

程春梅, 郭衍银, 陈祖满, 等. 采前草酸处理对西兰花采后保鲜效果及抗氧化特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 694-701.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.03.023

# 采前草酸处理对西兰花采后保鲜效果及抗氧化特性的影响

程春梅<sup>1</sup>, 郭衍银<sup>2</sup>, 陈祖满<sup>1</sup>, 杨震峰<sup>3</sup>

(1. 浙江医药高等专科学校, 浙江 宁波 315100; 2. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049; 3. 浙江万里学院生物与环境学院, 浙江 宁波 315100)

**摘要:** 旨在研究采前喷洒草酸水溶液处理对西兰花 (*Brassica oleracea* var. *italica*) 采后抗氧化特性的影响, 从而评价草酸处理对西兰花衰老的调控作用。结果表明, 采前用 20 mmol/L 草酸水溶液处理西兰花可显著抑制采后西兰花丙二醛 (MDA) 的积累和细胞膜透性的增加 ( $P < 0.05$ ), 还可以诱导采后西兰花超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性的增强, 抑制采后西兰花超氧阴离子自由基 ( $O_2^{\cdot-}$ ) 的生成速率和过氧化氢 ( $H_2O_2$ ) 含量的上升, 显著提高采后西兰花对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基的清除能力 ( $P < 0.05$ )。采前喷洒草酸水溶液处理可有效维持采后西兰花活性氧代谢平衡, 维持其细胞膜的完整性, 进而延缓西兰花采后的衰老进程, 延长其贮藏期。

**关键词:** 西兰花; 采前; 草酸处理; 衰老; 抗氧化活性

**中图分类号:** TS225.3; S635.301

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2020)03-0694-08

## Effects of pre-harvest oxalic acid treatment on preservation effect and antioxidant capacity of post-harvest *Brassica oleracea* var. *italica*

CHENG Chun-mei<sup>1</sup>, GUO Yan-yin<sup>2</sup>, CHEN Zu-man<sup>1</sup>, YANG Zhen-feng<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Pharmaceutical College, Ningbo 315100, China; 2. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China; 3. College of Biological and Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

**Abstract:** The effect of pre-harvest treatment of spraying oxalic acid (OA) aqueous solution on the antioxidant activity of post-harvest *Brassica oleracea* var. *italica* was investigated to evaluate the regulatory effect of OA treatment on the senescence of *B. oleracea* var. *italica*. The results showed that pre-harvest treatment with 20 mmol/L OA aqueous solution significantly inhibited the accumulation of malondialdehyde (MDA) and the increase of cell membrane permeability in post-harvest *B. oleracea* var. *italica* ( $P < 0.05$ ). Meanwhile, activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) were enhanced, generation rate of superoxide anion radical ( $O_2^{\cdot-}$ ) and the increase of  $H_2O_2$  content were inhibited, and the scavenging activity of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical was significantly enhanced under pre-harvest treatment of OA aqueous solution. Pre-harvest treatment of spraying OA aqueous solution can maintain the balance of active oxygen metabolism effectively, keep the integrity of cell membrane, so as to delay the senescence process and prolong the shelf

life of post-harvest *B. oleracea* var. *italica*.

**Key words:** *Brassica oleracea* var. *italica*; pre-harvest; oxalic acid treatment; senescence; antioxidant activity

收稿日期: 2019-12-16

基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2019C02079); 浙江省重中之重学科开放基金资助项目 (KF2017009)

作者简介: 程春梅 (1979-), 女, 山东菏泽人, 硕士, 副教授, 主要从事果蔬贮藏保鲜及食品质量安全检测工作。 (E-mail: chchm79@163.com)

西兰花 (*Brassica oleracea* var. *italica*) 又名青花

菜、绿花菜,属十字花科芸薹属甘蓝种。近年来,中国西兰花的种植面积不断增加,西兰花已成为深受中国消费者青睐的主栽蔬菜和重要的出口创汇蔬菜。西兰花含有丰富的维生素 C、硫代葡萄糖苷、类黄酮、类胡萝卜素和多酚等物质,在清除人体自由基、抗氧化、抗衰老、抗肿瘤等方面具有显著作用<sup>[1]</sup>。西兰花的食用部分为幼嫩的小花蕾和花梗,其代谢非常活跃,采摘后于20~25℃存放1~2 d,花蕾和花梗就会松软萎蔫,营养成分也会降解<sup>[2]</sup>,严重影响了西兰花的货架寿命和商品流通。因此,采用适当的处理方式维持采后西兰花的品质一直是人们关注和研究的重点。目前,国内外报道的关于西兰花贮藏保鲜的方法主要有物理方法[如气调<sup>[3-4]</sup>、低温<sup>[5]</sup>、微真空<sup>[6]</sup>、发光二极管(LED)光照处理<sup>[7-8]</sup>保鲜法]和化学方法[如1-甲基环丙烯(1-MCP)<sup>[9]</sup>、6-苄氨基嘌呤(6-BA)<sup>[10]</sup>、ClO<sub>2</sub><sup>[11]</sup>、果糖<sup>[12]</sup>保鲜法]。目前,高效廉价又安全无毒的西兰花化学保鲜新技术仍然较少,因此需要深入的研究。

