

张留圈, 李 艺, 梁 颖, 等. 抗坏血酸钙对鲜切生菜品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 454-459.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.033

## 抗坏血酸钙对鲜切生菜品质的影响

张留圈<sup>1</sup>, 李 艺<sup>1,2</sup>, 梁 颖<sup>1</sup>, 丁 莹<sup>1</sup>, 张 娟<sup>1,3</sup>, 刘贤金<sup>1</sup>

(1. 江苏省食品质量安全重点实验室/农业部农产品质量安全控制技术与标准重点实验室/江苏省农业科学院食品质量与安全检测研究所, 江苏 南京 210014; 2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400712)

**摘要:** 以鲜切结球生菜为材料, 研究了不同抗坏血酸钙浓度和浸泡时间对其在 4 ℃ 货架期间品质的影响。结果表明: 抗坏血酸钙处理能够延缓鲜切生菜贮藏期间 Vc 含量降低, 阻止相对电导率增大, 同时抑制多酚氧化酶 (PPO) 和过氧化物酶 (POD) 活性, 减缓总酚 (TP) 含量增加, 延缓衰老, 保持较好的质地。其中, 35 g/L 抗坏血酸钙处理 20 min 的抑制效果最佳。

**关键词:** 鲜切生菜; 抗坏血酸钙; 品质; 抗氧化作用

**中图分类号:** TS 255.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2016)02-0454-06

## Effects of calcium ascorbate on quality of fresh-cut iceberg lettuce

ZHANG Liu-quan<sup>1</sup>, LI Yi<sup>1,2</sup>, LIANG Ying<sup>1</sup>, DING Ying<sup>1</sup>, ZHANG Juan<sup>1,3</sup>, LIU Xian-jin<sup>1</sup>

(1. Key lab of Food Quality and Safety of Jiangsu Province/Laboratory of Control Technology and Standard for Agro-product Safety and Quality, Ministry of Agriculture/Institute of Food Quality Safety and Detection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 3. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400712, China)

**Abstract:** The influence of concentrations and time duration of calcium ascorbate treatment on the quality of fresh-cut iceberg lettuce during storage at 4 ℃ were studied. The results showed that Ca(AsA)<sub>2</sub> treatment delayed Vc content decrease and prevented relative conductivity from increasing. Ca(AsA)<sub>2</sub> treatment could inhibit the activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD), decrease the level of total phenol (TP) content, and control the browning of fresh-cut iceberg, thereby delaying senescence and keeping better quality. Among the treatments, the concentration of 35 g/L calcium ascorbate treating for 20 min presented the best effect.

**Key words:** fresh-cut iceberg lettuce; calcium ascorbate; quality; antioxidation

鲜切果蔬被称为半加工果蔬、最少加工果蔬、调理果蔬等, 是指以新鲜果蔬为原料, 经过分级、清洗、

去皮、切割、修整、保鲜、包装等加工过程所制成仍处于新鲜状态的即食果蔬制品<sup>[1]</sup>。

生菜是常见的叶食蔬菜, 营养丰富, 含水量高, 清脆爽口, 极其鲜嫩, 富含微量元素和膳食纤维, 因此被普遍应用于鲜食领域<sup>[2-4]</sup>。然而, 由于加工对生菜组织的破坏所引起的一系列生理变化如细胞膜破坏、水分损失、软化、褐变等, 使鲜切生菜腐烂, 品质迅速下降, 货架期迅速缩短<sup>[5-7]</sup>。因此, 需要加强对鲜切生菜保鲜技术的研究, 从而保证鲜切生菜

收稿日期: 2015-07-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31201356); 江苏省农业自主创新项目 [CX (13) 3087]; 江苏省自然科学基金项目 (BK20130701); 公益性行业科研专项 (201303088)

作者简介: 张留圈 (1987-), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为果蔬贮藏与加工新技术。(E-mail) 330411789@qq.com

