

抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨食用品质的影响

陈敬鑫^{1,2}, 张晓寒¹, 张 媛¹, 葛永红^{1,2}, 朱丹实^{1,2}, 励建荣^{1,2}, 李永新³, 冯叙桥^{1,2*}

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 锦州 121013; 2. 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013; 3. 浙江农林大学农业与食品科学学院, 临安 311300)

摘 要: 目的 探究抗坏血酸盐浸渍冷冻处理对冻梨果实食用和营养品质的影响。**方法** 以南果梨为试验材料, 分别采用 0.5、1.0、3.0 g/L 异抗坏血酸钠和 0.5、1.0、3.0 g/L 抗坏血酸钙溶液进行浸渍冷冻, 对制得冻梨果实的色泽、褐变程度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、感官评价、石细胞含量、抗坏血酸含量和总酚含量进行分析。**结果** 与空白组相比, 异抗坏血酸钠与抗坏血酸钙溶液浸渍冷冻均可有效改善冻梨果实的色泽, 抑制其褐变程度, 维持其可溶性固形物含量, 提高可滴定酸、抗坏血酸和总酚含量, 并降低其石细胞含量, 维持其较高的感官品质。**结论** 抗坏血酸钙质量浓度为 3.0 g/L 时所得冻梨品质最优, 为传统东北冻梨加工方式提供了技术支撑。

关键词: 冻梨; 抗坏血酸盐; 浸渍冷冻; 食用品质

Effect of ascorbate immersion freezing on the edible quality of frozen pear in northeast China

CHEN Jing-Xin^{1,2}, ZHANG Xiao-Han¹, ZHANG Yuan¹, GE Yong-Hong^{1,2}, ZHU Dan-Shi^{1,2},
LI Jian-Rong^{1,2}, LI Yong-Xin³, FENG Xue-Qiao^{1,2*}

(1. College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China; 3. School of Agricultural and Food Science, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effect of ascorbate immersion freezing on the edible and nutritional quality of frozen pear fruit. **Methods** 'Nanguo' pears were treated with sodium erythorbate (0.5, 1.0, 3.0 g/L) and calcium ascorbate (0.5, 1.0, 3.0 g/L) solutions, respectively, using the immersion freezing method. The edible and nutrition quality of the obtained frozen pears was evaluated by color, browning degree, soluble solid and titratable acid content, sensory evaluation, stone cell content, ascorbic acid and total phenol content. **Results** Compared with control group, the immersion freezing process with sodium erythorbate and calcium ascorbate solutions could effectively improve fruit color, decrease their browning degree, maintain soluble solids content, and promote the contents of titratable acid, ascorbic acid and total phenol significantly. The stone cell content of fruit in experimental group was also significantly decreased. Notably, frozen pear fruit with ascorbate immersion maintained a relatively high sensory quality. **Conclusion** When the mass concentration of calcium ascorbate is 3.0 g/L, the quality of frozen pears obtained is the best, which provides technical support for the traditional processing method of northeast frozen pears.

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(31901745)、“十三五”国家重点研发计划(2017YFD0400106)

Fund: Supported by National Natural Science Fund (31901745) and National Key R&D Program (2017YFD0400106)

*通讯作者: 冯叙桥, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: feng_xq@hotmail.com

*Corresponding author: FENG Xu-Qiao, Ph.D, Professor, College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China. E-mail: feng_xq@hotmail.com

KEY WORDS: frozen pear; ascorbate; immersion freezing; edible quality

1 引言

传统冻梨是梨果实在冬季自然环境下形成的独特贮藏方式^[1]。在我国北方一直就有食用冻梨的习俗, 至今已有 1000 多年的历史^[2]。一般情况下, 冻梨是利用自然低温使果实逐渐冻结, 果皮和果肉颜色由黄色变为褐色, 果肉软化, 汁液变多, 食用风味更佳。传统冻梨与深加工产品相比, 加工手段简单, 但冻梨的营养损失较为严重。传统冻梨多为果农或商家自然冷冻, 走街串巷或在农贸市场销售, 既无商业包装, 更无品牌。经过传统方式冷冻后, 梨果实细胞壁被大量破坏, 导致非酶促褐变以及酶促褐变的发生^[3], 果实严重褐变, 维生素大量损失, 营养价值降低^[4,5], 极大地降低了冻梨的食用价值, 因此亟待对传统冻梨果实加工方式进行改进以适应现有市场需求。南果梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim. 'nanguo')是东北地区制作冻梨的常用品种之一, 是辽西地区特色秋子梨品种, 以其色泽鲜艳、果肉细腻、爽口多汁、风味香浓而深受消费者喜爱, 被冠以“梨中之王”的美称, 被农业部评为全国优良果品之一^[6-8]。

