

# 微酸性电解水结合钙处理 对采后桃果实组织结构及水分迁移的影响

支欢欢, 李小娟, 刘琦琦, 王黎明, 郭 栋, 董 宇\*  
(郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南郑州 450002)

**摘要:**以‘久保’桃为试材, 利用微酸性电解水(SAEW)结合1%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对果实进行浸泡处理, 分析在贮藏过程中果实硬度、口感、腐烂率、相对电导率和出汁率等生理指标, 并用扫描电子显微镜和X射线能谱仪监测处理后果实内部细胞结构以及  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  含量变化, 同时利用低场核磁共振分析水分迁移变化。结果表明, SAEW 结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理优于单一 SAEW 或  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理, 能明显地抑制桃果实硬度和口感下降, 减少腐烂率, 降低细胞膜透性的增加, 提高对  $\text{Ca}^{2+}$  吸收, 稳定细胞壁和膜系统完整以及细胞间质水, 抑制胞内外水散失, 从而维持较高贮藏品质。

**关键词:**桃, 贮藏, 微酸电解水, 钙, 细胞结构, 水分移动

## Effect of slightly acidic electrolyzed water in combination with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on tissue structure and water mobility of peach fruit during storage

ZHI Huan-huan, LI Xiao-juan, LIU Qi-qi, WANG Li-ming, GUO Dong, DONG Yu\*

(College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) in combination with 1%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  on fruit firmness, sensory scores, decay incidence, relative electrical conductivity, and juice yield were investigated in the ‘Okubao’ peach. The cell structure and contents of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  were monitored by scanning electron microscopy and X-ray energy spectra intensity. Furthermore, water mobility was analyzed by the low-field nuclear magnetic resonance. Results showed that the combined treatment was the most effective than SAEW or  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  treatment alone, which significantly inhibited the decrease of fruit firmness and taste score, reduced decay incidence and the increase of cell membrane permeability, promoted  $\text{Ca}^{2+}$  absorption, stabilized cell wall and membrane system and extra-cellular water, inhibited the loss of intra- and extra-cellular water, maintained the higher quality.

**Key words:** peach; storage; slightly acidic electrolyzed water; calcium; cell structure; water mobility

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)18-0279-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.053

‘久保’桃 (*Prunus persica* L. Batsch cv. Okubao) 是我国北方主栽桃品种之一。由于桃果实自身含糖量较高, 导致外界微生物易于侵染果实而引起果实腐烂、软化, 严重限制其采后贮藏。目前, 桃采后保鲜方式主要包括 1-MCP (1-methylcyclopropene)<sup>[1]</sup>、草酸<sup>[2]</sup>、不同形态钙 (如:  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、乳酸钙等) 浸泡<sup>[3]</sup>、一氧化碳熏蒸<sup>[4]</sup>等, 这些方法中, 采后浸钙处理被认为是最安全、有效的处理手段<sup>[5]</sup>。此外, 近年来研究发现采后浸钙结合其他物理和化学手段, 如: 超声波<sup>[6]</sup>、壳聚糖<sup>[7]</sup>和热<sup>[8]</sup>等, 在显著抑制病原菌生长同时, 还可以维持较高的果实品质, 延长其贮藏寿命。

电解水又称氧化还原电位水, 是通过电解水和食盐 (氯化钠) 溶液得到, 并根据溶液中 pH 和有效氯

含量可分为强酸性电解水 (pH2.3~2.7, 氧化还原电位 > 1000 mV, 有效氯含量 > 100 mg/L) 和微酸性电解水 (Slightly Acidic Electrolyzed Water, SAEW, pH5~6.5, 氧化还原电位 800~900 mV, 有效氯含量 10~30 mg/L), 且早在 2002 年日本已将微酸性电解水指定为食品添加剂<sup>[9]</sup>。随着微酸性电解水在食品加工<sup>[9]</sup>、植病防治以及果蔬清洁<sup>[10]</sup>等方面被广泛应用, 研究发现微酸性电解水除对果实表面有害微生物具有杀菌效果外, 能够显著抑制水蜜桃、樱桃及哈密瓜等果实自身乙烯产生, 降低呼吸速率, 减少酚类物质积累, 延缓果皮变色<sup>[11-13]</sup>。但由于 SAEW 极易分解, 作用时效短, 严重影响其时效性<sup>[14]</sup>。针对 SAEW 不足, 前期利用微酸性电解水单独或结合

收稿日期: 2017-03-20

作者简介: 支欢欢 (1982-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜, E-mail: zhihuanhuan163@163.com。