通讯作者: 刘贤金, (E-mail) jaasliu@jaas.ac.cn

的品质,延长货架期,提高商业价值<sup>[8-9]</sup>。

目前,关于提高各类鲜切果蔬贮藏品质的研究已有较多报道。例如使用抗坏血酸进行浸泡处理能够控制鲜切果蔬的酶促褐变,Esther等<sup>[10]</sup>用不同比例的抗坏血酸、4-己基间苯二酚(4-HR)和氯化钙处理鲜切梨,结果表明2%抗坏血酸、0.01%4-己基间苯二酚和1%氯化钙浸泡是最有效的抗氧化处理方法,有助于保持鲜切梨的贮藏品质;Irene等<sup>[11]</sup>用不同浓度不同温度的氯化钙或乳酸钙溶液处理鲜切的哈密瓜,发现钙处理能够使鲜切哈密瓜具有较高的持水力,从而产生较高的膨胀压力,保持鲜切产品的硬度和良好的口感。然而,抗坏血酸的抗氧化作用是短暂的,抗坏血酸处理时往往需要引进其他酶促反应抑制剂,操作繁琐,不适合商业化运用;氯化钙溶液处理虽能够增加硬度,但易增加苦味<sup>[12]</sup>。抗坏血酸钙 $[Ca(AsA)_2]$ 则克服了这些缺点,抗坏血酸钙比抗坏血酸(Vc)稳定,其抗氧化作用优于Vc,而且由于钙的引入,也增强了它的营养强化作用<sup>[13-16]</sup>。当前抗坏血酸钙已经广泛被美国和欧洲的消费者所认可,在马铃薯等鲜切产品上表现了较好的效果,具有明显的应用发展前景。研究结果表明,抗坏血酸钙可以作为保鲜剂用于水果蔬菜,是一种安全有效的果蔬褐变抑制剂和抗氧化保鲜剂,稳定,无酸味,抗氧化作用强,能够保持鲜切产品的色泽和自然风味,延长保质期,且无任何副作用<sup>[17-18]</sup>。本研究使用不同浓度的抗坏血钙对鲜切生菜进行浸泡,同时控制浸泡时间,观察在贮藏期间鲜切生菜的品质变化,以期探索改善鲜切生菜贮藏品质的新方法,为抗坏血酸钙在鲜切果蔬领域中的广泛应用提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器与设备

HH-6型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司产品),分析天平(Ohaus公司产品),超纯水净化仪(Labconco公司产品),低温高速离心机(Eppendorf公司产品),Alpha-1506紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司产品),DDS-307型电导率仪(上海伟业仪器厂产品),振荡器、移液器(Jencons Sealpette公司产品)等。

### 1.2 试剂

抗坏血酸钙、草酸、抗坏血酸标准品、2,6-二氯

酚、福林酚溶液、 $Na_2CO_3$ 溶液、没食子酸标准溶液、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、邻苯二酚溶液、愈创木酚、30%过氧化氢、磷酸二氢钾等购于南京寿德生物科技有限公司。

### 1.3 材料及处理

市售新鲜结球生菜(苏果超市),形状整齐,大小均匀,色泽鲜绿,成熟度一致,无缺陷及损伤。将生菜置于4℃过夜。次日取出,洗净、晾干、切分,100 mg/L次氯酸钠溶液浸泡处理1 min,清水快速冲洗1 min,沥干,随机分为10组。将样品进行抗坏血酸钙溶液浸泡处理,设不同浓度(20 g/L、35 g/L、50 g/L)和不同浸泡时间(1 min、5 min、20 min)共9种处理,以蒸馏水浸泡为对照。浸泡结束后室温下沥干,装入PVC保鲜袋,置于4℃下贮藏。每隔2 d测定各处理鲜切生菜的Vc含量、相对电导率、多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性、多酚含量等指标,每个指标重复测定3次,计算其平均值及标准差。

### 1.4 测定方法

1.4.1 维生素C含量测定 采用2,6-二氯酚测定法<sup>[19]</sup>。称取样品100 g,加入100 ml浸提剂(2%草酸),迅速捣成匀浆。称取10~40 g浆状样品,用浸提剂将样品移入100 ml容量瓶,并稀释至刻度,摇匀过滤,按1 g样品加0.4 g白陶土脱色,过滤。吸取10 ml滤液放入50 ml锥形瓶中,用已标定的2,6-二氯酚溶液滴定,直至溶液呈粉红色15 s不褪色为止。同时做空白试验。