抗坏血酸盐是食品行业中重要的防腐护色剂, 可保持食品的色泽及自然风味, 延缓食品腐败, 且无任何毒副作用^[9,10]。异抗坏血酸钠(sodium erythorbate)作为抗坏血酸盐的一种, 是新型生物型食品抗氧化、防腐保鲜护色剂。异抗坏血酸钠既可抑制某些细菌的生长, 又可抑制果蔬本身的氧化酶类活性, 在果蔬保藏, 特别是罐装食品方面有着广泛的用途, 可有效改善水果罐头的外观色泽和风味质地^[11-13]。同样, 抗坏血酸钙(calcium ascorbate)作为防腐保鲜剂, 早在 1946 年就被成功研制, 其性质较抗坏血酸稳定, 机体吸收效果好, 在体内具有抗坏血酸的全部作用, 其抗氧化作用优于抗坏血酸, 而且钙的引入增强了它的营养强化作用^[14]。作为安全有效的果蔬褐变抑制剂, 异抗坏血酸钠和抗坏血酸钙在鲜切果蔬保鲜方面已得到较好的应用^[15,16]。但有关抗坏血酸盐浸渍冷冻处理对冻梨果实品质的影响却鲜见报道。

本研究以南果梨为试验材料, 使用异抗坏血酸钠和抗坏血酸钙溶液对南果梨果实进行浸渍冷冻, 研究两种抗坏血酸盐对冷冻期间冻梨果实感官及食用品质的影响, 以探讨抗坏血酸盐溶液对传统冻梨果实品质改善的可行性, 为创新发展传统冻梨加工方式提供理论和实践依据。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

南果梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim. 'nanguo')采购于锦州市太和区农贸市场, 于 1 h 内运回渤海大学综合实验楼果

蔬加工实验室, 放置于室温条件下备用。

2, 6-二氯酚靛酚、异抗坏血酸钠、抗坏血酸钙(分析纯, 上海生工生物工程有限公司); 草酸、氢氧化钠、酚酞、甲醇(分析纯, 天津市北辰方正试剂厂); 盐酸(分析纯, 锦州古城化学试剂有限公司)。

2.2 仪器与设备

PAL-1 型数显糖度计(广州市爱宕科学仪器有限公司); CR400 型色差计(日本 Konica Minolta 公司); UV-2550 型紫外分光光度计(岛津仪器(苏州)有限公司); PHS-25 型 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司); ZBS-20 小型制冰机(上海安亭科学仪器厂); BL25B36 榨汁机(广东美的电器股份有限公司); BCD-507WDPT 冰箱(青岛海尔集团)。

2.3 实验方法

2.3.1 果实处理

挑选大小一致、色泽均匀、无机械损伤及病虫害的南果梨果实, 使用市售果蔬专用洗涤液进行清洗去污, 室温下自然晾干。将清洗后的果实分别浸泡在 0.5、1.0、3.0 g/L 的异抗坏血酸钠溶液(SE0.5、SE1.0、SE3.0)及 0.5、1.0、3.0 g/L 的抗坏血酸钙溶液(CA0.5、CA1.0、CA3.0)中, 并置于 -20 °C 低温冰箱中浸渍冷冻, 48 h 后取出, 然后于 4 °C 条件下解冻 48 h。待果实完全解冻后即可进行相关指标测定。空白对照组(CK)采用模拟传统冻梨加工方式, 将果实直接置于 -20 °C 低温冰箱中冷冻; 水处理组(Water)直接将果实浸泡在纯水中进行冷冻, 空白对照组和水处理组的冷冻和解冻过程同上述试验组。

2.3.2 色差的测定

每个处理组随机取 6 个南果梨果实, 采用 CR400 型色差计(Minolt)围绕果实赤道区域取 3 点测定果皮 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 其中 L^* 值表示亮度, a^* 值表示红绿值, b^* 值为黄蓝值。重复测定 3 次。

2.3.3 褐变度的测定

参考黄文书^[17]等方法, 取冻梨果实切面约 2 mm 厚果肉 2.0 g, 加入 20 mL 蒸馏水, 冰上研磨匀浆, 在 4 °C、12000 g 条件下离心 30 min, 然后取上清液于 25 °C 水浴锅中平衡 5 min, 最后在波长 410 nm 处测定吸光度值, 重复测定 3 次。

$$\text{褐变度} = OD_{410} \times 10 \quad (1)$$

2.3.4 可溶性固形物含量的测定

参照 Li 等^[18]的方法并作修改, 采用 PAL-3 糖度计测定。取 10 个果实, 分 3 次榨汁后离心, 以二次蒸馏水调零校准。可溶性固形物以 % 表示, 重复测定 3 次。