草酸(Oxalic acid, OA)又名乙二酸,化学结构简式为HOOC-COOH,是广泛分布于动植物和真菌体内的一种代谢产物。草酸作为一种天然的抗氧化剂,近年来被用于果蔬采后保鲜研究中,如梁春强等<sup>[13]</sup>研究发现,用5 mmol/L草酸对猕猴桃浸泡处理10 min,可以显著提高猕猴桃的超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性,使其维持较高的抗氧化水平,同时可以降低活性氧的积累量,维持细胞膜的完整性,保持较好的果实品质。此外,草酸处理可以降低枸杞的超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)和丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量,提高抗氧化酶活性,减轻自由基等对枸杞果实细胞膜的伤害,从而延缓枸杞果实的后熟衰老过程<sup>[14]</sup>。采前草酸处理可以提升猕猴桃的果实品质,提高防御相关酶活性和抗病物质水平,增强猕猴桃对青霉病的抗性<sup>[15]</sup>。还有研究发现,采前草酸处理可以提高洋蓐<sup>[16]</sup>、桃<sup>[17]</sup>的营养品质和抗氧化能力,延长其贮藏期。然而,目前尚无关于外源草酸对西兰花采后保鲜效果及抗氧化特性影响的研究。用草酸处理果蔬后需要一定时间使果蔬启动和积累防卫反应<sup>[18]</sup>,采前草酸处理可以避免采摘后由于二次处理而造成的机械损伤,并且采摘后可以将果蔬直接预冷后贮藏或者直接进入市场销售,从而减少采摘后处理的时间。因此,本试验通过研究采前草酸处理对西兰花抗氧化特性和贮藏品质

的影响,以期采前草酸处理在西兰花贮藏保鲜中的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理方法

本试验所用西兰花于2018年4月30日采收于山东省寿光市高科技蔬菜示范园。选择长势一致,大小、色泽、成熟度均一的西兰花地块,分成5个区域,每个区域约有150株西兰花。采前5 d分别喷洒蒸馏水(CK)与5 mmol/L、10 mmol/L、20 mmol/L、40 mmol/L草酸水溶液,喷洒器具为手持式2 L喷壶,每个西兰花的喷洒量约为10 ml,之后在西兰花叶面上粘贴标签。将采收的西兰花放入加冰泡沫箱内并立即运回实验室,预冷至5~6℃,用0.05 mm厚的聚乙烯保鲜袋分装,在每个聚乙烯袋上打6~8个孔,每袋放4个西兰花后将袋口折叠,以1袋西兰花作为1个重复,每个处理设3次重复,每个重复测定2次,取平均值。于2℃贮藏15 d后,转入20℃货架条件下贮藏,取样测定时间为采收当天、贮藏期(每3 d测定1次)、货架期(每天测定1次)。用干净刀片切取各处理、各重复的4个西兰花花球小花蕾,置于液氮中速冻,并贮存于-20℃冰箱中,用于相关指标的测定。用西兰花鲜样测定呼吸强度、相对电导率,将西兰花于20℃平衡1 h后进行测定。当30%的西兰花出现黄化现象时,停止贮藏<sup>[4-5]</sup>。

预试验结果表明,5 mmol/L、10 mmol/L草酸处理的效果不如20 mmol/L草酸处理的效果,40 mmol/L草酸处理的效果与20 mmol/L草酸处理的效果相比并无显著差异。综合考虑经济因素及高浓度草酸处理可能引起的副作用,在研究采前草酸处理延缓西兰花衰老机制的试验中,本试验选择在采前用20 mmol/L草酸处理西兰花。

### 1.2 仪器与试剂

DW-FW351型低温冰箱,购自中科美菱低温科技有限责任公司;ADC2250远红外CO<sub>2</sub>分析仪,购自英国ADC Bioscientific公司;YB型电子天平,购自上海力能电子仪器公司;AL-104型精密分析天平,购自梅特勒-托利多仪器有限公司;GL-20G-2型台式多功能高速冷冻离心机,购自上海安亭科学仪器厂;UV-1750型紫外-可见分光光度计,购自岛津国际贸易(上海)有限公司;XMTD-4000型电热恒温水浴锅,购自北京市永光明医疗仪器厂;BCD-

206TMZL 型冷藏冷冻箱,购自青岛海尔股份有限公司;HANNA HI9932 型电导率仪,购自上海精密仪器仪表有限公司。

草酸、邻菲罗啉购自天津市鼎盛鑫化工有限公司,无水乙醇、丙酮、冰乙酸、无水乙酸钠、硫酸高铁铵、维生素 C、硫代巴比妥酸、氮蓝四唑、核黄素乙二胺四乙酸(EDTA)二钠、甲硫氨酸、硫代硫酸钠、盐酸羟胺购自国药集团化学试剂有限公司, $\alpha$ -萘胺购自美国 Aldrich 公司,1,1-二苯基-2-苦肼基购自北京百灵威科技有限公司。

