微酸电解水结合不同钙源处理改善“尖脆”枣果实采后货架品质

支欢欢[1]，刘琦琦[1]，徐娟[2]，王黎明[1]，纵伟[1]
（1.郑州轻工业学院食品与生物工程学院，河南郑州 450002）（2.好想你枣业股份有限公司，河南新郑 451161）

摘要：以“尖脆”枣为试材，采用微酸性电解水(SAEW)、1% $Ca(OAc)_2$、1% $Ca(NO_3)_2$、0.005% $Ca(ClO)_2$单独浸泡处理，以及SAEW结合1% $Ca(OAc)_2$或1% $Ca(NO_3)_2$处理，以水处理为对照，测定20 ℃贮藏过程中果实硬度、可溶性固形物含量(SSC)、果面亮度、果实口感、腐烂率、丙二醛(MDA)、总酚(TP)、总黄酮(TF)、DPPH清除力、铁离子还原能力(FRAP)以及总钙(Ca^{2+})含量的变化。结果表明，与对照组相比，各处理组在贮藏过程中均可维持较高的果实品质，提高其抗氧化活性，延缓果实衰老。此外，SAEW结合$Ca(OAc)_2$处理优于单一$Ca(OAc)_2$、$Ca(NO_3)_2$、$Ca(ClO)_2$处理或SAEW结合$Ca(NO_3)_2$处理，显著抑制果实硬度和口感下降，延缓SSC损失、降低腐烂率，抑制MDA积累、延缓TP和TF含量下降，保持较高的DPPH清除能力和FRAP还原力，并提高果实中Ca^{2+}含量。SAEW结合1% $Ca(OAc)_2$处理对维持“尖脆”枣采后品质，延长贮藏寿命具有重要作用。

关键词：“尖脆”枣；微酸性电解水；钙源；贮藏品质；抗氧化
文章篇号：1673-9078(2018)09-45-50 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.008

Slightly Acidic Electrolyzed-Water in Combination with Different Calcium Sources Improved Storage Quality of “Jiancui” Jujube Fruit during Shelf-life Storage

ZHI Huan-huan[1], LIU Qi-qi[1], XU Juan[2], WANG Li-ming[1], ZONG Wei[1]
(1.College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)
(2.Haoxiangni Jujube Industry Co. Ltd., Xinzheng 451161, China)

Abstract: This study evaluated the effects of slightly acidic electrolyzed-water (SAEW), 1% $Ca(OAc)_2$, 1% $Ca(NO_3)_2$, 0.005% $Ca(ClO)_2$, and SAEW in combination with 1% $Ca(OAc)_2$ or 1% $Ca(NO_3)_2$ on quality attributes i.e. fruit firmness, soluble solids content (SSC), skin brightness, sensory quality, decay, malondialdehyde (MDA), total phenols (TP), total flavonoid (TF), DPPH · scavenging capacity, ferric reducing antioxidant power (FRAP), and total calicum (Ca^{2+}) content of “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage. Results showed that, compared to the control fruit, all treated fruit maintained good storage quality and antioxidant capacity and retarded fruit senescence. Additionally, SAEW in combination with $Ca(OAc)_2$ was the most effective treatment. It significantly inhibited the decrease of firmness and sensory scores; reduced the losses in SSC, decay and the accumulation of MDA; delayed the decrease of TP and TF; maintained strong DPPH · scavenging capacity and ferric reducing antioxidant power, and high Ca^{2+} content in fruit. Overall, SAEW in combination with 1% $Ca(OAc)_2$ treatment can be used for maintaining fruit quality and prolong shelf life.