1.4.2 相对电导率测定 取大小相当的样品用自来水洗净后再用蒸馏水冲洗3次,用滤纸吸干表面水分。避开主脉将叶片剪成7 mm宽适宜长度的长条,快速称取3份样品,每份0.3 g,分别置于装有30 ml去离子水的刻度试管中,盖上塞子置于25℃恒温水浴处理1 h。轻轻摇动试管使样品浸出液与蒸馏水混合均匀,放入电极测定第1次电导率值 $R_1$ ,然后沸水浴中加热30 min,冷却至25℃后摇匀,再次测定浸提液电导率值 $R_2$ 。计算相对电导率,相对电导率= $R_1/R_2 \times 100\%$ 。

1.4.3 多酚氧化酶(PPO)的活性测定 邻苯二酚法<sup>[20]</sup>测定PPO活性。粗酶液的提取:称取样品2 g,加pH7.6磷酸盐缓冲液10 ml,在研钵中冰浴研磨成匀浆转入离心管,10 000 r/min离心10 min,取上清液即为粗酶液。多酚氧化酶活性测定:取2只比色杯,在1只杯中加入pH 7.6磷酸盐

缓冲液 1 ml、0.2 mol/L 邻苯二酚溶液 1 ml, 作为校零对照, 另 1 只杯中加入 pH7.6 磷酸盐缓冲液 1 ml、0.2 mol/L 邻苯二酚溶液 1 ml、粗酶液 0.5 ml, 用紫外可见光光度计在波长 410 nm 处测定 OD 值, 每 10 s 记录 1 次 OD 值(测 8~12 次)。酶活性以吸光值 1 min 变化 0.001 为 1 个酶活性单位 (U/min) 表示。

1.4.4 过氧化物酶(POD)的活性测定 愈创木酚法<sup>[21]</sup>测定 POD 活性。粗酶液的提取: 称取样品 2 g, 加 20 mmol/L 磷酸二氢钾 5 ml, 在研钵中冰浴研磨成匀浆, 转入离心管, 4 000 r/min 离心 15 min, 收集上清液, 所得残渣再用 5 ml 磷酸二氢钾溶液提取 1 次, 合并 2 次上清液保存于冰箱中备用。酶活性测定: 取 2 只比色杯, 在 1 只杯中加入反应混合液 3 ml、磷酸二氢钾 0.5 ml, 作为校零对照, 另 1 只杯中加入反应混合液 3 ml、上述酶液 0.5 ml, 立即开启秒表计时, 用紫外可见光光度计在波长 470 nm 下测定 OD 值, 每 1 min 记录 1 次 OD 值, 一共读 5 min。酶活性以吸光值 1 min 变化 0.001 为 1 个酶活力单位 (U/min) 表示。

1.4.5 总酚(TP)含量测定 采用 Folin-Ciocalteu 方法<sup>[22]</sup>测定。总酚提取: 取蔬菜样品 5 g, 加少许 75% 乙醇置于研钵中研磨, 研磨成浆后移入 50 ml 离心管中, 加入 25 ml 75% 乙醇, 超声提取 1 h, 12 000 r/min 离心 15 min, 转移上清液于 50 ml 容量瓶中, 残渣再用 75% 乙醇重复洗涤离心, 合并上清液, 定容待测。总酚含量测定: 吸取 1.0 ml 样品提取液于 10 ml 比色管中, 添加 6 ml 蒸馏水, 再加入 0.5 ml 1.0 mol/L 福林酚试剂, 漩涡振荡, 暗处放置 2~3 min, 加 1.5 ml 20% 碳酸钠溶液, 定容, 混匀后室温放置 2 h, 于 765 nm 下测吸光值。标准曲线的制作: 准确称取 10 mg 没食子酸用蒸馏水定容至 100 ml 的容量瓶中备用, 取 6 只 10 ml 比色管, 分别加入 0 ml、0.2 ml、0.4 ml、0.6 ml、0.8 ml、1.0 ml 的 0.1 mg/ml 没食子酸标准溶液, 添加 6 ml 蒸馏水, 再加入 0.5 ml 1.0 mol/L 福林酚试剂, 漩涡振荡, 暗处放置 2~3 min, 加 1.5 ml 20% 碳酸钠溶液, 定容, 混匀后室温放置 2 h, 765 nm 下测吸光值, 得到浓度 (x) 和吸光值 (Y) 之间回归方程(图 1)。由图 1 可以看出, 回归方程的  $R^2$  为 0.999 2, 可以用此直线方程计算样品总酚含量。