2.3.5 可滴定酸含量的测定

可滴定酸含量的测定参考曹建康等^[19]的方法。取

5.0 g 果实置于研钵中磨碎, 转移到 50 mL 容量瓶中, 用蒸馏水定容至刻度线, 摇匀, 静置 30 min 后过滤。吸取 5.0 mL 滤液转入锥形瓶中, 加入 2 滴 1 mg/100 mL 的酚酞, 用 0.01 mol/L NaOH 溶液进行滴定, 滴定至溶液初显粉色并在 0.5 min 内不褪色, 记录消耗 NaOH 溶液的体积。用蒸馏水代替滤液作为空白对照, 重复测定 3 次。根据式(2)进行计算

$$\text{可滴定酸含量}/\% = \frac{V \times C \times (V_1 - V_0) \times f}{V_S \times m} \times 100 \quad (2)$$

式中: V 为所取样品提取液体积, mL; V_S 为滴定时所取滤液体积, mL; C 为滴定时所用 NaOH 溶液的浓度, mol/L; V_1 为滴定滤液消耗 NaOH 溶液的体积, mL; V_0 为滴定蒸馏水消耗 NaOH 溶液的体积, mL; m 表示样品质量, g; f 为折算系数, g/mmol, 本实验以苹果酸折算, 系数为 0.067。

2.3.6 感官评价

参考 Wang 等^[5]的实验方法并作修改, 挑选 10 名经过培训的志愿者评估样本之间的喜好程度(9 分测试), 主要评价指标有细腻度、风味、外观亮度、果肉颜色、汁液情况、香气、果皮剥离情况。

2.3.7 石细胞含量的测定

参照聂继云等^[20]的方法, 采用冷冻法提取石细胞。根据式(3)进行计算

$$\text{石细胞质量 } X = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{200} \quad (3)$$

式中: X 为果肉中石细胞含量, g/100 g; m_1 为滤纸和石细胞团的总质量, g; m_2 为滤纸的质量, g; 200 为试样质量, g。

2.3.8 抗坏血酸含量的测定

参照曹建康等^[19]测定方法。用标准曲线法计算冻梨果实中抗坏血酸含量, 以 100 g 样品(鲜重)中含有的抗坏血酸质量表示, 即 mg/100 g。

2.3.9 总酚含量的测定

总酚含量的测定参考曹建康等^[19]的方法。取 2.0 g 果实置于研钵中, 加入 20 mL 经预冷的 1% 盐酸-甲醇溶液, 在冰浴条件下研磨匀浆后转移到试管中, 混匀, 于 4 °C 避光提取 20 min, 期间摇动数次, 之后过滤。

以 1% 盐酸-甲醇溶液做空白参比调零, 取滤液于 280 nm 处测定溶液的吸光度值。实验重复测定 3 次。以每克(鲜重)果蔬组织在波长 280 nm 处吸光度值表示总酚含量, 即 OD_{280}/g 。