### 1.3 测定项目与方法

呼吸强度采用 ADC2250 型红外线  $\text{CO}_2$  分析仪进行测定,具体参照郭衍银等<sup>[9]</sup>的方法,结果以 1 kg 样品在 1 h 内产生的二氧化碳质量(mg)表示;叶绿素含量参照邹琦<sup>[19]</sup>的方法进行测定;维生素 C 含量采用邻菲罗啉比色法<sup>[20]</sup>进行测定;细胞膜透性用 HANNA HI9932 型电导率仪进行测定,具体参照郭香凤等<sup>[21]</sup>的方法;丙二醛含量、过氧化氢含量、超氧化物歧化酶

(SOD)活性参照赵世杰等<sup>[22]</sup>的方法测定,以抑制氯化硝基四氮唑蓝(Nitrotetrazolium blue chloride, NBT)光化还原的 50% 作为 1 个 SOD 活性单位;超氧阴离子自由基生成速率参照文献<sup>[23]</sup>的方法进行测定;DPPH 自由基清除能力参照汤月昌等<sup>[12]</sup>的方法进行测定,结果以清除率表示。

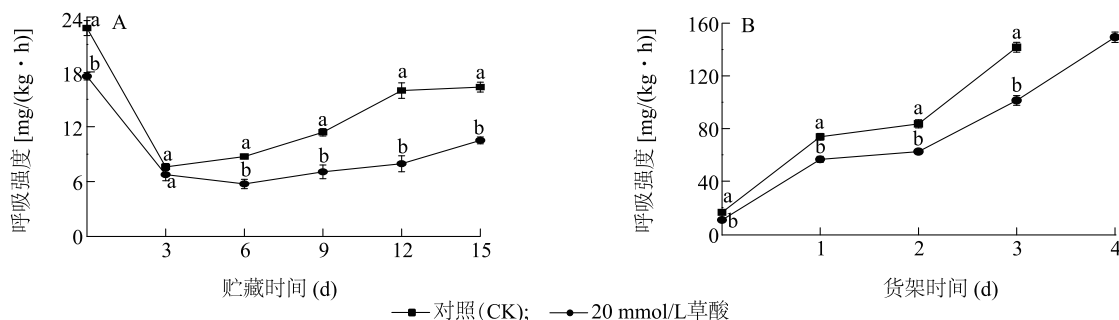
### 1.4 数据分析

测定数据用 SPSS 13.0 进行最小显著性差异法(Least significant difference, LSD)分析和 Duncan's 显著性分析,显著性水平为 0.05,用 Origin 8.6 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 采前草酸处理对西兰花采后呼吸强度的影响

从图 1A 看出,在 2 °C 贮藏前期,西兰花的呼吸作用明显下降,从贮藏 3 d 开始对照组的呼吸强度呈上升趋势;从图 1B 看出,进入 20 °C 货架后,西兰花的呼吸强度迅速增强,并且采前 20 mmol/L 草酸处理显著抑制了西兰花呼吸强度的上升( $P < 0.05$ )。



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 1 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) 呼吸强度的影响

Fig.1 Effects of pre-harvest oxalic acid (OA) treatment on respiration rate of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)

