等. Map结合1-MCP处理对“红美人”柑橘冷藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(2): 74–78.  
LIN XD, SHEN BT, ZHU L, *et al.* Effect of different modified atmosphere packagings and 1-MCP treatment on of ‘Hongmeiren’ citrus during cold storage [J]. *Storage Process*, 2020, 20(2): 74–78.
- [25] KAO NY, TU YF, SRIDHAR K, *et al.* Effect of a high voltage electrostatic field (HVEF) on the shelf-life of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2019, 116(C): 108532.
- [26] 李孟华, 段昕辰, 吴梦兰, 等. 低压静电场中凡纳滨对虾微生物群落组成及变化分析[J]. *食品工业*, 2022, 43(3): 160–165.  
LI MH, DUAN XC, WU ML, *et al.* Analysis of microbial community composition and changes in *Litopenaeus vannamei* in low-voltage electrostatic field [J]. *Food Ind*, 2022, 43(3): 160–165.
- [27] 曹琳, 李少华, 周树波, 等. 臭氧水处理对葡萄品质和表面微生物的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(8): 40–44.  
CAO L, LI SH, ZHOU SB, *et al.* Effect of ozone water on quality and surface microorganisms of grapes [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(8): 40–44.
- [28] 马亚琴, 贾蒙, 周心智. 柑橘采收后贮藏保鲜技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(22): 290–297.  
MA YQ, JIA M, ZHOU XZ. Research progress on postharvest storage and preservation technology of citrus [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(22): 290–297.
- [29] KANG C, CAO JP, SUN J, *et al.* Comparison of physiochemical characteristics of *Citrus reticulata* cv. Shatangju fruit with different fruit sizes after storage [J]. *Food Packag Shelf*, 2022, 31: 100774.
- [30] QIN LR, WU YX, CHEN JW, *et al.* Effects of superchilling on quality of crayfish (*Procambarus clarkii*): Water migration, biogenic amines accumulation, and nucleotides catabolism [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2021, 57(1): 506–515.
- [31] 盘喻颜, 段振华, 钟静妮. 利用低场核磁共振技术分析月柿果片微波间歇干燥过程中的内部水分变化[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(4): 33–39.  
PAN YY, DUAN ZH, ZHONG JN. Analysis of internal moisture changes of persimmon slices during intermittent microwave drying using low-field NMR [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(14): 33–39.
- [32] SU DB, LV WQ, WANG Y, *et al.* Influence of microwave hot-air flow rolling dry-blanching on microstructure, water migration and quality of *Pleurotus eryngii* during hot-air drying [J]. *Food Control*, 2020, 114(C): 107228–107228.
- [33] 王森, 张晶, 贺妍, 等. 基于低场核磁共振的柑橘汁胞粒化评级[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(7): 290–295.  
WANG M, ZHANG J, HE Y, *et al.* Evaluation of juicy sac granulation in citrus with low field nuclear magnetic resonance [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, 32(7): 290–295.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



朱亚猛, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: 1585431037@qq.com



谢超, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品工程。

E-mail: xc750205@163.com



郑炜, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。

E-mail: 865262801@qq.com