\* 通讯作者: 董宇 (1983-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜, E-mail: dongyu8306@hotmail.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31501539); 郑州轻工业学院博士科研启动基金项目 (2014BSJJ028; 2014BSJJ0.27)。

0.5%、1.0%和2%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理采收后‘久保’桃,发现微酸性电解水结合1%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  能有效地抑制果肉褐变,提高抗氧化系统和  $\text{Ca}^{2+}$  吸收,抑制软化及相关降解酶活性,延长果实寿命<sup>[15]</sup>。在此基础上,本研究将 SAEW 与 1%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独及结合处理采收后‘久保’桃,研究其对果实内部结构和可食性影响,分析处理后果肉组织结构变化并用 X 射线能谱定量果肉中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  含量,并用低场核磁共振监测贮藏过程中水分迁移情况,为进一步揭示 SAEW 结合钙处理对延长桃果实贮藏品质提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

‘久保’桃 果实硬度 50 N,可溶性固形物含量 11%,2016 年 7 月 14 日采自河南省郑州市水牛张村商业桃园,随机选取果实形状、大小一致,无明显病虫害和机械损伤。

AEOW1000A 型微酸性电解水制备装置 有效氯浓度 29.8 mg/L,pH5.9,氧化还原电位 907.2 mV,广州康百源水处理技术有限公司;GY-4 型硬度计 浙江托普仪器有限公司;DDS-307A 型电导率仪 上海仪电科学仪器股份有限公司;HC-3618R 型高速冷冻离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;XY-FD-18 冷冻干燥机 上海欣谕仪器有限公司;S-4800 型扫描电子显微镜 日本 Hitachi 公司;INCA PentaFEX  $\times 3$  型 X 射线能谱分析仪 英国 OXFORD 公司;NMI20-15 型低场核磁共振仪 共振频率 21.3 MHz,磁体强度 0.5 T,磁体温度 32  $^{\circ}\text{C}$ ,上海纽迈电子科技有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 材料处理 将果实随机分成 4 组,每组用果 120 个,随后放入 4 个 55 L 塑料箱,分别加入 15 L 水(对照组)、15 L 微酸性电解水、15 L 1%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  溶液和 15 L 含有 1%  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  的微酸性电解水,浸泡 20 min,然后将果实用电风扇吹干,在 20  $^{\circ}\text{C}$  和相对湿度为 75% 下贮藏,每隔 2 d 测定相应指标,每个时间点各处理用果 30 个。

1.2.2 口感评定 选 10 个有培训经验的人员进行感官评定,品评前将样品任意进行编号,根据果肉质地的脆嫩、色泽和有无香气进行打分,分为 9 个等级:1 为果肉质硬且干涩、颜色暗淡且无香气;3 为果肉质偏硬无干涩、颜色较亮且无香气;5 为可市售、果肉质适中、颜色鲜亮,多汁且有香气;7 为果肉质较脆,颜色鲜亮,多汁且有香气;9 为质地脆、颜色鲜亮、多汁且香气浓厚。

1.2.3 果实硬度 沿果实赤道部位(避开缝合线部位)等距离的两个位置用刀削去 2 mm 厚果皮,用直径为 11.1 mm 的探头,测试距离为 10 mm,以探头插入果肉时受到最大阻力即为果实硬度(N),10 个果实为 1 个重复,取平均值。

1.2.4 腐烂率测定 腐烂率(%) = 发病果实个数/各处理总果数  $\times 100$

1.2.5 相对电导率的测定 参照罗琴等<sup>[10]</sup>的方法,测定果肉相对电导率。

1.2.6 出汁率的测定 参照陈京京等<sup>[16]</sup>的方法,将切取的直径 9 mm,厚 10 mm 的样品块放入已称质量的装有吸水纸的离心管( $W_1$ )中,并称重( $W_2$ ),1500  $\times$  g 离心 10 min 后取出果肉并称重( $W_3$ ),果肉出汁率根据公式:出汁率(%) =  $(W_3 - W_1)/(W_2 - W_1) \times 100$  进行计算。

1.2.7 细胞结构观察 根据 Hu 等<sup>[17]</sup>的方法,在桃果实贮藏 6 d 时,用单面刀片切去 5 mm 厚桃果皮组织,将暴露的果肉组织切成 3 mm<sup>3</sup> 正方体小块,投入含有 4% 多聚甲醛和 2% 戊二醛溶液在 4  $^{\circ}\text{C}$  下固定 24 h,后经 1% 锇酸固定,系列乙醇脱水,叔丁醇置换后,将样品放入冷冻干燥机在 -53  $^{\circ}\text{C}$  下干燥 12 h,最后将制备的样品粘于样品台并在扫描电子显微镜下观察并照相。