Key words: “Jiancui” jujube; slightly acidic electrolyzed -water; calcium sources; storage quality; antioxidant

“尖脆”枣（*Zizyphus Jujuba* Mill.）又称长脆枣或辣椒枣，外形独特、呈长锥形、形似辣椒，果皮呈紫红色具有光泽。“尖脆”枣成熟期早，鲜食品质优良，果皮薄，果肉致密，汁液较多，口感很好，受到广大消费者的喜爱[1]。“尖脆”枣成熟期为8月下旬至9月上旬，采收期短，在常温条件下贮藏容易发生褐变、腐烂，难以实现长距离运输，严重影响其商业价值。目前，鲜有对“尖脆”枣贮藏保鲜方面的研究，亟需寻找一种合适的保鲜手段。

酸性电解水又称氧化还原电位水，由电解稀氯化

收稿日期：2018-05-01
基金项目：国家自然基金项目（31501539）；郑州轻工业学院博士科研启动基金项目（2014BSJJ028）
作者简介：支欢欢（1982-），女，博士，讲师，研究方向：果蔬贮藏保鲜
通讯作者：纵伟（1965-），男，博士，教授，研究方向：果蔬加工及安全控制

钠或稀盐酸溶液得到，并根据 pH 值、有效氯质量浓度（ACC）和氧化还原电位（ORP）的不同，分为强酸性电解水（pH<2.7，ACC 为 20~200 mg/L，ORP 为 900~1200 mV）、弱酸性电解水（pH 2.7~5.0，ACC 为 10~60 mg/L，ORP 为 700~900 mV）和微酸性电解水（pH 5.0~6.5，ACC 为 10~30 mg/L，ORP 为 700~900 mV）[2]。微酸性电解水（SAEW）已在 2002 年被日本厚生劳动省认定为食品添加剂[3]，此外，SAEW 还被广泛应用于果蔬病虫害防治、采后清洁杀菌[4~8]，以及食品加工[9]等方面。近年来研究发现，SAEW 能够改善采后果实贮藏性能，例如：抑制鲜切梨[2]中多酚氧化酶活性、延缓樱桃[10]果实硬度降低，维持较高的果实品质。采后钙处理也广泛应用于果蔬加工，但目前果蔬清洗环节仍主要采用次氯酸钠或次氯酸钙处理，虽然次氯酸钙相比次氯酸钠费用较高，却能有效提高果实中钙含量，抑制软化的发生，延长果实寿命。因此，本试验利用 SAEW 以及不同钙源单独或结合处理“尖脆”枣果实，分析在货架贮藏过程中果实品质特征和抗氧化活性变化，为其贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

“尖脆”枣于 2016 年 8 月采自河南省新郑市孟庄村果园，选择大小均一、无机械损伤、无病虫害的果实，并在 2 h 内运回郑州轻工业学院食品与生物工程学院实验室进行处理。

微酸性水生成器：CE7300-030 型，广州赛爱环境保护技术开发有限公司；硬度计：GY-4 型，浙江托普仪器有限公司；高速冷冻离心机：HC-3618R 型，安徽中科中佳科学仪器有限公司；紫外可见分光光度计：T6 型，北京普析通用仪器有限公司；便携式手持折光仪：PAL-1 型，日本 Atago 公司；色差计：SC-80C 型，北京康光光学仪器有限公司；微波消解仪：MARS 6 型，美国 CEM 公司；原子吸收分光光度计：AA-240FS 型，美国瓦里安仪器有限公司。

1.2 处理方法

将果实随机分成 7 组，每组用果 135 个，随后放入 7 个 5 L 塑料箱，分别加入水（Control）、微酸性电解水（SAEW）、1%（*m/V*）$Ca(OAc)_2$ 溶液（CA）、1% $Ca(NO_3)_2$ 溶液（CN）、0.005% $Ca(ClO)_2$ 溶液（CH）、含有 1% $Ca(OAc)_2$ 的微酸性电解水（SAEW+CA）和含有 1% $Ca(NO_3)_2$ 的微酸性电解水（SAEW+CN），浸泡处理 20 min，晾干后置于 20 ℃和相对湿度为 75% 下贮藏 6 d，每隔 2 d 测定相应指标，每个时间点各处理用果 45 个，每个重复 15 个。

1.3 测定指标

1.3.1 果实硬度和可溶性固形物含量的测定

沿果实赤道部位等距离的两个位置用刀片削去果皮，用 GY-4 型数字硬度计测定果实硬度，单位为 kg/cm^2。采用 PAL-1 型便携式手持折光仪，直接取汁测定可溶性固形物（%）含量。