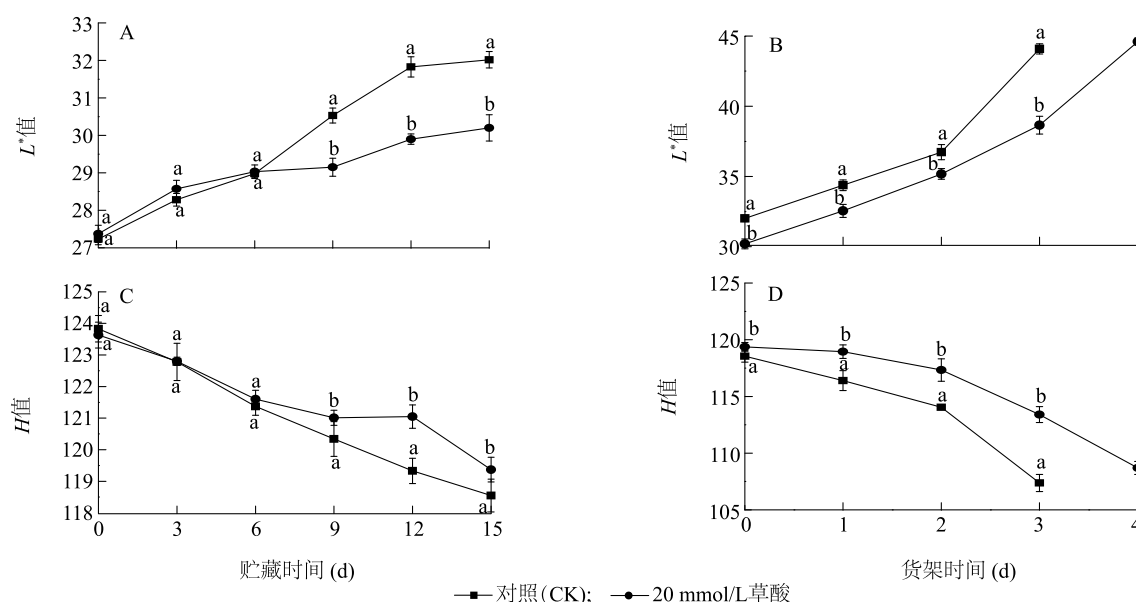
### 2.2 采前草酸处理对西兰花色泽的影响

在采后贮藏过程中,西兰花最明显的衰老特征为花蕾黄化,而色泽是判断其贮藏寿命的直观因素。由图 2A、图 2B 可知,在西兰花于 2 °C 贮藏过程中,明度 ( $L^*$  值)呈上升趋势,移入 20 °C 货架后,  $L^*$  值迅速上升,表明其花蕾明亮度由暗到亮变化;此外,采前 20 mmol/L 草酸处理显著抑制了西兰花贮藏后期及货架期  $L^*$  值的上升 ( $P < 0.05$ )。由图 2C、图 2D 可知,色调角 ( $H$  值)在西兰花衰老过程中整体上呈下降趋势,采前 20 mmol/L 草酸处理组和 CK 组在 2 °C 贮藏期间  $H$  值的变化趋势一致且在 2 °C 贮藏前 6 d 的差异不显著;此外,采前 20 mmol/L 草酸处理能显著抑制西兰

花在 20 °C 货架期间  $H$  值的下降。

### 2.3 采前草酸处理对西兰花采后 MDA 含量和细胞膜透性的影响

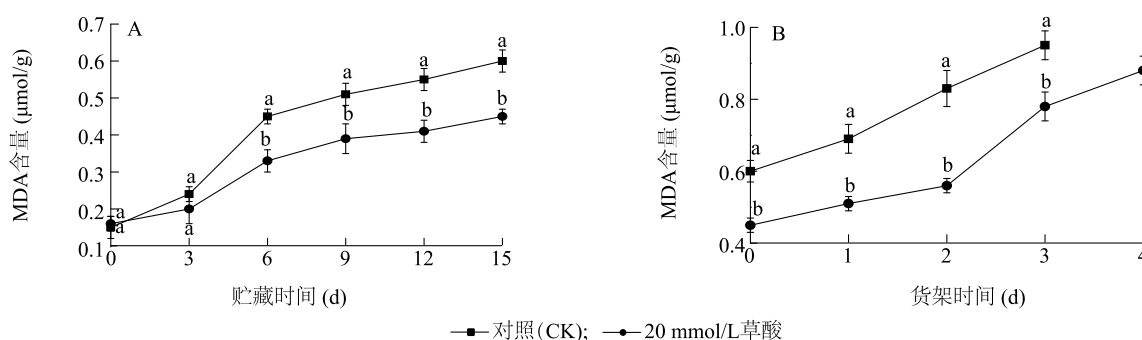
随着采后衰老的加剧,西兰花细胞膜结构被破坏。由图 3 可知,随着贮藏时间的增加,西兰花组织内 MDA 含量呈上升趋势。2 °C 贮藏 15 d 时,CK 组西兰花的 MDA 含量为 0.60  $\mu\text{mol/g}$ ,而采前 20 mmol/L 草酸处理组西兰花的 MDA 含量为 0.45  $\mu\text{mol/g}$ ;20 °C 货架存放 3 d 时,CK 组西兰花的 MDA 含量为 0.95  $\mu\text{mol/g}$ ,而采前 20 mmol/L 草酸处理组西兰花的 MDA 含量为 0.78  $\mu\text{mol/g}$ 。以上结果表明,采前草酸处理可显著降低西兰花组织内 MDA 的积累。



A: 2 °C、不同贮藏时间  $L^*$  值的变化; B: 20 °C、不同货架期  $L^*$  值的变化; C: 2 °C、不同贮藏时间  $H$  值的变化; D: 20 °C、不同货架期  $H$  值的变化。同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图2 采前草酸处理对西兰花在 2 °C 贮藏期和模拟 20 °C 货架期色泽的影响

Fig.2 Effects of pre-harvest OA treatment on color of *Brassica oleracea* var. *italica* stored at 2 °C and 20 °C



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图3 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) MDA 含量的影响

Fig.3 Effects of pre-harvest OA treatment on malondialdehyde (MDA) content of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)