1.2.8 X 射线微区分析 参照 Kerton 等<sup>[18]</sup>的方法,将切取样品数块迅速投入液氮中,1 min 后将样品冷冻干燥 8 h 后,将样品粘于样品台并用 X 射线能谱仪测定样品中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  原子百分比。能谱仪测试条件:加速电压 20 kV,电子束流  $1.5 \times 10^{-10}$  A,工作距离 15 mm,工作时间 120 s,每个时间点各处理测定 15 个果实。

1.2.9 低场核磁共振分析 参照 Lagnika 等<sup>[19]</sup>的方法,用打孔器切取直径为 9 mm,厚 15 mm 的果肉柱状小块,放入永久磁场中心的射频线圈中进行检测,采用 CPMG(Carr-Purcell-Meiboom-Gill)脉冲序列检测样品中自旋-自旋弛豫时间( $T_2$ )并记录信号相应峰值,实验参数如下:90 $^{\circ}$  pulse length = 13  $\mu\text{s}$ ,180 $^{\circ}$  pulse length = 25  $\mu\text{s}$ ,dwell time = 1  $\mu\text{s}$ ,echo time = 160  $\mu\text{s}$ ,total echo count = 10000,其他设置均为默认值,每个处理重复测定 5 次。

### 1.3 数据统计

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.05 版数据处理软件进行数据处理和 Duncan 多重比较法检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 微酸性电解水结合钙处理对果实口感、硬度和腐烂率影响

由图 1 可看出,SAEW 结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理能够较好的维持果实脆性和浓厚香气、多汁、抑制果实腐烂。虽然 SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独处理果实的脆性较低但仍具市售价值,且贮藏 6 d 时对照组果实香气已完全丧失,果肉败絮褐变,腐烂率高达 19% (图 1A 和 C)。随贮藏时间延长,各处理果实硬度均呈下降趋势,其中,对照组果实在货架贮藏 6 d 时硬度下降了 91%,而 SAEW、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  以及结合处理果实硬度显著高于对照( $p < 0.05$ ),其中结合处理果实硬度仅下降了 50% (图 1B)。上述结果表明,SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独或结合处理都能延缓‘久保’桃软化、抑制果实腐烂,其中结合处理果实效果最好。

### 2.2 微酸性电解水结合 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对果肉相对电导率和出汁率影响

相对电导率是衡量果实细胞伤害程度的重要生理指标,代表细胞膜透性。由图 2A 可知,各处理果实在贮藏过程中相对电导率均呈上升趋势,其中贮藏 6 d 时,对照组果实相对电导率增加了 95%,而

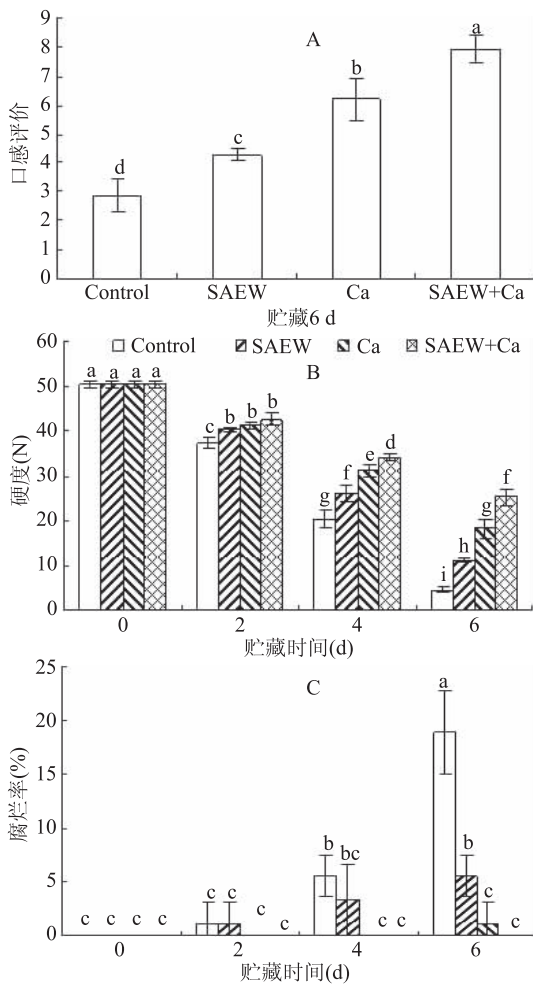


图1 微酸性电解水结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

对‘久保’桃果实口感、硬度和腐烂率的影响

Fig.1 Effects of SAEW in combination with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  on texture score, fruit firmness and decay incidence in ‘Okubao’ peach during storage