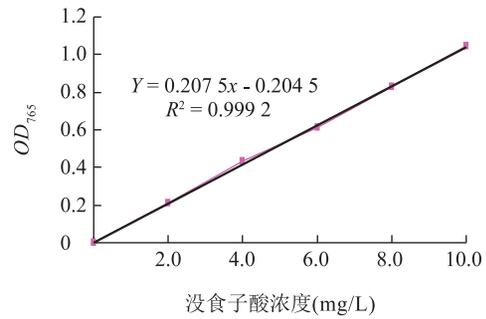


图 1 总酚含量标准曲线

Fig.1 The standard curve of total phenolic content

## 2 结果与分析

### 2.1 抗坏血酸钙处理对鲜切生菜 Vc 含量的影响

生菜中 Vc 在货架期间很容易被空气氧化, 所以其含量是衡量蔬菜保鲜效果的一个重要指标。由图 2 可以看出, 与对照比较, 采用不同浓度、不同浸泡时间的抗坏血酸钙处理后, 鲜切生菜 Vc 含量明显增加。在贮藏期间, 各处理组在贮藏前 6 d 内 Vc 含量下降较快, 之后 Vc 含量的减少趋于平缓, 在 15 d 时各处理组之间无显著差异, 但 Vc 含量均高于对照组, 这说明抗坏血酸钙处理能够延缓鲜切生菜在贮藏期间 Vc 含量的降低。

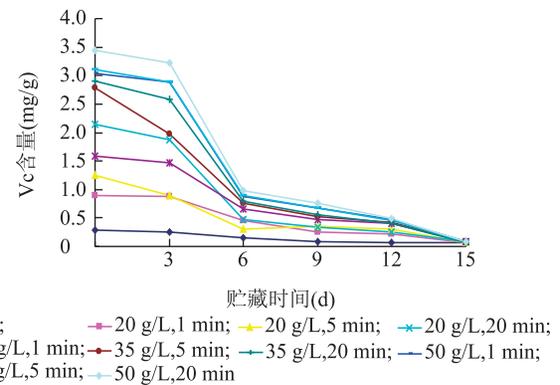


图 2 不同抗坏血酸钙浓度和浸泡时间对鲜切生菜 Vc 含量的影响

Fig.2 Effect of calcium ascorbate concentrations and immersing time durations on vitamin C content of fresh-cut iceberg lettuce

### 2.2 抗坏血酸钙处理对鲜切生菜电导率的影响

细胞膜透性的大小可以通过相对电导率大小来衡量, 一般来说, 相对电导率越大, 贮藏过程中细胞

膜受到损害而导致胞液外渗,细胞膜结构破坏的程度越大。由图3可以看出,随着贮藏时间的增加,不同处理组的相对电导率均呈上升趋势,且贮藏初期上升较快,其中对照组的相对电导率上升最快。20 g/L抗坏血酸钙处理组在贮藏6 d后,虽然其相对电导率明显高于35 g/L和50 g/L抗坏血酸钙处理组,但仍低于对照组的相对电导率,说明抗坏血酸钙能够保持细胞膜结构的稳定,阻止其增加透性。20 g/L和35 g/L抗坏血酸钙处理组中,随着处理时浸泡时间的延长,其相对电导率逐渐降低,而50 g/L抗坏血酸钙各浸泡时间处理组之间无明显差异。因此,经35 g/L抗坏血酸钙溶液浸泡20 min能有效保持鲜切生菜的细胞膜稳定性。

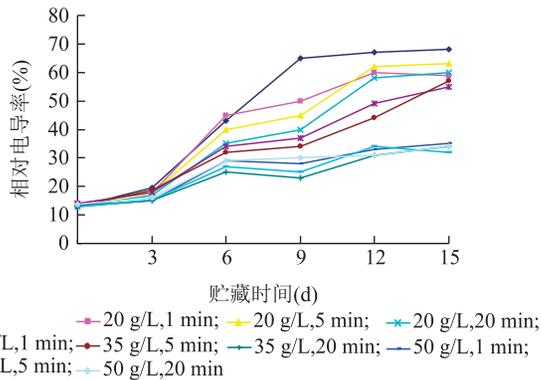


图3 不同抗坏血酸钙浓度和浸泡时间对鲜切生菜相对电导率的影响

Fig.3 Effect of calcium ascorbate concentrations and immersing time durations on relative conductivity of fresh-cut iceberg lettuce