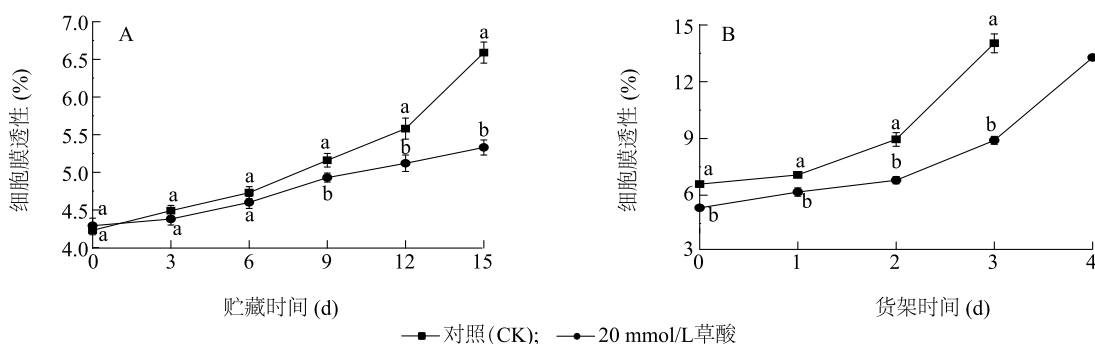
由图 4 可见,随着贮藏时间的延长,西兰花的细胞膜透性呈现上升趋势,在贮藏期前 9 d 上升速度缓慢,移入 20 °C 货架之后迅速上升;采前 20 mmol/L 草酸处理的西兰花在 2 °C 贮藏 9 d 后及货架期细胞膜透性显著低于对照组,2 °C 贮藏 15 d 时,CK 组西兰花的细胞膜透性为 6.59%,而采前 20 mmol/L 草酸处理组西兰花的细胞膜透性为 5.33%;在货架存放 3 d,CK 组西兰花的细胞膜透性为 14.03%,而采前 20 mmol/L 草酸处理组西兰花的细胞膜透性为 8.90%。可见采前草酸处理维持了西兰花细胞膜的完整性,延

缓了西兰花品质的劣变。

## 2.4 采前草酸处理对西兰花采后 $\text{O}_2^-$ 生成速率和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的影响

由图 5、图 6 可见,在 2 °C 贮藏过程中,西兰花的  $\text{O}_2^-$  生成速率与  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量的变化趋势一致,呈上升趋势;在整个贮藏过程中,采前 20 mmol/L 草酸处理组的  $\text{O}_2^-$  生成速率和  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量均低于 CK 组。移入货架后,  $\text{O}_2^-$  生成速率与  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量迅速上升,采前 20 mmol/L 草酸处理显著抑制了西兰花货架期  $\text{O}_2^-$  的生成速率与  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量的上升 ( $P < 0.05$ )。

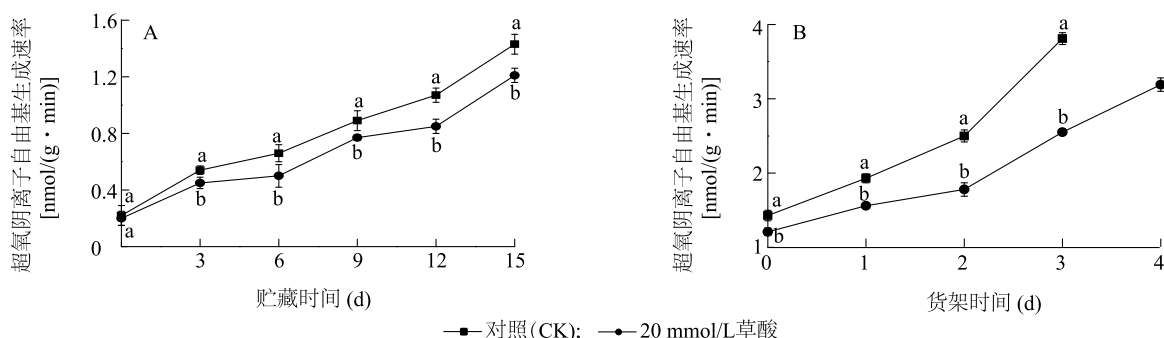




同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图4 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) 细胞膜透性的影响

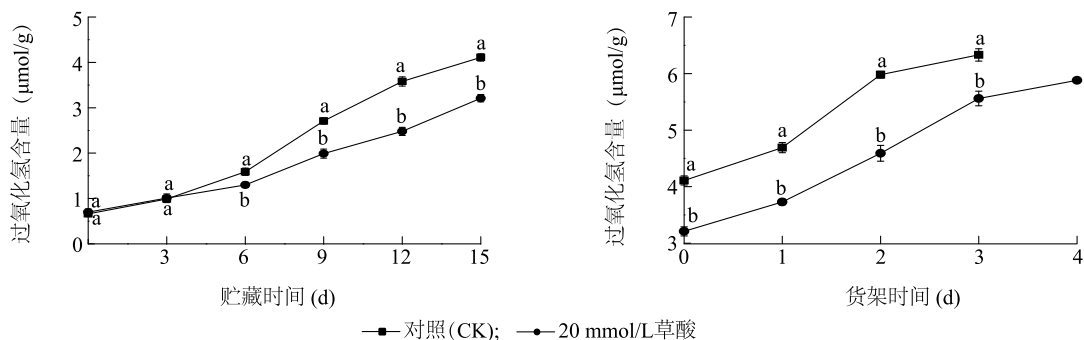
Fig.4 Effects of pre-harvest OA treatment on cell membrane permeability of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图5 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) 超氧阴离子自由基 ( $O_2^{\cdot-}$ ) 生成速率的影响

Fig.5 Effects of pre-harvest OA treatment on superoxide anion radical ( $O_2^{\cdot-}$ ) production rate of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