1.3.2 果面亮度和腐烂率的测定

用 SC-80 型色差计测定每个果实赤道处对称两面的果面亮度，结果用 *L**值表示，取平均值。腐烂率(%)=发病果实个数/各处理总果数×100。

1.3.3 感官评价

选 10 个经过培训有经验的人员进行感官评定，根据果肉质地脆嫩、外观、有无香气、甜度和酸度五项指标对各阶段不同处理的果实进行打分，具体细则参照表 1，记录总分，取平均值。

1.3.4 丙二醛含量的测定

丙二醛(MDA)含量参照 Yuan 等[11]硫代巴比妥酸法，取 1 g 果肉加入 5 mL 10% TCA，4 ℃下 10000 r/min 离心 15 min，取 2 mL 上清液和 2 mL 0.67% TBA 混合，沸水浴 20 min 后，冰水浴 5 min 终止反应，测定 450 nm、532 nm 和 600 nm 处吸光度，按公式：$MDA=6.45\times(A_{532}-A_{600})-0.56\times A_{450}$，计算 MDA 浓度，单位 μmol/kg FW。

1.3.5 总酚和总黄酮含量的测定

取果实冷冻粉碎样品 0.5 g 加入 5 mL 乙醇：丙酮（7:3，*V/V*）溶液，匀浆后于 4 ℃下 10000 r/min 离心 20 min，收集上清液于-20 ℃贮藏备用。总酚(TP)含量参照 Du 等[12]福林酚法。取 0.05 mL 上述提取液与 0.25 mol/L 福林酚溶液混匀，3 min 后加入 1 mol/L Na_2CO_3 反应，室温黑暗条件下孵育 2 h 后，测定 765 nm 处吸光度，根据没食子酸标准曲线计算 TP 含量，表示为 mg/g FW。总黄酮(TF)含量参照 Peter 等[13]氯化铝比色法，取 0.5 mL 上述提取液与 30%乙醇、0.5 mol/L $NaNO_2$、0.3 mol/L $AlCl_3$ 混匀，5 min 后加入 1 mol/L NaOH，测定 506 nm 处吸光度，根据芦丁标准曲线计算 TF 含量，表示为 mg/g FW。

1.3.6 DPPH 清除能力和铁离子还原能力测定

DPPH 清除能力参照 Peter 等[13]方法，将上清液稀释 5 倍，取 50 μL 稀释液与 62.5 μmol/L 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼混合，37 ℃暗反应 30 min，冷却至室温后，在 517 nm 处测定吸光度，根据水溶性维生素 E（Trolox）的标准曲线计算 DPPH·自由基清除能力，

表示为 mg Trolox/g FW。铁离子还原能力(FRAP)参照 Peter[13]等方法，取 75 μL 稀释液与反应液（反应液组成：300 mmol/L 醋酸缓冲液，10 mmol/L 2,4,6-三吡啶基三嗪，20 mmol/L $FeCl_3$，按体积比 10:1:1 混合）混合，37 ℃暗反应 10 min，冷却至室温后，测定在 593 nm 处吸光度，根据 Trolox 标准曲线计算 FRAP 铁离子还原能力，表示为 mg Trolox/g FW。

1.3.7 总钙离子含量的测定

取果实冷冻粉碎样品 0.3 g，加入硝酸 8 mL，进行微波消解。将消解液转移至 25 mL 容量瓶，加入 20 g/L 氧化镧溶液后定容，然后使用 AA-240FS 原子吸收分光光度计测定总钙离子含量，单位 mg/100 g FW。

1.4 数据处理

本试验数据采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析，利用 Duncan's 新复极差法进行多重比较，$p<0.05$ 表示差异显著，采用 Microsoft Excel 2010 软件进行作图。

表 1 “尖脆”枣感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of “Jiancui” jujube fruit