注:小写字母不同者表示经 Duncan 多重比较法检验,并在 0.05 水平上差异显著;相同字母则表示差异不显著( $p > 0.05$ )。图2、图4 同。

SAEW、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  以及结合处理果实分别增加了 61%、52% 和 49%。周然等<sup>[11]</sup>在研究微酸性电解水对水蜜桃护色保鲜机制过程中,同样发现经 SAEW 处理果实的细胞膜透性显著降低,提高对采后水蜜桃的护色保鲜效果。此外,贮藏过程中对照组果实出汁率呈先上升后下降趋势(图 2B)。单体敏等<sup>[20]</sup>研究发现,桃熟后,果肉出汁率同样呈上升趋势,此时桃果肉软化呈柔软且多汁的特性,但后期由于桃内部果肉发生褐变、风味下降等,虽能软化,但果肉呈絮状败坏现象,果肉出汁率严重下降;而 SAEW、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  以及结合处理的果实出汁率在整个贮藏过程中稳定增加,说明 SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独或结合处理都能够延缓‘久保’桃果实正常后熟,抑制果肉絮状败坏现象发生。

### 2.3 微酸性电解水结合 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对果肉细胞结构的影响

由图 3 可知,贮藏 6 d 时,对照组果肉薄壁细胞

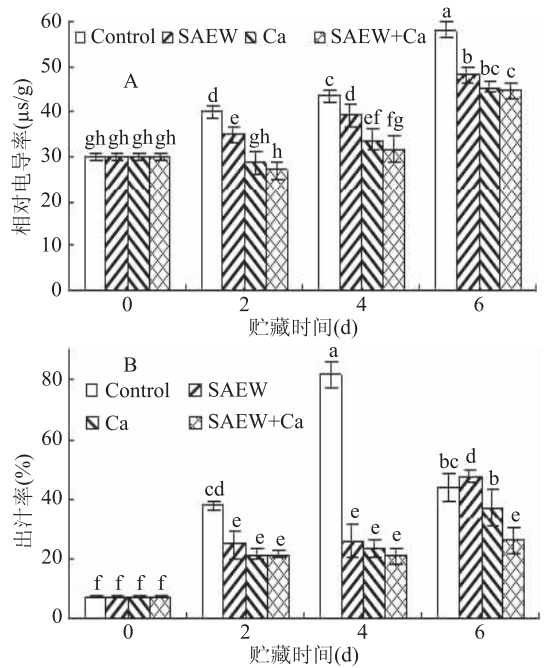


图2 弱酸性电解水结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

对‘久保’桃果肉相对电导率和出汁率的影响

Fig.2 Effects of SAEW in combination with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  on relative electrical conductivity during storage and juice yield in ‘Okubao’ peach

层无明显细胞轮廓且大量细胞严重挤压。SAEW 处理虽能观察到部分呈椭圆形的薄壁细胞,但大部分细胞仍无明显边界,细胞形状皱褶。与  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理果实相比,结合处理的果肉薄壁细胞大部分都具有清晰的细胞轮廓,细胞排列紧密且呈近圆或椭圆形(图 3)。果实经电解水浸泡处理后,电解水中  $\text{ClO}^-$  以及  $\text{H}^+$  等离子可通过果实表皮进入到内部,进而影响细胞膜电位和胞内外  $\text{H}^+$  浓度,提高胞内物质运输,延长果实寿命<sup>[21]</sup>。此外,前期研究发现,SAEW 也能激活果实酶促和非酶促抗氧化系统,清除衰老过程中氧自由基的生成,减轻细胞膜系统损伤,且加入  $\text{Ca}^{2+}$  后,稳定了细胞膜内外电势差,加固细胞壁,抑制果胶水解以及细胞壁降解酶活性<sup>[15]</sup>,因而能够

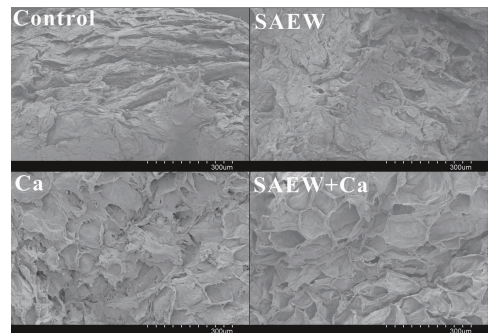


图3 贮藏 6 d 微酸性电解水结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对‘久保’桃薄壁细胞结构的影响(700 ×)

Fig.3 Effects of SAEW in combination with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  on parenchyma cell structure of pulp tissue in ‘Okubao’ peach after 6 d of storage(700 ×)