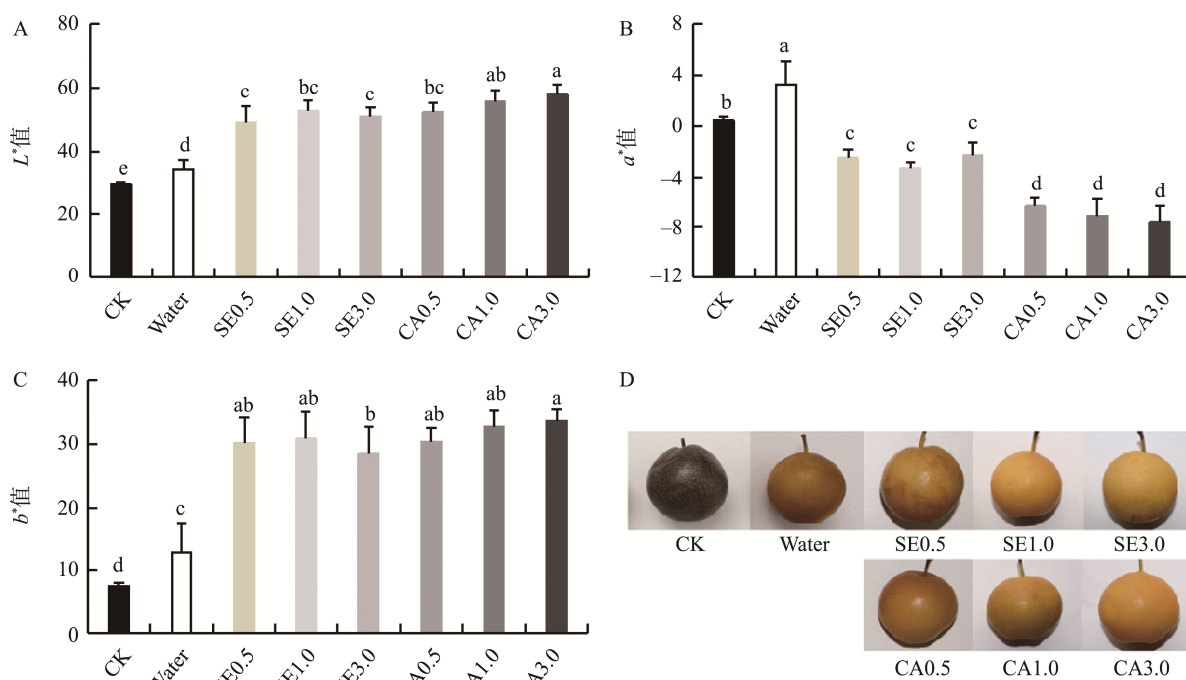
2.4 数据处理

用 Excel 2007 软件处理数据和计算标准偏差, 用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析显著性差异(LSD, $P < 0.05$)。

3 结果与分析

3.1 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨色泽的影响

色泽既可体现果实新鲜度, 也是衡量果实感官可接受度的重要指标。由图 1 可知, 经抗坏血酸盐浸渍冷冻的冻梨果实的 L^* 和 b^* 值均显著高于对照组与水处理组 ($P < 0.05$), 而 a^* 值显著低于对照组与水处理组 ($P < 0.05$), 这说明抗坏血酸盐浸渍冷冻可有效维持果实原有的亮黄色。



注: CK 表示空白对照组; Water 表示水处理组; SE0.5、SE1.0、SE3.0 分别表示 0.5、1.0、3.0 g/L 异抗坏血酸钠处理组; CA0.5、CA1.0、CA3.0 分别表示 0.5、1.0、3.0 g/L 抗坏血酸钙处理组。不同字母表示不同处理组之间数值差异显著 ($P < 0.05$), 图 2~7 同。

图 1 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨色泽的影响($n=3$)

Fig.1 Effect of ascorbate immersion freezing on the color of frozen pear peel($n=3$)

3.2 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨褐变程度的影响

冻梨果实的褐变极大程度上降低其营养价值和商品价值,也经常令不熟悉传统冻梨的消费者“谈褐色变”。在本研究中,经过抗坏血酸盐处理的冻梨则有效避免了上述情况的发生。由图 2 可知,抗坏血酸盐浸渍冷冻的冻梨果实褐变程度均明显低于对照组与水处理组($P<0.05$),但不同质量浓度的抗坏血酸盐处理组间无显著性差异($P>0.05$)。在相同质量浓度下,抗坏血酸钙处理组梨果实的褐变度稍低于异抗坏血酸钠处理组。其中,3.0 g/L 抗坏血酸钙浸渍冷冻后的冻梨果实褐变度(0.26)最低,仅为对照组褐变度(1.67)的 15.6%,这一结果与 2.1 中果实色泽具有较好的一致性,表明抗坏血酸盐浸渍冷冻能够抑制冻梨果实的褐变,维持果实优良色泽。

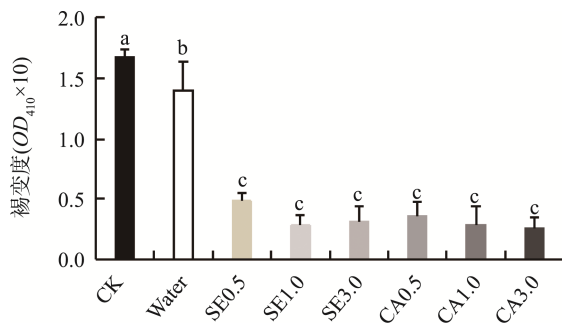


图 2 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨褐变程度的影响($n=3$)

Fig.2 Effect of ascorbate immersion freezing on the browning degree of frozen pear($n=3$)

3.3 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物主要是指可溶性糖含量,还包括少量的其他可溶性物质,其含量和果实的品质状况、口感紧密相关^[21]。图 3 显示,冻梨果实经抗坏血酸盐浸泡处理后可溶性固形物含量与水处理组相比无显著差异($P>0.05$),但相比于空白对照组则显著升高($P<0.05$)。由此表明,抗坏血酸盐溶液以及水处理有利于冻梨果实可溶性固形物的溶出,以提高其食用品质。

3.4 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨可滴定酸含量的影响

可滴定酸含量是果实品质的重要指标之一,与可溶性固形物含量共同影响了果实的口感^[22]。图 4 显示,抗坏血酸盐溶液处理组的冻梨果实在解冻后可滴定酸含量均显著高于空白对照组($P<0.05$),在盐浓度为 1.0 g/L 和 3.0 g/L 时显著高于水处理组($P<0.05$)。随着抗坏血酸盐质量浓度的增加,果实的可滴定酸含量也有所提高,尤其抗坏血酸钙存在着较为明显的量效关系。

