

# 草酸处理对采后猕猴桃冷害、抗氧化能力及能荷的影响

梁春强, 吕 茏, 靳蜜静, 李 桦, 饶景萍\*

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

**摘 要:** ‘华优’猕猴桃 (*Actinidia chinensis* ‘Huayou’) 果实采收后用  $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  草酸浸泡 10 min, 置于  $(0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ , RH 90% ~ 95% 的冷库贮藏 90 d。结果发现, 草酸处理能够缓解猕猴桃果实的冷害和细胞膜损伤, 延缓硬度、可滴定酸的下降, 显著提高超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性, 维持较高的抗坏血酸 (AsA) 及谷胱甘肽 (GSH) 含量, 降低超氧阴离子自由基生成速率 ( $\text{O}_2^-$ ) 和过氧化氢 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 含量, 维持较高的 ATP 含量及能荷水平, 表明草酸处理能保持良好的果实品质, 增强果实的抗冷性, 可能与提高果实的抗氧化能力, 维持较高的 ATP 和能荷有关。

**关键词:** 猕猴桃; 草酸; 冷害; 抗氧化; 能荷

**中图分类号:** S 663.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2017) 02-0279-09

## Effects of Oxalic Acid Treatment on Chilling Injury, Antioxidant Capacity and Energy Status in Harvested Kiwifruits Under Low Temperature Stress

LIANG Chunqiang, LÜ Jiang, JIN Mijing, LI Hua, and RAO Jingping\*

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Harvested kiwifruit (*Actinidia chinensis* ‘Huayou’) were dipped in  $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  oxalic acid (OA) solution for 10 min at room temperature then stored at  $(0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$  (90% – 95% RH) for 90 days. The results indicated that pre-storage application of OA marked lyalleviated chilling injury development and membrane damage, maintained higher firmness and titratable acid level. Moreover, OA significantly increased activities of antioxidant enzymes including superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT); maintained higher contents of ascorbic acid (AsA) and glutathione (GSH); decreased levels of superoxide anion production ( $\text{O}_2^-$ ) rate and hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) content; and kept higher ATP level and energy charge in the fruits during cold storage. These results suggested that pre-storage application of OA contributed to maintaining fruit quality and improving chilling tolerance in the fruits might attribute to enhanced antioxidant capacity and maintained higher levels of ATP and energy status.

**Keywords:** kiwifruit; oxalic acid; chilling injury; antioxidant capacity; energy charge

猕猴桃是典型的呼吸跃变型浆果, 常温下贮藏成熟衰老很快且极易腐烂, 低温能有效延长其贮

收稿日期: 2016-08-05; 修回日期: 2017-02-15

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2015BAD16B03)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: dqr0723@163.com)

藏期。但猕猴桃是冷敏性果实,低温贮藏容易诱发冷害(Song et al., 2009; 马秋诗 等, 2014)。猕猴桃果实的冷害症状主要表现为果皮凹陷,皮下组织木质化和褐化,果肉水渍化(Antunes & Sfakiotakis, 2002; Burdon et al., 2007)。冷害导致猕猴桃出库后大量腐烂,损失严重(杨青珍 等, 2013)。因此,采取有效的采后处理措施,降低果实的冷害率,保持良好的品质意义重大。

草酸(OA)是生物体内的一种代谢产物,广泛分布于动物、植物和真菌体中(Libert & Franceschi, 1987)。研究表明,草酸处理可以增强桃果实的抗氧化能力(郑小林 等, 2005),延缓芒果的成熟衰老进程(Zheng et al., 2012),延长李果实的低温贮藏期(Wu et al., 2011),增强黄瓜的抗病性(Mucharromah & Euc, 1991)。此外,近年来研究发现草酸还能减轻芒果(Ding et al., 2007)、石榴(Sayyari et al., 2010)果实的冷害,提高其抗冷性。Jin 等(2014)研究发现草酸能提高桃果实中不饱和脂肪酸的含量,维持较高的 ATP 及能荷水平,增强其抗冷力。但是有关草酸处理对猕猴桃冷害的研究还未见报道。