更有效地维持果肉细胞结构稳定。

## 2.4 微酸性电解水结合 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对果实内部 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{K}^+$ 含量影响

X 射线微区分析可直观反映果实组织微区元素含量变化<sup>[19]</sup>。由图 4 可知,经贮藏 6 d,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独及结合 SAEW 处理果实的  $\text{Ca}^{2+}$  峰值和原子百分比显著高于对照和 SAEW 处理。此外,  $\text{K}^+$  峰值和原子百分比在各处理和对照之间无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 表明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独以及结合处理均能提高果实对  $\text{Ca}^{2+}$  吸收, 增加胞壁中  $\text{Ca}^{2+}$  含量, 但不影响  $\text{K}^+$  含量。

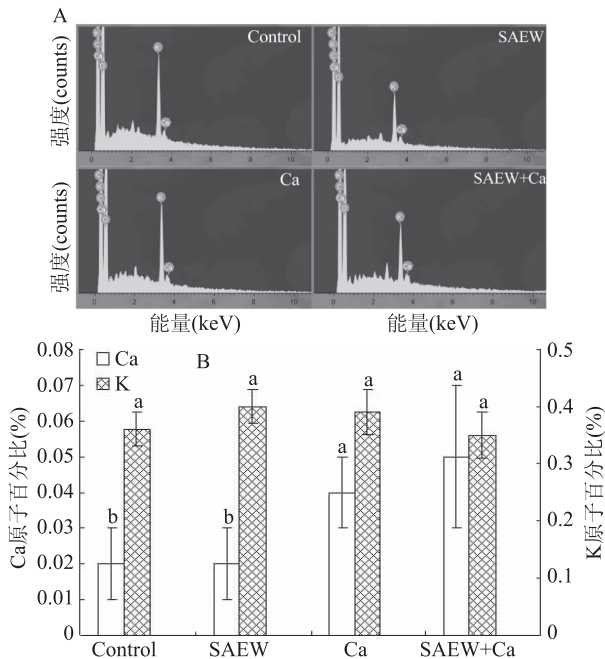


图4 贮藏 6 d 微酸性电解水结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对‘久保’桃果肉的 X 射线能量微区分析以及  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  含量影响

Fig.4 Effects of SAEW in combination with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  on microanalysis of X-ray energy spectra intensity,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  contents of pulp tissue in ‘Okubao’ peach after 6 d of storage

## 2.5 微酸性电解水结合 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对果肉水分移动的影响

通过低场核磁共振检测桃果实贮藏过程  $T_2$  弛豫时间及特征峰变化, 发现各处理图谱中均含有 4 个特征峰, 分别代表细胞壁水 ( $T_2, 0\sim 5$  ms)、细胞质水 ( $T_2, 5\sim 15$  ms)、细胞间质水 ( $T_2, 100\sim 200$  ms) 和液泡水 ( $T_2, 1000\sim 1300$  ms)<sup>[22]</sup>。由表 1 可知, 对照组细胞壁水的峰面积在贮藏第 2 d 时达到最高, 随后迅速下降, 但弛豫时间  $T_2$  无显著变化, 推测水分是从胞内转移至胞外细胞壁, 增加其水分含量, 但在贮藏后期由于水分散失造成其含量下降; 而其他处理组细胞壁水的峰面积均在贮藏第 4 d 出现高峰, 说明 SAEW、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  以及结合处理能够延缓水分由胞内向胞外移动。弛豫时间  $T_2$  延长表示该组织部位中含有丰富的自由水, 同时各项生理代谢活性将随自由水含量增加而增强<sup>[23]</sup>。对照组从贮藏开始细胞质水的峰面积和弛豫时间  $T_2$  显著高于其他处理, 表明 SAEW、

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  及结合处理均能降低细胞质中水分移动及自由水生成速率。此外, 与对照组相比, SAEW、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  及结合处理抑制贮藏第 2 d 细胞间质水的峰面积和弛豫时间  $T_2$  增加, 其中以结合处理的抑制效果最为显著, 说明  $\text{Ca}^{2+}$  在维持细胞间质水的交换平衡中发挥重要作用。所有处理组液泡水的峰面积在贮藏第 2 d 均达到最高值, 随后下降, 其中在贮藏第 6 d 对照组峰面积最低, 而结合处理峰面积最高, 表明果实贮藏 2 d 时由于细胞质和细胞间质中大分子物质降解, 水分从液泡向上述部位快速转移, 自由水含量增加, 又受贮藏时间延长和外界环境因素等影响, 使得细胞壁、细胞间质和液泡中水分快速散失, 加速果实软化衰老进程<sup>[24]</sup>, 而 SAEW 结合  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理通过抑制液泡水向其他部位移动, 稳定细胞壁、细胞质以及细胞间质中水分。