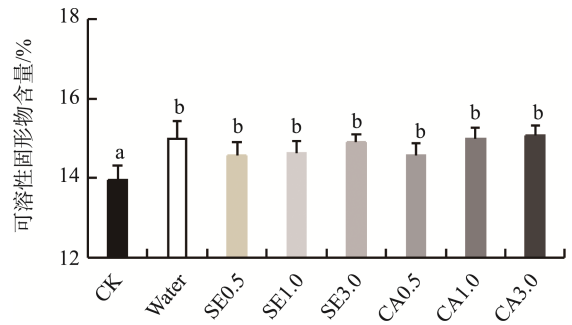


图 3 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨可溶性固形物含量的影响($n=3$)

Fig.3 Effect of ascorbate immersion freezing on the soluble solid content of frozen pear($n=3$)

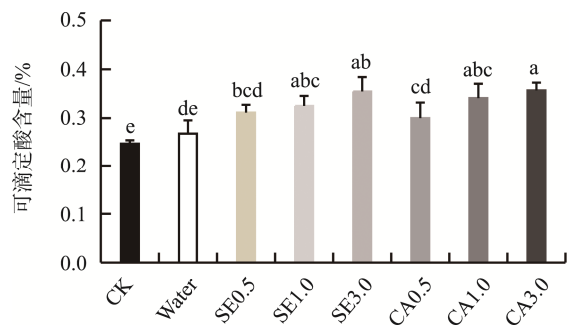


图 4 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨可滴定酸含量的影响($n=3$)

Fig.4 Effect of ascorbate immersion freezing on the titratable acid content of frozen pear($n=3$)

3.5 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨感官评价的影响

在整体感官水平上,抗坏血酸盐处理组冻梨的感官评分高于空白对照组与水处理组(表 1)。与空白相比,抗坏血酸盐浸渍冷冻的冻梨果实在细腻程度、果肉颜色、以及果肉剥离情况等方面评分均高于空白组,感官品质得到了明显的提高,但在风味、汁液情况、香气等方面无显著差异。结果显示,抗坏血酸钙质量浓度为 3.0 g/L 时处理的果实综合评分最高,表明此冻梨果实感官品质较优。

3.6 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨石细胞含量的影响

石细胞是细胞次生细胞壁加厚而形成的实心体,是木质素沉积形成的^[23]。由图 5 可知,经过抗坏血酸盐浸渍冷冻的冻梨果实石细胞显著低于空白组($P<0.05$),其中抗坏血酸钙质量浓度为 3.0 g/L 处理时石细胞含量仅为 0.23 g/100 g,仅为空白组的 32%。此外,高浓度抗坏血酸盐浸渍处理的果实石细胞含量同样显著低于水溶液浸泡的对照组($P<0.05$)。以上表明,抗坏血酸盐浸渍冷冻可有效破坏梨果实中原有的石细胞,降低其石细胞含量,进而改善冻梨果实的口感和品质。

表 1 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨感官品质的影响
Table 1 Effect of ascorbate immersion freezing on the sensory quality of frozen pear

处理	细腻	风味	外观亮度	果肉颜色	汁液情况	香气	果皮剥离情况	总分
CK	5	8	5	4	9	9	4	44
Water	6	8	7	6	8	7	7	49
SE0.5	6	8	7	7	8	8	7	51
SE1.0	8	8	8	8	7	8	8	55
SE3.0	8	8	8	8	8	8	8	56
CA0.5	7	8	6	7	8	8	7	51
CA1.0	8	8	7	8	8	7	7	53
CA3.0	8	8	8	9	8	9	8	58

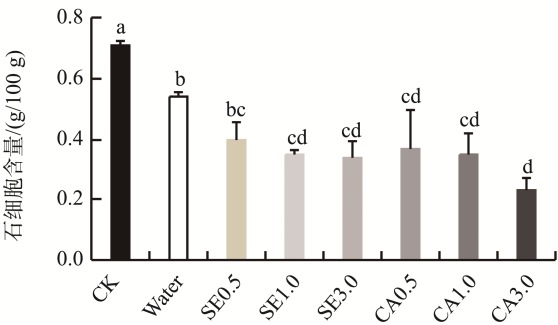


图 5 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨石细胞含量的影响($n=3$)
Fig.5 Effect of ascorbate immersion freezing on the stone cell content of frozen pear($n=3$)