本试验中以对低温敏感且绒毛稀少的‘华优’猕猴桃作试材,研究适宜浓度草酸处理对其冷害、抗氧化能力及能荷的影响,以期对猕猴桃贮藏技术的改善提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理

‘华优’猕猴桃果实于 2015 年 10 月 12 日(可溶性固形物在 7.0% ~ 8.0%)采自陕西省周至县广济镇一个管理良好的猕猴桃园。采收后 2 h 内运回西北农林科技大学园艺学院采后实验室,自然放置 3 h 散去田间热。挑选大小、成熟度一致,无病虫害,无机械损伤的果实作试材。预实验设 4 个草酸浓度,0(对照)、5、25 和 50 mmol · L<sup>-1</sup>,确定 5 mmol · L<sup>-1</sup> 为最佳处理浓度。然后用 5 mmol · L<sup>-1</sup> 的草酸溶液浸果 10 min,以浸水 10 min 为对照,每处理 3 次重复,每重复 500 个果。

果面自然干燥后,置于(0 ± 0.5) °C, RH 90% ~ 95%的冷库贮藏。贮藏期间,每 10 d 取 15 个果用于测定果肉硬度、可滴定酸含量及细胞膜透性。同时取果肉赤道部位样品立即用液氮速冻后保存于 - 80 °C 的超低温冰箱中,用于 SOD、CAT、AsA、GSH、O<sub>2</sub><sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、ATP、ADP 和 AMP 的测定。每项指标重复测定 3 次,取平均值。

### 1.2 测定指标与测定方法

果实硬度采用意大利 FT-327 型硬度计测定,探头直径 11 mm,测定深度 8 mm,测定赤道部两侧去皮果肉硬度,单位为 N;可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定。

贮藏期间,每 10 d 随机取 30 个果实,移至室温下放置 5 d,观察果实的冷害症状及其发展变化,参照王玉萍等(2013)的方法,划分冷害等级,计算冷害指数。

细胞膜透性参照姚丹等(2011)的方法,利用电导率仪(DDS-320,上海康仪公司仪器有限公司)测定。

果肉样品中 SOD、CAT、AsA、GSH 的测定参照曹建康等(2007)的方法。SOD 以抑制 NBT 光化还原 50%为 1 个酶活单位,单位为 U · h<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup>FW。CAT 以每克果肉 1 min OD<sub>240</sub> 值变化 0.01 为一个酶活单位,单位为 U · min<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup>FW。AsA 和 GSH 用分光光度计法,含量分别用 mg · g<sup>-1</sup>FW 和 U · mol · g<sup>-1</sup>FW 表示。

O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量参照芮怀瑾等(2009)的方法,O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率用 μmol · min<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup>FW 表示,

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量用  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$  表示。

ATP、ADP、AMP 的提取参考 Li 等 (2016) 的方法。采用 HPLC (LC-2010AHT) 法测定果实中 ATP、ADP 及 AMP 的含量 (吴光斌 等, 2013)。色谱柱采用反向 C-18 柱 (5.0  $\mu\text{m}$ , 4.6 mm  $\times$  250 mm), 流动相为磷酸盐缓冲液 (20 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 20 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, pH7.0), 流速 1.2 mL  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, 柱温 30  $^{\circ}\text{C}$ , 检测波长 254 nm, 进样量 20  $\mu\text{L}$ , 标线采用外标定量法。能荷 (EC) 的计算公式为:  $\text{EC} = (\text{ATP} + 1/2 \text{ADP}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP})$ 。

1.3 数据处理

数据为重复的平均值  $\pm$  标准误。采用 Excel2013 软件进行数据处理; 用 SPSS20.0 软件分析对照与草酸处理的平均值间的差异水平, 概率临界值为 0.05。