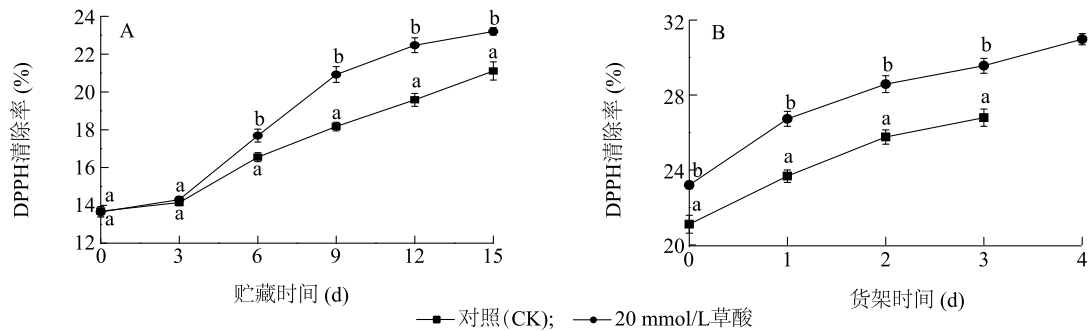
图6 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) 过氧化氢 ( $H_2O_2$ ) 含量的影响

Fig.6 Effects of pre-harvest OA treatment on  $H_2O_2$  content of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)

## 2.5 采前草酸处理对西兰花采后 DPPH 自由基清除率的影响

由图 7 可见,在 2 °C 贮藏过程中,西兰花对 DPPH $\cdot$  的清除率呈上升趋势;在贮藏期、货架

期,采前 20 mmol/L 草酸处理组西兰花对 DPPH $\cdot$  的清除能力(清除率)均高于 CK 组,说明采前草酸处理能提高采后西兰花的抗氧化能力。



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

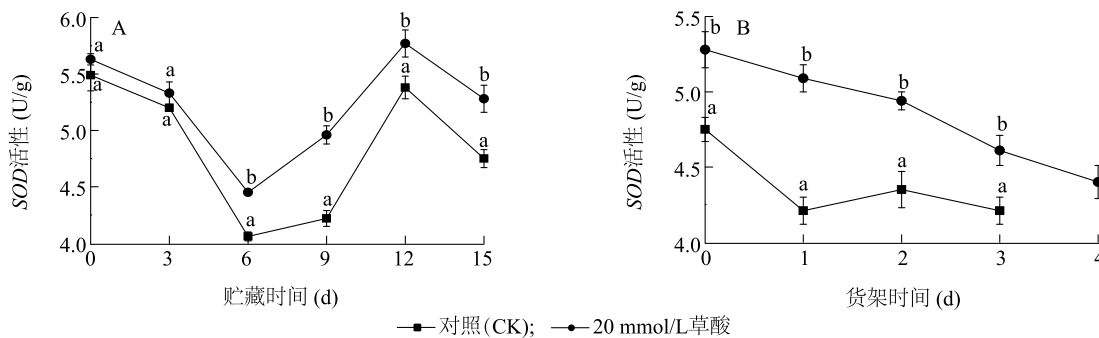
图7 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) DPPH 清除率的影响

Fig.7 Effects of pre-harvest OA treatment on the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)

## 2.6 采前草酸处理对西兰花采后 SOD、CAT 活性的影响

由图 8 可知,在贮藏期和货架期,对照组和 20

mmol/L 草酸处理组的西兰花 SOD 活性呈下降→上升→下降的趋势,并且处理组西兰花的 SOD 活性在大部分时间显著高于 CK 组 ( $P < 0.05$ )。



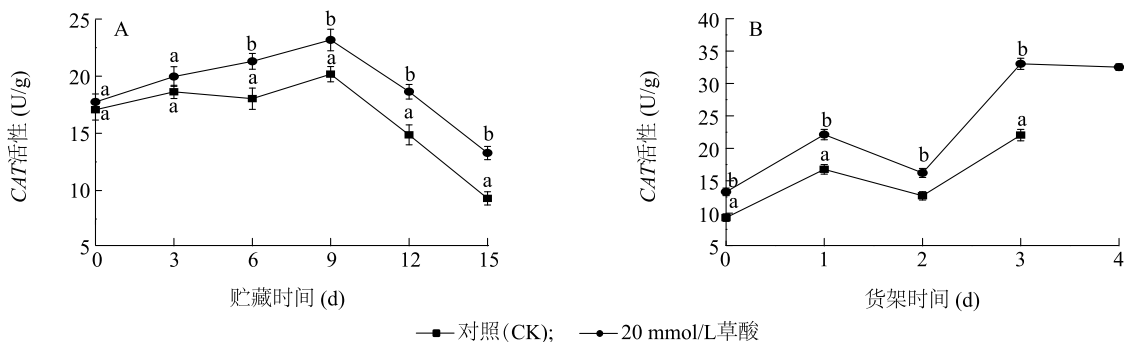
同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图8 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) SOD 活性的影响

Fig.8 Effects of pre-harvest OA treatment on the superoxide dismutase (SOD) activity of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)