## 3 结论

SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独或结合处理均能明显维持果实软化且多汁的口感, 抑制果实硬度下降, 减少果实腐烂率, 降低细胞膜透性并保持果肉细胞结构完整性。与 SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  单独处理相比, SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  结合处理更能显著提高果实对  $\text{Ca}^{2+}$  的吸收, 加强果实内部细胞结构稳定。通过分析贮藏过程果实内不同状态水分迁移和果实品质之间的关系可知, 细胞壁水、细胞间质水和液泡水对果实出汁率和品质的影响较大。贮藏前期, 细胞壁水、细胞间质水和液泡水快速积累, 导致果实内各项生理代谢活动增强, 胞内外大分子物质迅速降解; 随着贮藏时间延长, 果实水分散失, 细胞壁水、细胞间质水和液泡水快速下降, 果肉呈絮状败坏现象加剧。SAEW 和  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  结合处理则可稳定细胞结构和胞内外水分移动, 从而有助于保持‘久保’桃食用品质。

## 参考文献

- [1] Liu H, Cao J, Jiang W. Changes in phenolics and antioxidant property of peach fruit during ripening and responses to 1-methylcyclopropene [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 108: 111-118.
- [2] Zheng X, Tian S, Meng X, et al. Physiological and biochemical responses in peach fruit to oxalic acid treatment during storage at room temperature [J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 156-162.
- [3] Manganaris GA, Vasilakakis M, Diamantidis G, et al. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits [J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1385-1392.
- [4] Flores FB, Sánchez-Bel P, Valdenegro M, et al. Effects of a pretreatment with nitric oxide on peach (*Prunus persica* L.) storage at room temperature [J]. European Food Research and Technology, 2008, 227(6): 1599-1611.
- [5] Aghdam MS, Hassanpouraghdam MB, Paliyath G, et al. The language of calcium in postharvest life of fruits, vegetables and flowers [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 144(3): 102-115.
- [6] 李萍, 韩涛, 李丽萍, 等. 超声波结合钙处理对桃果实采后活性氧代谢的影响 [J]. 林业科学, 2007, 43(8): 36-40.

表1 微酸性电解水结合 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 对果肉水分分布的低场能谱核磁共振分析  
Table 1 Effects of SAEW in combination with Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> on water distribution and mobility of pulp tissue by analysis with low-field nuclear magnetic resonance

水分分布部位	处理	指标	贮藏时间(d)			
			0	2	4	6
细胞壁	Control	峰面积(counts)	126 <sup>e</sup>	160 <sup>d</sup>	137 <sup>e</sup>	98 <sup>f</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
	SAEW	峰面积(counts)	126 <sup>e</sup>	140 <sup>e</sup>	198 <sup>c</sup>	186 <sup>cd</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	Ca	峰面积(counts)	126 <sup>e</sup>	172 <sup>d</sup>	221 <sup>b</sup>	187 <sup>cd</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	SAEW + Ca	峰面积(counts)	126 <sup>e</sup>	185 <sup>cd</sup>	246 <sup>a</sup>	218 <sup>b</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
细胞质	Control	峰面积(counts)	109 <sup>c</sup>	133 <sup>a</sup>	129 <sup>a</sup>	119 <sup>b</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	11 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>
	SAEW	峰面积(counts)	109 <sup>c</sup>	90 <sup>d</sup>	84 <sup>de</sup>	92 <sup>d</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	11 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>
	Ca	峰面积(counts)	109 <sup>c</sup>	74 <sup>e</sup>	85 <sup>de</sup>	89 <sup>d</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	11 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>
	SAEW + Ca	峰面积(counts)	109 <sup>c</sup>	56 <sup>f</sup>	78 <sup>e</sup>	87 <sup>d</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	11 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>
细胞间质	Control	峰面积(counts)	544 <sup>e</sup>	1034 <sup>a</sup>	716 <sup>b</sup>	590 <sup>de</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	107 <sup>c</sup>	132 <sup>a</sup>	123 <sup>b</sup>	103 <sup>cd</sup>
	SAEW	峰面积(counts)	544 <sup>e</sup>	736 <sup>b</sup>	672 <sup>c</sup>	594 <sup>d</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	107 <sup>c</sup>	123 <sup>b</sup>	110 <sup>c</sup>	103 <sup>cd</sup>
	Ca	峰面积(counts)	544 <sup>e</sup>	604 <sup>d</sup>	593 <sup>d</sup>	697 <sup>bc</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	107 <sup>c</sup>	110 <sup>c</sup>	108 <sup>c</sup>	113 <sup>c</sup>
	SAEW + Ca	峰面积(counts)	544 <sup>e</sup>	564 <sup>de</sup>	579 <sup>de</sup>	553 <sup>e</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	107 <sup>c</sup>	97 <sup>d</sup>	97 <sup>d</sup>	105 <sup>cd</sup>
液泡	Control	峰面积(counts)	7279 <sup>g</sup>	11377 <sup>a</sup>	8905 <sup>e</sup>	6943 <sup>b</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1000 <sup>a</sup>
	SAEW	峰面积(counts)	7279 <sup>g</sup>	10618 <sup>bc</sup>	10518 <sup>c</sup>	8661 <sup>f</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1000 <sup>a</sup>
	Ca	峰面积(counts)	7279 <sup>g</sup>	10877 <sup>b</sup>	10544 <sup>c</sup>	9147 <sup>c</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1000 <sup>a</sup>
	SAEW + Ca	峰面积(counts)	7279 <sup>g</sup>	10927 <sup>b</sup>	10623 <sup>c</sup>	9485 <sup>d</sup>
		弛豫时间 T <sub>2</sub> (ms)	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1072 <sup>a</sup>	1001 <sup>a</sup>