2 结果与分析

2.1 草酸处理对猕猴桃果实冷害发生的影响

对照果实在贮藏 50 d 左右, 果肉开始出现水渍化组织; 60 d 时皮下果肉开始出现零星的木质化小斑点, 之后小斑点逐渐扩大成片状; 70 d 时开始出现果皮凹陷和褐化。随着贮藏时间的延长, 以上冷害症状逐渐加重。草酸处理果实的上述冷害症状出现时间比对照晚 10 d 以上, 且整个贮藏期间冷害程度明显低于对照 (图 1)。

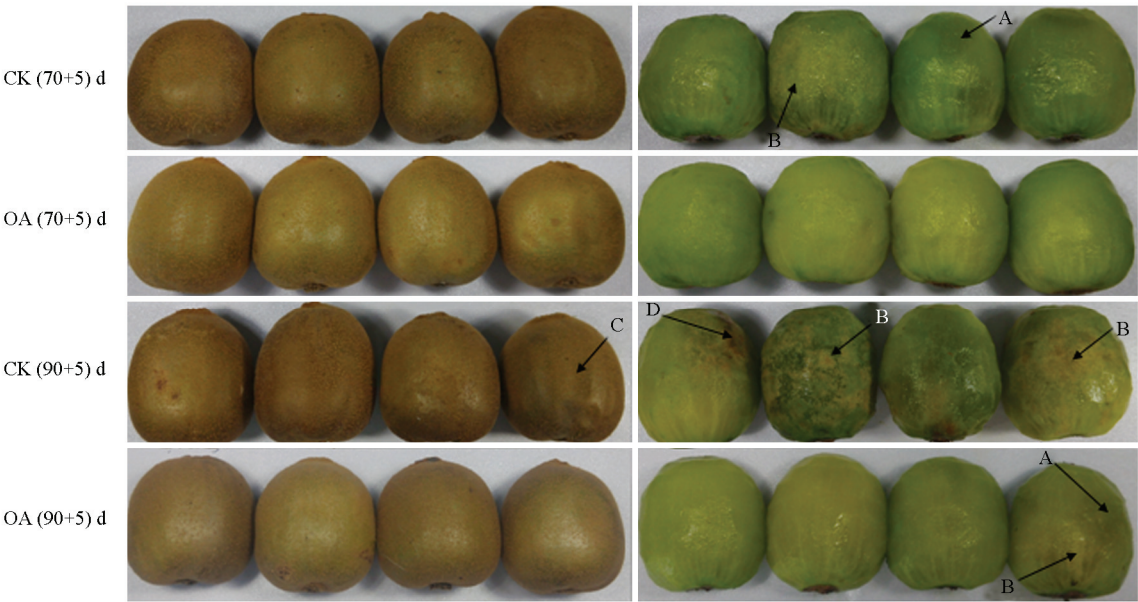


图 1 对照 (CK) 和草酸处理 (OA) 猕猴桃果实冷藏过程中冷害的发生情况

A: 水渍状; B: 皮下木质化; C: 果皮凹陷; D: 褐变。+ 5 为 20  $^{\circ}\text{C}$  室温放置 5 d。

Fig. 1 Appearance of chilling injury symptoms in the control (CK) and oxalic acid (OA) treated of ‘Huayou’ kiwifruit for 5 days at 20  $^{\circ}\text{C}$  after transferred from at 0  $^{\circ}\text{C}$  for 70 or 90 days

A: Water soaked in pulp tissue; B: Subcutaneous tissue lignification; C: Skin pit;  
D: Skin browning. + 5 indicated 5 days at 20  $^{\circ}\text{C}$ .