由图 9 可见,CK 组与 20 mmol/L 草酸处理组西兰花的 CAT 活性变化趋势在贮藏期和货架期较一

致,且草酸处理组 CAT 活性在大部分时间显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图9 采前草酸处理对西兰花 2 °C 贮藏期 (A) 及模拟 20 °C 货架期 (B) CAT 活性的影响

Fig.9 Effects of pre-harvest OA treatment on the catalase (CAT) activity of *Brassica oleracea* var. *italica* during cold storage (A) and simulated shelf storage (B)

### 3 讨论

西兰花在冷藏后,货架寿命一般仅1~2 d,直接影响了西兰花的销售和商品价值。本研究结果表明,将对照组西兰花在2℃贮藏15 d后,于20℃货架存放3 d就失去了商品价值,而采前20 mmol/L草酸处理抑制了西兰花呼吸强度的上升,延缓了西兰花的颜色变化,使其在20℃货架存放4 d后仍具有一定的商品价值,可见采前草酸处理在西兰花保鲜中具有潜在的应用价值。

外源草酸在毫摩尔浓度水平便具有极强的抗氧化性,在果蔬采后贮藏保鲜过程中,草酸处理可降低果蔬的细胞壁代谢、提高果蔬抗氧化能力、抑制果蔬呼吸强度的上升,并且能延缓果蔬的成熟衰老进程,抑制果蔬采后褐变的发生,诱导植物体内防御酶活性的增加,还能显著诱导植物产生系统获得抗性<sup>[24]</sup>,其在采后果蔬保鲜中的作用已受到国内外研究者的广泛关注<sup>[25-27]</sup>。在正常的果蔬细胞中,活性氧的代谢维持着动态平衡,在果蔬采后衰老过程中,活性氧产生与清除之间的平衡被破坏,产生的活性氧不能及时被清除,造成植物体内活性氧自由基累积。活性氧自由基有很强的氧化能力,浓度过高时会伤害脂类、蛋白质和核酸等生物大分子,从而对果蔬细胞膜系统造成氧化损伤,造成细胞内容物的氧化损失。果蔬的抗氧化体系可以清除由于衰老而产生的自由基积累,维持机体正常代谢,在延缓果蔬成熟的进程中具有重要作用<sup>[20,28-29]</sup>。植物自身的抗氧化体系有非酶促体系<sup>[30-31]</sup>、酶促体系等<sup>[32]</sup>,西兰花中丰富的维生素C、维生素E、胡萝卜素、类黄酮和酚类等抗氧化物质构成了非酶促清除体系,而SOD、POD(过氧化物酶)和CAT等抗氧化酶构成了酶促清除体系。DPPH自由基清除能力是用于评价抗氧化能力的重要指标,本试验结果表明,采前草酸处理显著提升了西兰花对DPPH自由基的清除能力,这可能与草酸本身是一种较强的抗氧化物质及草酸处理提高了抗氧化酶的活性有关。郑小林等<sup>[28]</sup>研究发现,草酸处理可以提高芒果采后果实中抗坏血酸-谷胱甘肽循环系统中抗坏血酸氧化酶和谷胱甘肽还原酶活性以及还原型抗坏血酸、还原型谷胱甘肽抗氧化剂水平,增强芒果对活性氧自由基的清除能力,减轻其膜脂过氧化伤害,进而延缓芒果的成熟衰老进程。本试验结果表明,采前草酸处理

提高了西兰花组织中SOD、CAT活性,这与前人对于桃<sup>[17]</sup>、芒果<sup>[33]</sup>、杏<sup>[34]</sup>、香蕉<sup>[35]</sup>等的研究结果一致。由此说明,采前草酸处理可以通过调节SOD、CAT活性,抑制西兰花 $O_2^{\cdot-}$ 的生成速率和 $H_2O_2$ 含量的上升,延缓由于活性氧积累所导致的膜系统氧化损伤,维持细胞膜的完整性,从而延缓西兰花采后的衰老进程,保持西兰花的品质。

### 4 结论

采前草酸处理能够有效抑制西兰花采后贮藏期间呼吸强度的上升,延缓西兰花花球的褪绿黄化,诱导SOD、CAT活性的提高,抑制活性氧自由基的累积,进而提高采后西兰花的抗氧化能力,延缓其后熟衰老。草酸作为生物体内一种天然的代谢产物,在果蔬保鲜中使用的浓度较低,不会对采后果蔬的食用安全造成影响,并且草酸处理具有操作简单、成本低等优点,因而采前草酸处理为西兰花的贮藏保鲜提供了一种新的安全方便可行的方法。