注:同一指标各处理不同时间之间小写字母不同者表示经 Duncan 多重比较法检验,并在 0.05 水平上差异显著;相同字母则表示差异不显著(p > 0.05)。

[7] 王颖,范春丽,范芳.壳聚糖和氯化钙复合涂膜对杨桃的保鲜效果[J].河南农业科学,2012,41(3):125-128.  
 [8] 千春录,米红波,赵宇琪,等.氯化钙和热处理对水蜜桃低温贮藏品质和氧化还原状态的影响[J].中国食品学报,2013,13(2):137-142.  
 [9] Huang YR, Hung YC, Hsu SY, et al. Application of electrolyzed water in the food industry[J].Food Control,2008,19(4):329-345.  
 [10] 罗琴,祖云鸿,石开琼,等.微酸性电解水去除蔬菜农药残留效果的研究[J].食品安全质量检测学报,2014(11):3657-3663.  
 [11] 周然,谢晶,高启耀,等.微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J].农业工程学报,2012,28(18):281-286.

[12] Eda H, Seckin AM. The effect of different electrolyzed water treatments on the quality and sensory attributes of sweet cherry during passive atmosphere packaging storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 102:32-41.  
 [13] 于晓霞,李燕,宋星,等.不同清洗液对鲜切哈密瓜品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(4):324-327.  
 [14] Tomás-Callejas A, Martínez-Hernández GB, Artés F, et al. Neutral and acidic electrolyzed water as emergent sanitizers for fresh-cut mizuna baby leaves [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(3):298-306.  
 [15] Zhi HH, Liu QQ, Dong Y, et al. Effect of calcium dissolved in slightly acidic electrolyzed water on antioxidant system, calcium distribution, and cell wall metabolism of peach in relation to fruit browning [J]. The Journal of Horticultural Science and

Biotechnology, 2017; 1-9.

[16] 陈京京, 金鹏, 李会会, 等. 低温贮藏对桃果实冷害和能量水平的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 275-281.

[17] Hu LY, Hu SL, Wu J, et al. Hydrogen sulfide prolongs postharvest shelf life of strawberry and plays an antioxidative role in fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(35): 8684-8693.

[18] Kerton M, Newbury HJ, Hand D, et al. Accumulation of calcium in the centre of leaves of coriander (*Coriandrum sativum* L.) is due to an uncoupling of water and ion transport[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(1): 227-235.

[19] Lagnika C, Zhang M, Mothibe KJ. Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 82(4): 87-94.

(上接第 274 页)

佳; 130 ℃ 烘干使茶叶含有 N-乙基吡咯、2-乙酰基吡咯、苯乙酮、邻甲基苯乙酮、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪等高火香成分, 茶叶显高火香, 此外, 130 ℃ 烘干使茶叶产生有刺激性并且有毒的苯乙腈、邻甲基苯腈, 不利于绿茶良好香气形成。可见: 110 ℃ 烘干茶叶更有利于崂山绿茶良好香气的形成。

### 参考文献

[1] 罗正飞, 陈继伟, 凌光云, 等. 茶叶香气分析方法研究进展[J]. 茶叶通讯, 2011, 38(1): 40-43.

[2] 陆松侯, 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 3-5.

[3] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 192-193.

[4] 山西贞. 茶叶香气受产地、品种、施肥量、制茶法左右[J]. 茶, 1994(1): 18-24.