处理和对照果实的冷害指数在 0 °C 贮藏 40 d 以后开始上升 (图 2, A), 贮藏结束时, 处理果实的冷害指数为 0.219, 比对照果实降低了 41.93%。果实的细胞膜透性随着贮藏时间不断上升, 贮藏 10 d 以后对照显著高于处理 (图 2, B)。

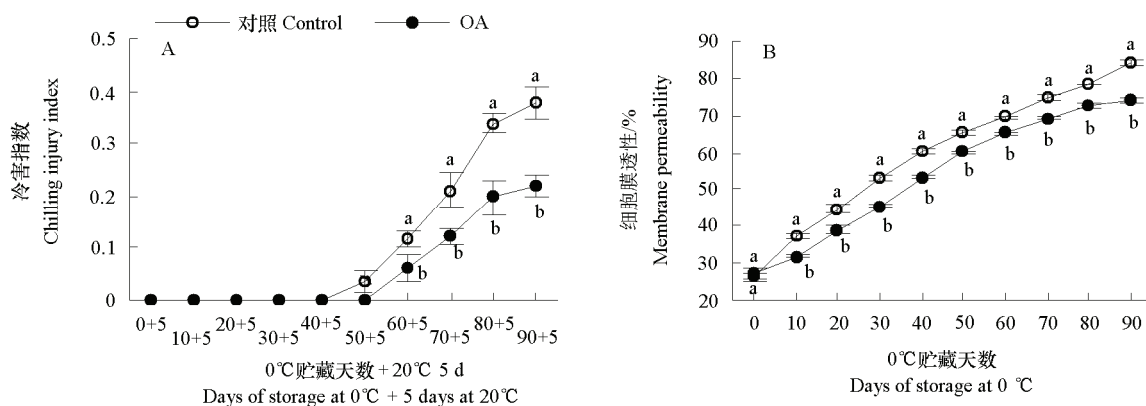


图 2 草酸 (OA) 处理对猕猴桃果实冷藏期间冷害指数 (A) 和细胞膜透性 (B) 的影响

不同小写字母表示相同时间处理与对照在 0.05 水平上差异显著。下同。

Fig. 2 Effects of oxalic acid (OA) treatment on chilling injury index (A) and membrane permeability (B) of kiwifruit during cold storage

Different small letters in the same storage meant significant difference at 0.05 level between treatments and their controls at the 0.05 level. The same below.

## 2.2 草酸处理对果实冷藏期间果肉硬度和可滴定酸含量的影响

果实的硬度在贮藏前 50 d 快速下降, 之后下降减缓, 在贮藏 30 d 以后处理果实的硬度显著高于对照 (图 3, A)。处理和对照果实的可滴定酸含量变化趋势基本一致, 即在贮藏的前 40 d 不断下降, 40 ~ 50 d 略微上升后再次不断下降, 贮藏 30 d 以后草酸处理果实的可滴定酸含量显著高于对照 (图 3, B)。

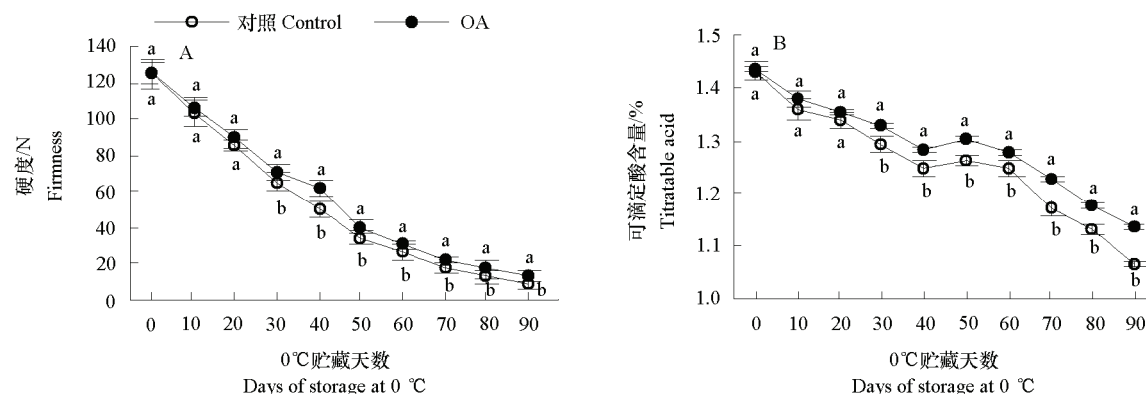


图 3 草酸 (OA) 处理对果实冷藏期间果肉硬度 (A) 和可滴定酸含量 (B) 的影响

Fig. 3 Effect of oxalic acid (OA) treatment on flesh firmness (A) and titratable acid (B) of kiwifruit during cold storage