3.7 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨抗坏血酸含量的影响

抗坏血酸是果实内一种重要的营养物质,同时也是一种非酶抗氧化物质,能够保护细胞免受活性氧的伤害,并参与果实代谢中的其他合成途径^[24]。由图 6 可知,空白对照组与水处理组的冻梨果实解冻后抗坏血酸含量无显著差异($P>0.05$),而不同抗坏血酸盐浸渍冷冻处理的冻梨的抗坏血酸含量在解冻后均显著高于空白对照组与水处理组($P<0.05$),且具有一定程度的量效关系,这说明采用抗坏血酸盐浸渍冷冻能够有效维持南果梨果实的营养品质。

3.8 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨总酚含量的影响

果实的总酚含量与其抗氧化能力呈极显著正相关^[25]。酚类物质是酶促褐变的底物,在酚酶作用下极易与空气中氧接触而发生氧化,引起色泽的改变^[26]。由图 7 可知,相比于空白对照组与水处理组,抗坏血酸盐浸渍处理的果实维持了较高总酚含量,具有较高的抗氧化能力,其中抗坏血酸钙盐的效果优于抗坏血酸钠盐。当抗坏血酸钙质量浓

度为 3.0 g/L 时,总酚含量可达到 0.5%,是对照组的 2.5 倍。

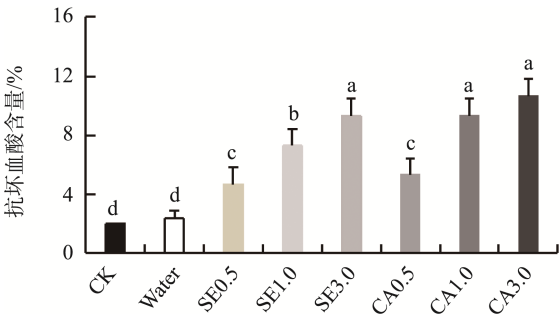


图 6 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨抗坏血酸含量的影响($n=3$)
Fig.6 Effect of ascorbate immersion freezing on the ascorbic acid content of frozen pear($n=3$)

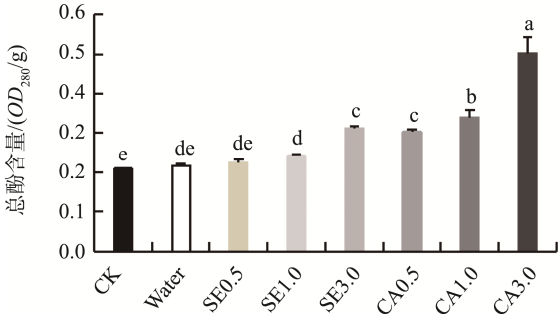


图 7 抗坏血酸盐浸渍冷冻对东北冻梨总酚含量的影响($n=3$)
Fig.7 Effect of ascorbate immersion freezing on the totalphenol content of frozen pear($n=3$)

4 结论与讨论

抗坏血酸是一种常用于鲜切果实的抗褐变剂,可有效控制鲜切果实中酶促褐变反应中多酚氧化酶活性,被美国食品药品监督管理局批准为一般认为安全(generally recognized as safe, GRAS)的物质^[27,28]。研究表明,抗坏血酸盐浸渍冷冻处理可较好地保持冻梨果实的原有色泽,

这说明抗坏血酸盐有效地控制了冻梨制作过程中的褐变反应。此外, 抗坏血酸盐也可与溶液中的溶解氧结合, 阻碍氧与梨果实多酚物质接触, 在一定程度上防止果实的褐变^[29,30]。同时, 抗坏血酸盐浸渍处理也较好地维持了冻梨果实中抗坏血酸和总酚含量。文献显示^[31], 在果实保鲜中抗坏血酸处理能够较好地保持果实的抗坏血酸含量, 与本研究结果相一致。

与传统冻梨相比, 抗坏血酸盐浸渍冷冻的冻梨果实具有较高的可滴定酸含量, 这可能与浸渍冷冻方式具有很大的关系。浸渍冷冻可延缓梨果实的冷冻速率, 使得果实中形成较大冰晶, 增强其对细胞组织的损伤作用, 加剧细胞汁液的溶出, 进而提高了冻梨果实的可滴定酸含量^[32,33]。此外, 抗坏血酸盐溶液较水溶液具有更高的比热容, 进一步延缓了梨果实的冷冻速率, 这可能也是可滴定酸含量增加的原因之一。同样, 这也很有可能是抗坏血酸盐浸渍冷冻梨果实中石细胞含量较低的原因, 使得冻梨的口感更为细腻^[4]。