评分	外观	质地	气味	甜度	酸度
5	表面光滑、果实坚挺、有光泽	果肉质地紧密、口感香脆、汁液饱满	香气浓郁	极甜	不酸
4	表面光滑、果实饱满、无光泽	果肉松脆、汁液略显饱满	带有一定香气	甜	少许酸
3	表面凹凸不平、无光泽	果肉略显松软、汁液不饱满	无异味	适中	适中
2	表面凹凸不平、果实皱缩、有裂痕无光泽	果肉松软发绵、汁少味淡	有轻微异味	少许甜	酸
1	表面凹凸不平、果实干缩、有裂痕腐烂果、无光泽	果肉干缩汁液少、木栓化严重	有强烈的异味	不甜	极酸

表 2 “尖脆”枣果实硬度、可溶性固形物、果面亮度、腐烂率及感官评价变化

Table 2 Changes of fruit firmness, soluble colids content, skin brightness, decay incidence and sensory scores for “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage

时间	处理	硬度/(kg/cm^2)	可溶性固形物/%	果面亮度(L^*)	腐烂率/%	感官评分
0 d		15.94±0.25	20.70±0.36	99.38±0.68		21.00±1.00
2 d	Control	15.32±0.75^a	18.77±0.68^b			
	SAEW	15.55±0.81^a	19.77±1.00^{ab}			
	CA	15.21±0.79^a	19.30±1.37^{ab}			
	CN	15.08±0.74^a	20.50±0.40^a			
	CH	15.04±0.14^a	19.00±0.44^b			
	SAEW+CA	15.42±0.65^a	19.63±0.61^{ab}			
	SAEW+CN	15.21±0.67^a	20.53±0.40^a			
4 d	Control	13.9±0.66^a	17.47±1.12^b			
	SAEW	15.41±1.04^a	19.87±0.84^a			
	CA	14.53±0.44^a	18.63±0.79^{ab}			
	CN	14.9±0.79^a	18.95±0.59^{ab}			
	CH	14.26±0.94^a	18.23±0.91^{ab}			
	SAEW+CA	14.98±0.80^a	18.97±0.87^{ab}			
	SAEW+CN	14.31±0.63^a	19.83±0.75^a			
6 d	Control	11.56±0.19^d	19.53±0.99^{ab}	98.76±0.48^a	10±0.5^a	15.67±0.58^c
	SAEW	15.31±0.46^a	19.93±0.61^a	98.85±0.40^a	0^c	17.00±1.00^b
	CA	14.36±0.67^{ab}	18.63±0.95^{ab}	98.83±0.34^a	0^c	15.67±1.53^{bc}
	CN	14.64±0.28^a	19.33±0.91^{ab}	98.99±0.33^a	3±0.8^b	16.00±1.00^{bc}
	CH	12.94±0.85^c	18.43±0.42^b	98.94±0.26^a	3±0.5^b	15.33±0.58^{bc}
	SAEW+CA	14.95±0.61^a	19.8±0.79^{ab}	98.87±0.27^a	0^c	19.33±1.53^a
	SAEW+CN	13.41±0.65^{bc}	16.63±0.38^c	98.73±0.30^a	0^c	16.33±1.15^{bc}

注：表中数据为均值±标准差，不同字母表示各处理在各时间点的差异显著水平（$p<0.05$）。

2 结果与分析

2.1 果实贮藏品质

果实硬度和可溶性固形物变化是反映果实贮藏品质的重要指标。由表 2 可知，贮藏期间各处理果实硬度呈下降趋势。在贮藏 4 d 内，各处理之间无明显差异。贮藏 6 d 后，对照组果实硬度下降了 28%，而 SAEW、CA、CN、CH、SAEW+CA 以及 SAEW+CN 处理组果实硬度分别下降了 4%、10%、8%、19%、6%和 16%。随着贮藏时间延长，除 SAEW+CN 处理组果实 SSC 呈降低趋势外，其他处理组均呈先下降后上升的趋势。

贮藏 6 d 后，SAEW+CN 处理组果实中 SSC 含量显著低于对照、SAEW、CA、CN、CH 和 SAEW+CA，但 SAEW、CA、CN、CH 和 SAEW+CA 处理组与对照组之间无明显差异。结果表明，SAEW 单独或与不同钙源结合处理，均可保持较高的果实硬度与 SSC，延缓衰老，这与实验室前期报道的 SAEW 结合 $Ca(NO_3)_2$ 能够抑制“久保”桃果实硬度下降结果相一致[14,15]，揭示 SAEW 可促进果实对外源 Ca^{2+}吸收，从而保护细胞壁的完整性。