## 2.3 草酸处理对猕猴桃果实冷藏期间 SOD 和 CAT 活性的影响

草酸处理和对照果实的 SOD 活性在贮藏后急剧增加并在 30 d 达到高峰, 而后逐渐降低, 贮藏 10 d 以后, 处理果实的 SOD 活性显著高于对照 (图 4, A)。处理和对照果实的 CAT 活性变化趋势基本一致, 40 d 达到高峰, 之后下降, 贮藏 10 d 以后, 处理果实的 CAT 活性显著高于对照 (图 4, B)。

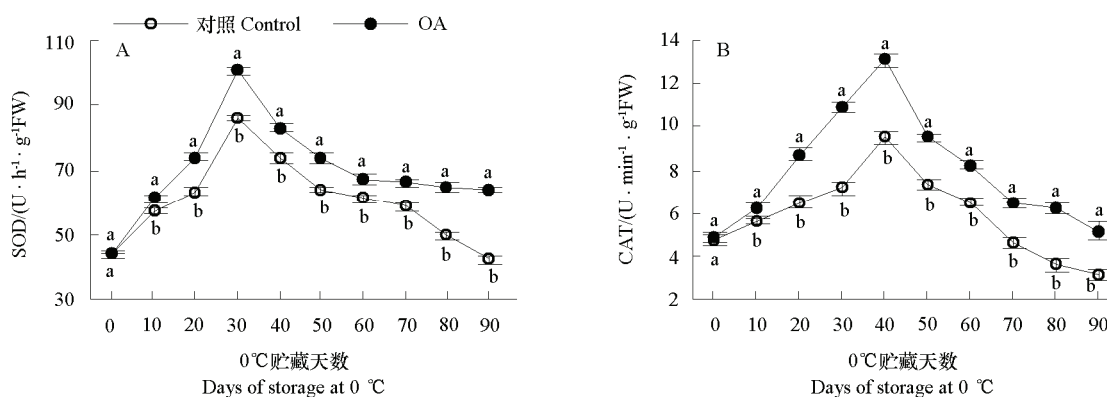


图 4 草酸 (OA) 处理对猕猴桃果实冷藏期间 SOD (A) 和 CAT (B) 活性的影响

Fig. 4 Effect of oxalic acid (OA) treatment on activities of SOD (A) and CAT (B) of kiwifruit during cold storage

## 2.4 草酸处理对猕猴桃果实冷藏期间 AsA 和 GSH 含量的影响

草酸处理和对照果实的 AsA 含量在贮藏的前 40 d 不断下降, 处理果实在 40~50 d 短暂上升后再次不断下降, 对照果实在 40~60 d 上升后开始下降, 在贮藏 20 d 后处理果实的 AsA 含量显著高于对照 (图 5, A)。处理和对照果实的 GSH 含量变化趋势基本一致, 即贮藏后不断增加并在 30 d 达到高峰, 以后逐渐降低。贮藏 10 d 以后处理果实的 GSH 含量显著高于对照 (图 5, B)。