抗坏血酸盐, 尤其抗坏血酸钙浸渍冷冻有效降低冻梨果实的褐变程度, 改善冻梨果实的感官品质, 降低冷冻后果实的石细胞含量, 维持冻梨果实可溶性固形物含量, 提高了冻梨果实的可滴定酸含量, 抑制抗坏血酸以及总酚含量的下降, 从而提高了冻梨果实的营养品质和商品价值。综合数据考量, 本研究中抗坏血酸钙质量浓度为 3.0 g/L 时所得冻梨品质最优。其中, 关于抗坏血酸盐浸渍冷冻提高梨果实可滴定酸含量以及较低石细胞含量等问题的作用机理仍有待进一步探讨。总之, 抗坏血酸盐浸渍冷冻是一种适用于冻梨果实的绿色加工方式, 所得冻梨色泽同新鲜梨果实几乎一致, 口感清凉细腻, 解冻后酸甜可口, 具有冻梨果实特有的香气, 可直接食用; 其具有较高的可溶性固形物和可滴定酸含量, 也可作为进一步加工成梨果汁饮料的原料, 适用于工业化生产, 消费市场前景良好。

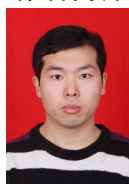
参考文献

- [1] 王文辉, 佟伟, 贾晓辉. 我国冻梨生产历史、产业现状与问题分析[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(6): 1-6.
Wang WH, Tong W, Jia XH. Investigation and analyses of the frozen pear production history, present situation and the industrial problems [J]. Stor Process, 2015, 15(6): 1-6.
- [2] 兰州市瓜果志编纂委员会. 兰州市志(第 28 卷): 瓜果志[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2005.
Lanzhou melon and Fruit Annals Compilation Committee. Lanzhou, volume 28: Melon and fruit annals [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2005.
- [3] Billaud C, Maraschin C, Nicolas J. Inhibition of polyphenoloxidase from apple by Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with L-cysteine under various conditions of pH and temperature [J]. LWT-Food Sci Technol, 2004, 37(1): 69-78.
- [4] 张忠, 马朝玲, 丁若珺, 等. 不同解冻方式对软儿梨果实品质与抗氧化物质含量的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 236-244.
- [5] Zhang Z, Ma CL, Ding RJ, et al. Effects of different thawing methods on fruit quality and antioxidant compound contents of 'Ruan'er' pear [J]. Food Sci, 2018, 39(3): 236-244.
- [6] Wang Y, Wang WH, Jia XH, et al. Evaluation of frozen fruit quality of different pear cultivars [J]. Sci Agric Sin, 2017, 50(17): 3400-3412.
- [7] Wang J, Dong S, Jiang Y, et al. Influence of long-term cold storage on phenylpropanoid and soluble sugar metabolisms accompanied with peel browning of 'Nanguo' pears during subsequent shelf life [J]. Sci Hortic, 2020, 260: 1-10.
- [8] Sun H, Luo M, Zhou X, et al. Exogenous glycine betaine treatment alleviates low temperature-induced pericarp browning of 'Nanguo' pears by regulating antioxidant enzymes and proline metabolism [J]. Food Chem, 2020, 306: 1-35.
- [9] Shi F, Zhou X, Yao M, et al. Low-temperature stress-induced aroma loss by regulating fatty acid metabolism pathway in 'Nanguo' pear [J]. Food Chem, 2019, 201(5): 1-9.
- [10] 郁杰, 谢晶. ϵ -聚赖氨酸和 L-抗坏血酸处理对鲜切菠菜品质的影响[J]. 食品科学, 2019 (17): 277-283.
Yu J, Xie J. Effects of ϵ -polylysine and L-ascorbic acid on the quality of fresh-cut spinach [J]. Food Sci, 2019, (17): 277-283.
- [11] Buranasudja V, Doskey CM. Pharmacologic ascorbate primes pancreatic cancer cells for death by rewiring cellular energetics and inducing DNA damage [J]. Mol Cancer Res, 2019, 17(10): 2102-2114.
- [12] Zhang YH, Chen GS, Chen JX, et al. Effects of β -cyclodextrin and sodium ascorbate on the chemical compositions and sensory quality of instant green tea powder during storage [J]. J Chem, 2019, 40: 1-7.
- [13] Zhang HP, Qin A, Qi KJ, et al. The effect of bagging on ascorbate in *Pyrus* fruit [J]. New Zealand J Crop Hortic Sci, 2019, 47(1): 19-31.
- [14] Fan X, Liu B, Cao J, et al. Dehydrofreezing of peach: Blanching, D-sodium erythorbate vacuum infiltration, vacuum dehydration, and nitrogen packaging affect the thawed quality of peach [J]. J Food Biochem, 2019, 43(7): 1-10.
- [15] Troyo R. Effects of calcium ascorbate and calcium lactate on quality of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*) [J]. Int J Agric, Forest Life Sci, 2019, 3(1): 143-150.
- [16] Hossain MS, Hasanuzzaman M, Sohag MMH, et al. Acetate-induced modulation of ascorbate: Glutathione cycle and restriction of sodium accumulation in shoot confer salt tolerance in *Lens culinaris* medik [J]. Physiol Mol Biol Plants, 2019, 25(2): 443-455.
- [17] Zhang L, Wang P, Chen F, et al. Effects of calcium and pectin methylesterase on quality attributes and pectin morphology of jujube fruit under vacuum impregnation during storage [J]. Food Chem, 2019, 289: 40-48.
- [18] 黄文书, 曹虹. 库尔勒香梨汁护色与澄清技术的研究[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(1): 45-48.
Huang WS, Cao H. Study on color protection and clarification technology of korla fragrant pear juice [J]. Stor Process, 2015, 15(1): 45-48.
- [19] Li P, Zheng X, Liu Y, et al. Pre-storage application of oxalic acid alleviates chilling injury in mango fruit by modulating proline metabolism and energy status under chilling stress [J]. Food Chem, 2014, 142: 72-78.
- [20] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