本试验分析了枣果实在贮藏过程中果面亮度、感官品质和腐烂率的变化（表 2）。周然[16]等研究发现 SAEW 对水蜜桃具有较好的护色保鲜效果，而本试验结果发现，贮藏 6 d 后各处理组之间果面亮度无显著差异，但 SAEW 与 SAEW+CA 处理的果实其感官评分显著高于对照组（p<0.05）。这说明 SAEW 单独或结合不同钙源处理对枣果实表面色泽变化无明显影响。CH 与 CN 处理组的果实虽然在贮藏 6 d 后出现腐烂，但仍在市场可接受范围之内，而对照组果实口感下降，果肉松软发棉，并伴随着较高的腐烂率。表明经处理后的果实均显示出较低的腐烂率，保持果实品质。虽然 $Ca(OAc)_2$ 与 $Ca(NO_3)_2$ 单独处理能抑制腐烂发生和贮藏品质下降，但其作用效果不及两者与 SAEW 结合处理效果显著，故在后续指标中，不再对 $Ca(OAc)_2$ 或 $Ca(NO_3)_2$ 单独处理进行分析。

2.2 果实内丙二醛含量

由图 1 可见，各处理组果实随贮藏时间延长体内 MDA 含量呈上升趋势。表明果实在贮藏过程中细胞膜过氧化伤害程度逐渐加剧，膜结构和功能的完整性逐渐降低，大量细胞衰老死亡[17]。贮藏 6 d 后，对照组果实 MDA 含量相比贮藏 0 d 时增加了 66%，CH 与 SAEW+CN 处理的果实 MDA 含量分别增加了 41%和 35%。SAEW 与 SAEW+CA 处理组中 MDA 含量最低，仅增加了 16%和 12%。结果表明，SAEW 单独或结合 $Ca(OAc)_2$ 处理均能显著抑制果实内 MDA 积累。

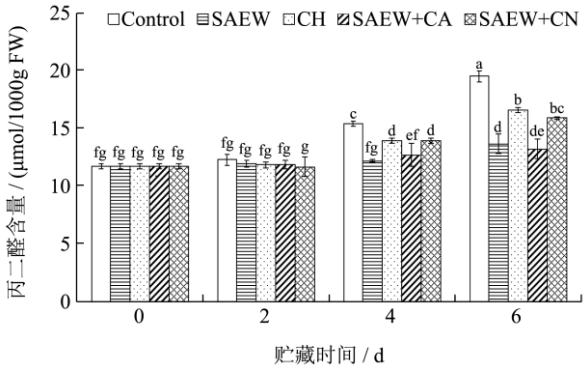


图 1 “尖脆”枣果实丙二醛含量变化

Fig.1 Change of MDA content for “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage

2.3 果实内总酚和总黄酮含量

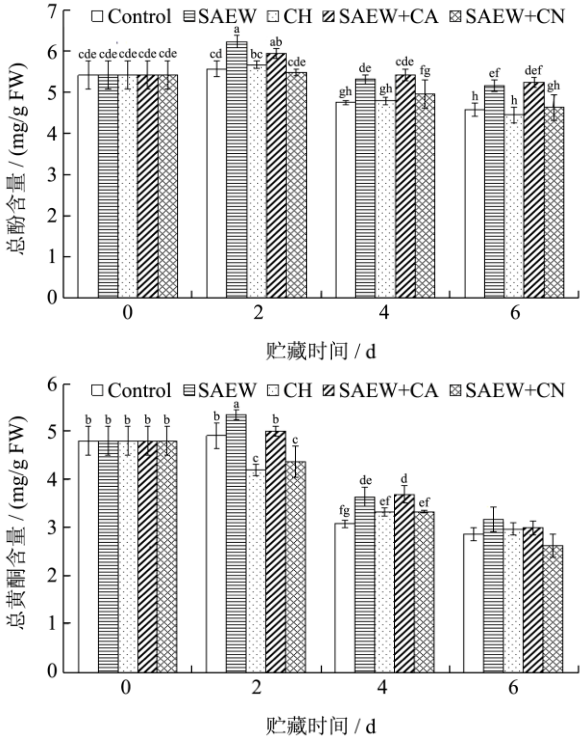


图 2 “尖脆”枣果实总酚和总黄酮含量变化

Fig.2 Changes of contents of TP and TF for “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage

如图 2 所示，在整个贮藏过程中，对照组果实 TP 和 TF 含量均呈下降趋势。虽然与对照相比，CH 和 SAEW+CN 处理未能抑制 TP 和 TF 下降，但 SAEW 和 SAEW+CA 处理组的果实却维持较高的 TP 和 TF 含量。

2.4 果实内抗氧化活性

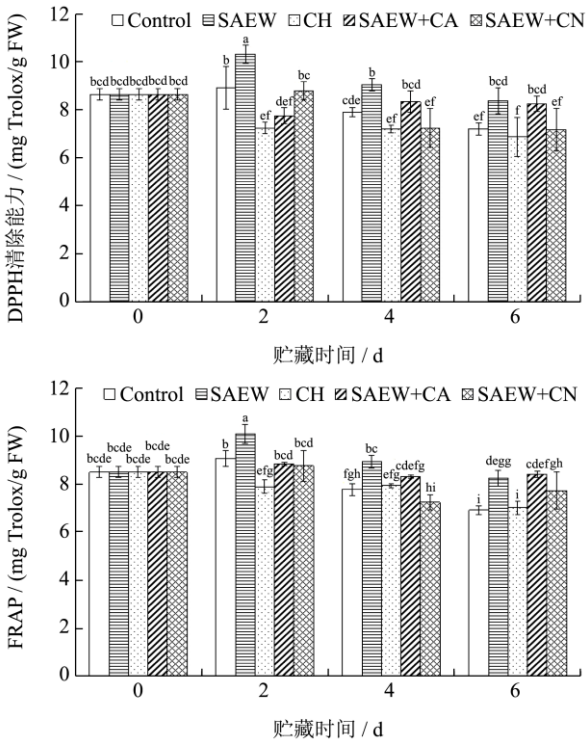


图 3 “尖脆”枣果实抗氧化活性变化

Fig.3 Change of antioxidant activities (DPPH and FRAP) for “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage

如图 3 所示，对照、CH 和 SAEW+CN 组果实 DPPH 清除能力以及 FRAP 均随贮藏延长而逐渐降低，但 SAEW 和 SAEW+CA 处理组 DPPH 清除力和 FRAP 下降较为缓慢。在贮藏 6 d 后，SAEW 和 SAEW+CA 处理组 DPPH 清除力分别下降了 3%和 5%，FRAP 分别下降了 3%和 1%，有效延长 DPPH 清除能力和 FRAP。

2.5 果实内总钙含量

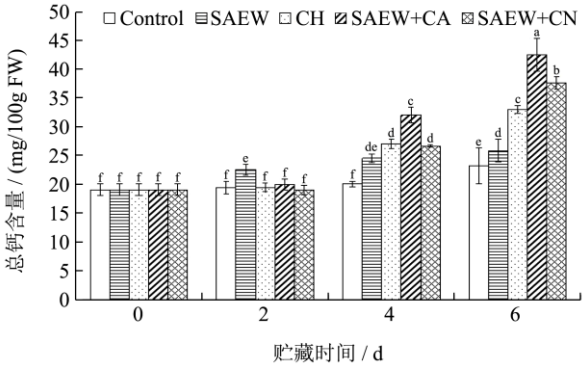


图 4 “尖脆”枣果实总钙含量变化

Fig.4 Change of total Ca^{2+} content for “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage

如图 4 所示，整个贮藏期间各处理组果实总钙含量均呈上升趋势。贮藏 6 d 后，对照、SAEW、CH、SAEW+CA 和 SAEW+CN 组果实中总钙含量分别增加了 22%、36%、73%、123%和 97%。