[5] 王华夫. 茶叶香型与芳香物质[J]. 中国茶叶, 1989, 11(2): 16-17.

[6] 张超. 茶叶香气成分以及香气形成的机理研究进展[J]. 福建茶叶, 2005(3): 17-19.

[7] 李春美, 窦宏亮, 党美珠, 等. 绿茶茶汤香气成分提取方法的比较研究[J]. 食品科技, 2009, 34(10): 99-103.

[8] 朱旗, 施兆鹏, 任春梅. 香气提取方法对绿茶主要生化成分的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2001, 27(4): 292-294.

[9] 韩孝坤. 茶叶香气化学及超临界处理对茶叶香气影响的研究浙江[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.

[10] 朱旗, 施兆鹏, 任春梅. 绿茶香气不同提取方法的研究[J]. 茶叶科学, 2011, 21(1): 38-43.

[11] 王峰, 曹福亮, 张洪娟. SPME 法与 SDE 法测定雨花茶香气成分比较[J]. 林业科技开发, 2010, 24(3): 123-125.

[12] 董迹芬. 绿茶干燥过程主要挥发性物质的变化规律研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

[13] Ouyang G, pawlisyzyn J. SPME in environmental analysis[J]. Anal Bionanal Chem, 2006, 386(4): 1059-1073.

[14] Kataoka H, Lord H L, Pawlisyzyn J. Application of solid-phase microextraction in food analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2000(880): 35-62.

[20] 单体敏, 金鹏, 许佳, 等. 外源甜菜碱处理对冷藏桃果实冷害和品质的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(11): 2244-2252.

[21] 肖卫华, 李里特, 李再贵, 等. 电生功能水对草莓的保鲜实验研究[J]. 食品科学, 2003, 24(5): 152-155.

[22] Mitchell J, Gladden LF, Chandrasekera TC, et al. Low-field permanent magnets for industrial process and quality control [J]. Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, 2014, 76(76): 1-60.

[23] Taglienti A, Sequi P, Cafiero C, et al. Hayward kiwifruits and plant growth regulators: Detection and effects in post-harvest studied by magnetic resonance imaging and scanning electron microscopy[J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 731-736.

[24] 朱丹实, 梁洁玉, 吕佳煜, 等. 秋红李子贮藏过程中水分迁移对其质构的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 100-105.

[15] Kumazawa T, Lee X P, Sato K, et al. Solid-phase microextraction and liquid chromatography/mass spectrometry in drug analysis[J]. Analytica Chimica Acta, 2003(492): 49-67.

[16] Augusto F, Valente A L P. Application of solid phase microextraction to chemical analysis of live biological samples [J]. Trends in Analytical Chemistry, 2002(21): 428-438.

[17] 范文来, 张艳红, 徐岩. 应用 HS-SPME 和 GC-MS 分析白酒大曲中微量挥发性成分[J]. 酿酒科技, 2007(12): 74-78.

[18] Tai-Xin Yue, Ming Chi, Chang-Zheng Song, et al. Aroma characterization of cabernet sauvignon wine from the plateau of yunnan (China) with different altitudes using SPME-GC/MS [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(7): 1584-1596.

[19] So Hyeon Jeon, Jeoung Hwa Shin, Yong Pyo Kim, et al. Determination of volatile alkylpyrazines in microbial samples using gas chromatography-mass spectrometry coupled with head space-solid phase microextraction [J]. Journal of Analytical Science and Technology, 2016, 7(1): 1-8.

[20] 周谋明, 蔡宇, 冯云子, 等. HS-SPME-GC-MS-GC/O 联用分析酱油中的香气活性化合物[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 204-212.

[21] Min Liu, Fucan Xie, Renrong Cao, et al. Effect of different cover cultivations in later summer on aroma constituents of autumn tea (*Camellia sinensis* L.) [J]. Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 2014, 3(4): 1-6.

[22] 吕海鹏, 杨婷, 朱荫, 等. 西湖龙井茶 HS-SPME/GC-MS 香气指纹图谱研究[J]. 现代食品科技, 2015(31): 339-347.

[23] 刘志红. 气相色谱-质谱联用技术在天然药物中的应用[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2011, S1: 141-144.

[24] 兰欣, 汪东风, 张莉, 等. HS-SPME 法结合 GC-MS 分析崂山绿茶的香气成分[J]. 食品与机械, 2012(5): 96-101.

[25] 汪琦, 赵贵福, 张新富, 等. 4 个茶树品种与季节对绿茶香气成分特征的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 102-107.

[26] 宛晓春, 夏涛. 茶树次生代谢[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 132-133.

[27] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.