### 2.3 抗坏血酸钙处理对鲜切生菜多酚氧化酶(PPO)活性的影响

PPO是果蔬发生酶促褐变的主要酶,它与多酚类底物及酚类衍生物反应,导致褐变。PPO活性越高,褐变越严重。从图4可以看出,不同处理的鲜切生菜在贮藏期间多酚氧化酶活性呈波动变化状态。其中,对照组PPO活性一直较高,在第9 d时出现峰值,抗坏血酸钙处理则显著推迟(20 g/L处理组)峰值出现或者降低了(35 g/L和50 g/L处理组)峰值。同时,相同浓度、不同浸泡时间的抗坏血酸钙处理组之间无明显差异。在12~15 d内,PPO活性降低是因为鲜切生菜中潜伏状态多酚氧化酶的诱导作用降低,自杀性失活占主导。

而35 g/L和50 g/L处理组在前12 d没有峰值出现,说明适当浓度的抗坏血酸钙处理对鲜切生菜PPO活性有良好的抑制作用。

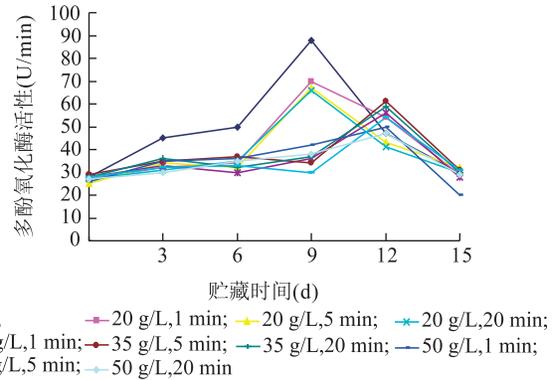


图4 不同抗坏血酸钙浓度和浸泡时间对鲜切生菜多酚氧化酶活性的影响

Fig.4 Effect of calcium ascorbate concentrations and immersing time durations on PPO activities of fresh-cut iceberg lettuce

### 2.4 抗坏血酸钙处理对鲜切生菜过氧化物酶(POD)活性的影响

如图5所示,各处理组在贮藏初期和末期的POD活性存在明显差异。抗坏血酸钙处理过的鲜切生菜POD活性在第3 d时略有下降,随后维持在一定水平,整体变化幅度较小,表明抗坏血酸钙在贮藏初期显著抑制了POD活性上升。同时,20 g/L抗坏血酸钙处理组的POD活性均低于对照,而35 g/L和50 g/L处理组的POD活性低于20 g/L处理。在35 g/L处理组中,随着浸泡时间的延长,POD活性有降低的趋势,50 g/L处理组则无明显差异。因此,适当延长浸泡时间能够增加抗坏血酸钙的保鲜作用。

### 2.5 抗坏血酸钙处理对鲜切生菜总酚含量的影响

多酚是植物体内重要的次生代谢物质,参与许多生理过程,对鲜切果蔬的品质有极大的影响。因受到切分伤害,鲜切生菜的苯丙氨酸解氨酶活性会急速上升,加速酚类物质合成,引起总酚含量(TP)的增加,随着苯丙氨酸解氨酶活性下降,同时TP参加酶促褐变被氧化,TP含量逐渐下降。从图6可以看出,各处理组的总酚含量呈现先上升后下降的趋势,但均略高于对照组,说明各处理组的总酚消耗低于对照组,且35 g/L和50 g/L处理组的总酚消耗量最低。对照组和20 g/L处理组总酚含量在第9 d达

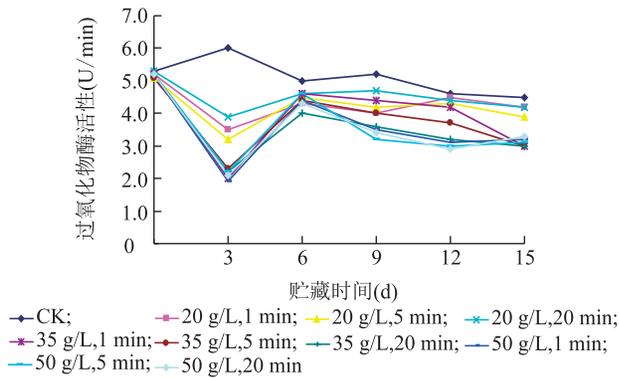


图5 不同抗坏血酸钙浓度和浸泡时间对鲜切生菜过氧化物酶活性的影响

Fig.5 Effect of calcium ascorbate concentrations and immersing time durations on *POD* activities of fresh-cut iceberg lettuce