结果表明，SAEW 单独或结合钙处理均可提高果实中总钙含量，这与实验室前期报道的 SAEW 结合 $Ca(NO_3)_2$ 能够提高“久保”桃对外源 Ca^{2+}吸收结果相一致[14,15]，表明经 SAEW 单独或结合不同钙源处理有利于果实硬度的较好保持，其中以 SAEW+CA 处理效果最为显著。

3 结论

3.1 “尖脆”枣采后易失水皱缩、导致果肉口感变差，果实易腐烂，影响其贮藏寿命和商业价值。本试验发现，SAEW 和不同钙源单独或结合处理均可抑制果实硬度降低，减少腐烂率，延长贮藏品质。类似结果已在酸性电解水处理蓝莓[18]、不同钙源处理番茄[19]和柿子[20]中得到证实。推测 SAEW 与酸性电解水或外源钙处理一样，能够抑制细胞壁相关降解酶活性以及水溶性果胶含量增加，稳定细胞膜和细胞壁结构完整，保持果实硬度，延长贮藏品质。

3.2 无论在冷藏还是在货架条件下，随着贮藏时间延长果实体内抗氧化能力逐渐下降，由于生成大量的活性氧自由基未被及时清除，则造成膜脂质过氧化程度加剧，细胞衰老死亡。近年来研究发现，SAEW 或外源钙处理均能提高水蜜桃[16]、“久保”桃[15]和冬枣[21]等果实体内 TP、TF、抗坏血酸等非酶抗氧化物质含量，同时维持了较高的过氧化氢酶、超氧化物歧化酶等抗氧化酶活性，提高机体清除活性氧自由基造成的损伤。本试验同样发现，SAEW 单独或结合 $Ca(OAc)_2$、$Ca(NO_3)_2$ 处理也有效地抑制体内 MDA 积累，延缓 TP 和 TF 含量降低，提高果实 DPPH 清除力和 FRAP。周然等[16]分析发现 SAEW 影响胞内相关代谢水平和细胞内物质运输是通过改变细胞膜电位和膜内外 H^+浓度。而外源钙处理不但可改变细胞膜内外电势电位，同时可作用信号分子，调控胞内 Ca^{2+}浓度变化，从而调控抗氧化相关酶的表达与合成，延缓果实衰老[22]。但是不同钙源对果实采后贮藏性能影响较大。本试验发现，$Ca(ClO)_2$ 处理虽然抑制了果实品质的降低，但对其抗氧化能力影响极小，而 SAEW 结合 $Ca(OAc)_2$ 处理不但提高果实中 Ca^{2+}浓度，而且提高了果实抗氧化物质含量及抗氧化活性。因此，在“尖脆”枣果实清洗环节可将 SAEW 与 $Ca(OAc)_2$ 结合处理，对其延长贮藏品质具有重要作用。

3.3 综上所述，在 20 ℃贮藏条件下，“尖脆”枣果实经 SAEW 与不同钙源单独或结合处理均可有效延缓果实硬度下降，抑制膜脂质过氧化作用，提高 TP 和 TF 含量，维持较高的抗氧化活性水平，提高果实内钙

含量，延长果实贮藏寿命，其中以 SAEW 结合 1% $Ca(OAc)_2$ 处理果实效果最显著。

参考文献

[1] 袁国军,宋宏伟,卢绍辉,等.早熟鲜食枣新品种-“尖脆”枣的选育[J].果树学报,2014,31(2):337-338
YUAN Guo-jun, SONG Hong-wei, LU Shao-hui, et al. “Jian Cui”, an early-maturing and fresh-eating *Ziziphus jujube* variety [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(2): 337-338

[2] 赵德锟,李凌飞,谭雷姝,等.微酸性电解水对鲜切云南红梨贮藏品质影响研究[J].食品安全质量检测学报,2017,8(1): 243-251
ZHAO De-kun, LI Ling-fei, TAN Lei-shu, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water on storage quality of fresh-cut Yunnan red pear [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(1): 243-251