- Cao JK, Jiang WB. Physiological and biochemical experiment guidance of postharvest fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [20] 聂继云, 李静, 杨振锋, 等. 冷冻法测定梨的石细胞含量[J]. 果树学报, 2006, 23(1): 133–135.
- Nie JY, Li J, Yang ZF, *et al.* Study on the conditions for measuring stone cell content in pear flesh by freezing method [J]. J Fruit Sci, 2006, 23(1): 133–135.
- [21] Tyl C, Sadler GD. pH and titratable acidity [M]. Food Analysis. Springer, Cham, 2017.
- [22] Ordonez SLE, Martinez-GJ, Arias JME. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice [J]. Food Chem, 2017, 233: 96–100.
- [23] Braham M, Renard CMGC, Gouble B, *et al.* Characterization of tissue specific differences in cell wall polysaccharides of ripe and overripe pear fruit [J]. Carbohydr Polymers, 2017, 156: 152–164.
- [24] Routaboul JM, Kerhoas L, Debeaujon I, *et al.* Flavonoid diversity and biosynthesis in seed of *Arabidopsis thaliana* [J]. Planta, 2006, 224(1): 96–107.
- [25] 杜传来. 鲜切慈姑贮藏中褐变的相关生理生化变化及酶促褐变机理的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- Du CL. Studing on physio-biochemical changes associated with browning and browning mechanism of fresh-cut *SAGITTARIA TRIFOLLA* during storage [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.
- [26] Paravisini L, Peterson DG. Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage [J]. Food Chem, 2019, 289: 320–327.
- [27] Oms OG, Rojas GMA, Gonzalez LA, *et al.* Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review [J]. Postharvest Biol Technol, 2010, 57(3): 139–148.
- [28] Solval KM, Xiang B, Lee YS. Combined effects of calcium ascorbate treatment and modified atmosphere packaging to improve quality retention of fresh-cut cantaloupes [J]. J Appl Packaging Res, 2019, 11(1): 70–87.
- [29] 张孔海, 孙万慧, 段鸿斌. 果蔬食品的褐变与控制[J]. 农产品加工, 2005, (2): 189–199.
- Zhang KH, Sun WH, Duan HB. Browning and control of fruit and vegetable [J]. Acad Period Farm Prod Process, 2005, (2): 189–199.
- [30] 许勇泉, 尹军峰, 袁海波, 等. 果蔬加工中褐变研究进展[J]. 保鲜与加工, 2007, (3): 144–146.
- Xu YQ, Yin HF, Yuan HB, *et al.* Research advances of browning during processing of fruits and vegetables [J]. Stor Process, 2007, (3): 144–146.
- [31] 陈峰. 不同保鲜剂及其复配对水蜜桃保鲜效果研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- Chen F. Study on the effect of different fresh-keeping agents and compound preservative on storage of juicy peach [D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [32] 张方方, 朱丹实, 李雨露, 等. 冻融次数对巨峰葡萄出汁率及果汁品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, (10): 116–120.
- Zhang FF, Zhu DS, Li YL, *et al.* Effects of different frozen-thawed cycles on Kyoho grape juice yield and quality [J]. Food Ferment Ind, 2017, (10): 116–120.
- [33] Nadulski R, Grochowicz J, Sobczak P, *et al.* Application of freezing and thawing to carrot (*Daucus carota* L.) juice extraction [J]. Food Bioprocess Technol, 2015, 8(1): 218–227.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



陈敬鑫, 博士, 讲师, 主要研究方向为果蔬加工及贮藏工程。
E-mail: chenjingxin180302@163.com



冯叙桥, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏工程。
E-mail: feng_xq@hotmail.com