到峰值,而35 g/L和50 g/L处理组在第12 d达到峰值,可能是因为贮藏初期这两组的苯丙氨酸解氨酶活性被抑制。同时,相同浓度、不同浸泡时间抗坏血酸钙处理组之间总酚含量无明显差异。

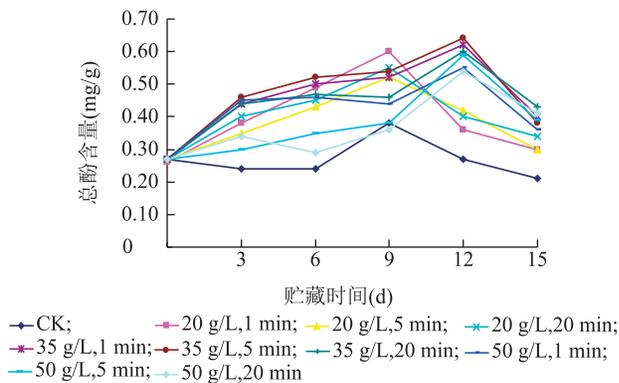


图6 不同抗坏血酸钙浓度和浸泡时间对鲜切生菜总酚(TP)含量的影响

Fig.6 Effect of calcium ascorbate concentrations and immersing time durations on total phenols content of fresh-cut iceberg lettuce

### 3 讨论

经过抗坏血酸钙处理的鲜切生菜能够在表面形成一层保护膜,与环境中的氧气发生氧化反应,在一定时间内可阻止酶促褐变<sup>[23-25]</sup>。随着浸泡浓度的增加,以及浸泡时间的延长,鲜切生菜表面的抗坏血酸钙累积量会增大,理论上的保护作用也应该更强<sup>[26]</sup>。当外源添加的抗坏血酸钙被反应完全以后,

将失去保护作用,鲜切产品内部的抗坏血酸会被氧化产生褐变,因此,即使添加有抗氧化剂的鲜切产品,仍需要避免和氧气过多接触产生氧化褐变<sup>[27-29]</sup>。

钙离子在一定程度上能够增加果蔬硬度和感官质量,浸泡钙溶液是延缓果蔬制品软化的有效途径<sup>[30]</sup>。外源添加钙离子能够促进细胞间隙离子环境的改变,增大钙离子浓度,有助于延缓老化,增加细胞活力<sup>[31-32]</sup>。

本试验结果证明抗坏血酸钙处理不仅能够增加鲜切生菜的Vc含量,起到营养强化作用,还能延缓鲜切生菜贮藏期间Vc含量的降低,同时抑制鲜切生菜的PPO和POD活性,阻止其褐变,减弱软化程度及减缓细胞膜通透性的增大。当用浓度为20 g/L的抗坏血酸钙溶液浸泡处理鲜切生菜时,由于抗坏血酸钙浓度过低,没有完全在鲜切生菜表面形成保护膜,所起到的抗氧化和抗褐变作用有限。在35 g/L抗坏血酸钙处理组中,当浸泡时间延长至20 min时,抗坏血酸钙逐渐完全附着于叶菜表面,抗氧化保鲜作用最佳。当钙离子浓度达到一定水平,足以保持膜完整性,进一步加钙的效果不大。因此用浓度为50 g/L的抗坏血酸钙处理时,对于叶菜其浸泡浓度已经处于饱和状态,无法结合更多的抗坏血酸钙,所以其保鲜效果并没有优于35 g/L抗坏血酸钙处理组。综合考虑试验各项指标,以35 g/L抗坏血酸钙浸泡处理20 min的保鲜效果最佳,该处理可使鲜切生菜在15 d内保持较好品质。

### 参考文献:

- [1] LAMIKANRA O. 鲜切果蔬科学—技术与市场[M]. 胡文忠,译. 北京:化学工业出版社,2008.
- [2] GIL M I, AGUAYO E. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54:4284-4296.
- [3] 吴俊侠,董元华,李建刚,等. 施肥模式对设施生菜产量、硝酸盐含量及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(2): 147-149.
- [4] 周华,刘淑娟,王碧琴,等. 不同波长LED光源对生菜生长和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 429-433.
- [5] LUNA-GUZMAN I, CANTWELL M, BARRETT D M. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl<sub>2</sub> dips and heat treatment on firmness and metabolic activity [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 17:201-213.
- [6] PIZZOEARO F, TORREGIANI D, GILARDI G. Inhibition of