[3] Hao JX, Li HY, Wang YF, et al. Combined effect of acidic electrolyzed water (AcEW) and alkaline electrolyzed water (AlEW) on the microbial reduction of fresh-cut cilantro [J]. Food Control, 2015, 50: 699-704

[4] Koide S J, Takeda J I, Shi J, et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage [J]. Food Control, 2009, 20(3): 294-297

[5] Abadias M, Usall J, Oliveira M, et al. Efficacy of neutral electrolyzed water (new) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 123(1-2): 151-158

[6] Issa-Zacharia A, Kamitani Y, Muhimbula H, et al. Antimicrobial effect of slightly acidic electrolyzed water for inactivation of *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* on fresh strawberries (*Fragaria L.*) [J]. African Journal of Microbiology Research, 2010, 4(20): 2174-2180

[7] 李华贞,刘海杰,宋曙辉,等.微酸性电解水杀灭菠菜表面微生物的影响因素[J].食品科学,2011,32(17):95-99
LI Hua-zhen, LIU Hai-jie, SONG Shu-hui, et al. Factors affecting the bactericidal effect of slightly electrolyzed oxidizing water on spinach surface [J]. Food Science, 2011, 32(17): 95-99

[8] 胡朝晖,吴彤娇,李慧颖,等.微酸性电解水用于鲜切莲藕杀菌处理的实验研究[J].河北工业科技,2016,33(1):40-45
HU Zhao-hui, WU Tong-jiao, LI Hui-ying, et al. Experimental study on the disinfection of fresh-cut lotus root using slightly acidic electrolyzed water [J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2016, 33(1): 40-45

[9] Huang Y R, Hung Y C, Hsu S Y, et al. Application of electrolyzed water in the food industry [J]. Food Control, 2008, 19(4): 329-345

[10] Hayta E, Aday M S. 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

[11] Yuan GF, Sun B, Yuan J, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets [J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 774-781

[12] Du GR, Li MJ, Ma FW, et al. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in *Actinidia* fruits [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 557-562

[13] Wootton-Beard PC, Moran A, Ryan L. Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after *in vitro* digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 217-224

[14] 支欢欢,李小娟,刘琦琦,等.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[J].食品工业科技,2017,38(18):279-284
ZHI Huan-huan, LI Xiao-juan, LIU Qi-qi, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water in combination with $Ca(NO_3)_2$ on tissue structure and water mobility of peach fruit during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 279-284

[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, 92(6): 621-629

[16] 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
ZHOU Ran, XIE Jing, GAO Qi-yao, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water and carboxymethyl chitosan preservative on flesh discoloration of peaches [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 281-286

[17] Zozio S, Servent A, Hubert O, et al. Physicochemical and biochemical characterization of ripening in jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk) fruits from two accessions grown in Guadeloupe [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 175: 290-297

[18] Chen YH, Huang YC, Chen MY, et al. Effects of acidic

electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage [J]. Food Science and Technology, 2017, 84: 650-657

[19] Mansourbahman S, Ghareyazie B, Kalatejari S, et al. Effect of post-harvest UV-C irradiation and calcium chloride on enzymatic activity and decay of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit during storage [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(9): 2093-2100

[20] Naser F, Rabiei V, Razavi F, et al. Effect of calcium lactate in combination with hot water treatment on the nutritional quality of persimmon fruit during cold storage [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 233: 114-123

[21] 支欢欢,董宇,张丽华,等.$CaCl_2$ 对采后不同成熟度冬枣抗氧化及细胞壁代谢的影响[J].现代食品科技,2016,32(4):75-80
ZHI Huan-huan, DONG Yu, ZHANG Li-hua, et al. Effect of $CaCl_2$ treatment on antioxidant capacity and cell wall metabolism of post-harvest jujube fruits at different maturity stages [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 75-80

[22] Wang Y, Xie XB, Long LE, et al. The effect of postharvest calcium application in hydro-cooling water on tissue calcium content, biochemical changes, and quality attributes of sweet cherry fruit [J]. Food Chemistry, 2014, 160(11): 22-30

现代食品科技