### 参考文献:

- [1] 徐超炯. 不同采前和采后因子对西兰花芥子油苷与品质的影响及其机理[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [2] RANGKADILOK N, TOMKINS B, NICOLAS M E, et al. The effect of post-harvest and packaging treatments on glucoraphanin concentration in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(25): 7386-7391.
- [3] 吕凤艳,王亮,郭衍银,等.  $O_2/CO_2$ 气调对西兰花保鲜的后续效应[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 241-244.
- [4] 孙志文,吕凤艳,郭衍银,等.  $O_2/CO_2$ 气调中 $CO_2$ 对西兰花叶绿素降解及保鲜作用[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 313-317.
- [5] 张怡,关文强,张娜,等. 温度对西兰花抗氧化活性及其品质指标影响[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 156-161.
- [6] 王丽娇,牟其云,李文香,等. 微真空条件对西兰花叶绿素降解与内源抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 312-317.
- [7] 张娜,阎瑞香,关文强,等. LED单色红光对西兰花采后黄化抑制效果的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(4): 955-959.
- [8] 王连伏,王美霞,刘斌,等. LED红蓝光照射对西兰花保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(3): 47-52.
- [9] 郭衍银,姜颜,彭楠,等. 1-甲基环丙烷和壳聚糖对鲜切西兰花活性氧代谢及保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 270-274.
- [10] 赵素平,刘红艳,胡花丽,等. 6-BA处理对采后西兰花呼吸途径及能量水平的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(5): 141-

- 147.
- [11] 唐欣影.  $\text{ClO}_2$ 缓释剂结合 1-MCP 处理对西兰花常温货架期保鲜作用的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [12] 汤月昌,许 凤,董栓泉,等. 果糖对西兰花抗氧化性及其品质的影响[J]. 现代食品科技,2015,31(4): 164-169,293.
- [13] 梁春强,吕 苾,靳蜜静,等. 草酸处理对采后猕猴桃冷害、抗氧化能力及能荷的影响[J]. 园艺学报,2017,44(2): 279-287.
- [14] 赵建华,李浩霞,安 巍,等. 外源草酸处理对采后枸杞果实活性氧代谢的影响[J]. 江苏农业学报,2009,25(2): 399-402.
- [15] ZHU Y Y, YU J, BRECHT J K, et al. Pre-harvest application of oxalic acid increases quality and resistance to *Penicillium expansum* in kiwifruit during postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 537-543.
- [16] MARTÍNEZ-ESPLÁ A, GARCÍA-PASTOR M E, ZAPATA P J, et al. Preharvest application of oxalic acid improves quality and phytochemical content of artichoke (*Cynara scolymus* L.) at harvest and during storage[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 343-349.
- [17] RAZAVI F, HAJILOU J. Enhancement of postharvest nutritional quality and antioxidant capacity of peach fruits by preharvest oxalic acid treatment[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 200: 95-101.
- [18] 邓建军,毕 阳,谢东锋,等. 草酸处理对厚皮甜瓜采后病害及果实品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(1): 82-86.
- [19] 邹 琦. 植物生理生化试验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1995: 30-32.
- [20] 李园园,王 莉,周梦洁,等. 2,4-表油菜素内酯对草莓果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学,2018,39(1): 279-284.
- [21] 郭香凤,向进乐,李秀珍,等. 贮藏温度对西兰花净菜品质的影响[J]. 农业机械学报,2008,39(2): 201-204.
- [22] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998: 56-124.
- [23] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 上海:上海科学技术出版社,1999: 302-322.
- [24] 侯 琿,周增强,王 丽. 草酸、水杨酸及 BTH 对甜瓜体内几种防御酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(30): 171-175.
- [25] 朱丽琴,张 伟,汪 伟,等. 外源草酸对辣椒保鲜效果和抗氧化防御系统的影响[J]. 江西农业大学学报,2013,35(3): 521-524.
- [26] 郑小林. 外源草酸对水果的保鲜效应及其机制研究进展[J]. 果树学报,2010,27(4): 605-610.
- [27] 沈 玫,王 琪,赵宇瑛,等. 外源草酸对冷藏绿竹笋的保鲜效果及其生理基础[J]. 园艺学报,2013,40(2): 355-362.
- [28] 郑小林,陈 燕,敬国兴,等. 草酸处理对芒果采后果实 AsA-GSH 循环系统的影响[J]. 园艺学报,2011,38(9): 1633-1640.
- [29] TIAN S P, QIN G Z, LI B Q. Reactive oxygen species involved in regulating fruit senescence and fungal pathogenicity[J]. Plant Molecular Biology, 2013, 82(6): 593-602.
- [30] 张焕新,郑 义,殷 玲,等. 白背三七黄酮类化合物的提取及抗氧化性评价[J]. 江苏农业学报,2019,35(4): 933-939.
- [31] 李芬芳,马艳弘,赵密珍,等. 响应面优化提取草莓多酚及其抗氧化活性研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(1): 141-145.
- [32] 赵曾菁,宋奇琦,赵 虎,等. 模拟霜冻条件对黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 南方农业学报,2018,49(4): 757-762.
- [33] RAZZAQ K, KHAN A S, MALIK A U, et al. Effect of oxalic acid application on Samar Bahisht Chaunsa mango during ripening and postharvest[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 152-160.
- [34] WANG Z, CAO J K, JIANG W B. Changes in sugar metabolism caused by exogenous oxalic acid related to chilling tolerance of apricot fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016(114): 10-16.
- [35] HUANG H, JING G X, GUO L F, et al. Effect of oxalic acid on ripening attributes of banana fruit during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 84: 22-27.

(责任编辑:徐 艳)