- apple polyphenoloxidase(PPO) by ascorbic acid and sodium chloride[J]. J Food Process Preserv, 1993, 17:21-30.
- [7] 梁颖,丁莹,闫帅,等. 香辛料提取物对鲜切生菜的保鲜作用[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(4): 870-874.
- [8] JIANG J, JIANG L, LUO H B, et al. Establishment of a statistical model for browning of fresh-cut lotus root during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92:164-171.
- [9] M. HELENA G, TIAGO V, JOANA F. Polyphenoloxidase activity and browning in fresh-cut Rocha pear as affected by pH, phenolic substrates, and anti-browning additives[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91:32-38.
- [10] ESTHER A, JAIME G, PASCUAL L. Optimization of processing of fresh-cut pear[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88:1755-1763.
- [11] IRENE L, DIANE M. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 91:61-72.
- [12] 周友亚,李冀辉,高风格,等.抗坏血酸钙的合成及抗氧化作用[J]. 河北师范大学学报, 1999, 23(1):94-96.
- [13] 李红卫,李颖.不同保鲜剂处理对切割生菜品质影响的研究[J]. 保鲜与加工, 2008(4):17-19.
- [14] LUO Y G, LU S M, ZHOU B, et al. Dual effectiveness of sodium chlorite for enzymatic browning inhibition and microbial inactivation on fresh-cut apples[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44:1621-1625.
- [15] 诸永志,王静,王道营,等.抗化学酸钙对鲜切牛蒡褐变及贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(3):655-659.
- [16] 郑林彦,韩涛,李丽萍.国内切割果树的保鲜研究现状[J]. 食品科学, 2005(26):125-127.
- [17] CANTOS E, TUDELA J A. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50:3015-3023.
- [18] KARLA M D, MIKAEL A P. The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 61:83-90.
- [19] 关军锋,窦世娟.桃果实采后不同包装处理的贮藏效果及其生化机制[J]. 华北农学报, 2003, 18(S1):66-69.
- [20] 郭松年.石榴汁花色苷稳定性、抗氧化及其组分鉴定[D]. 陕西:西北农林科技大学, 2008.
- [21] 高俊凤.植物生理学试验技术[M]. 西安:世界图书出版公司, 2000.
- [22] 胡淳淳,邵建柱,徐继忠.不同石榴品种及器官多酚含量的比较研究[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(2): 17-20.
- [23] 孙彩铃,田纪春,张永祥.TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007(4):1-4.
- [24] 梁颖,丁莹,闫帅,等.香辛料提取物对鲜切生菜的保鲜作用[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(4):870-874.
- [25] SALVADOR A, VARELA P, FISZMAN S. Consumer acceptability and shelf of 'Flor de Invierno' pears (*Pyrus communis* L.) under different storage conditions[J]. Journal of Sensory Studies, 2007, 22:243-255.
- [26] 张学杰,叶志华.不同高压与温度处理对鲜切生菜及其货架期微生物的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(22):4660-4667.
- [27] 林永艳,谢晶,朱军伟,等.清洗方式对鲜切生菜保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(1):211-214.
- [28] AGUAYO E, JANSASITHORN R, KADER A A. Combined effects of 1-methylcyclopropene, calcium chloride dip, and/or atmospheric modification on quality changes in fresh-cut strawberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(3):269-278.
- [29] NATALIA D B, JAQUELINE V T, CARLOS T S. Storage temperature and type of cut affect the biochemical and physiological characteristics of fresh-cut purple onions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 93:91-96.
- [30] 胡燕,陈忠杰.洋葱提取液对鲜切莲藕保鲜效果的研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(5):166-170.
- [31] 张兰,郑永华.抗坏血酸钙对蚕豆种子采后衰老的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(12):106-108.
- [32] YOU Y L, JIANG Y M, SUN J. Effects of short-term anoxia treatment on browning of fresh-cut Chinese water chestnut in relation to antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2012, 132:1191-1196.

(责任编辑:张震林)