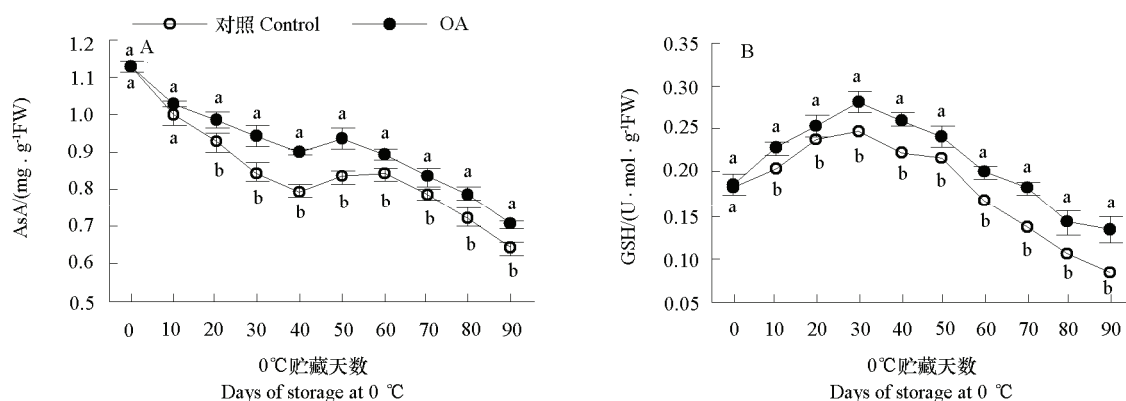


图 5 草酸 (OA) 处理对猕猴桃冷藏期间 AsA (A) 和 GSH (B) 含量的影响

Fig. 5 Effect of oxalic acid (OA) treatment on contents of AsA (A) and GSH (B) of kiwifruit during cold storage



## 2.5 草酸处理对猕猴桃果实冷藏期间活性氧的影响

草酸处理和对照果实的  $O_2^-$  生成速率在前 30 d 略微下降, 之后不断上升, 在贮藏 50 d 后处理果实的  $O_2^-$  含量显著低于对照 (图 6, A)。对照果实的  $H_2O_2$  含量随贮藏时间的延长而不断增加, 处理果实在贮藏 20 d 以后开始不断上升, 贮藏 10 d 以后处理果实的  $H_2O_2$  含量显著低于对照 (图 6, B)。

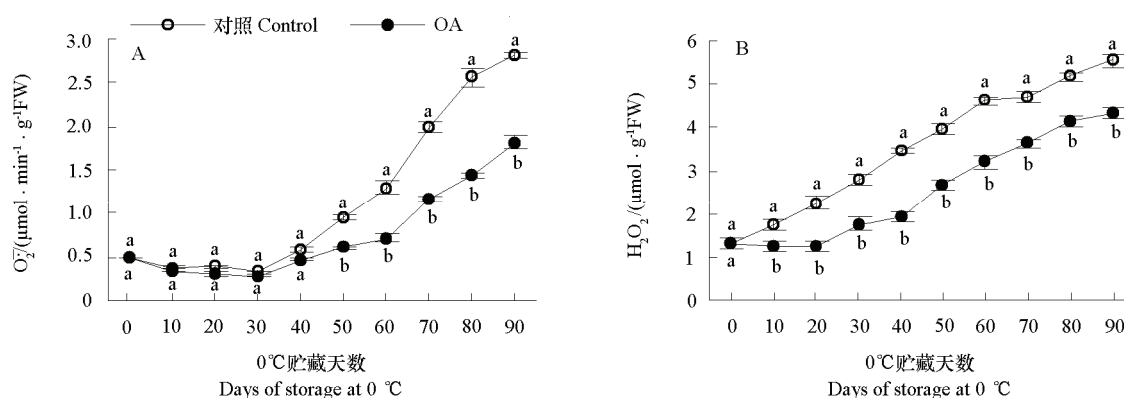


图 6 草酸处理 (OA) 对猕猴桃冷藏期间  $O_2^-$  (A) 和  $H_2O_2$  (B) 含量的影响

Fig. 6 Effect of oxalic acid (OA) treatment on  $O_2^-$  production rate (A) and  $H_2O_2$  (B) content of kiwifruit during cold storage

## 2.6 草酸处理对猕猴桃果实冷藏期间 ATP、ADP、AMP 含量及能荷的影响

处理和对照果实的 ATP 含量在贮藏后不断上升并在 30 d 达到高峰, 之后不断下降, 草酸处理显著延缓了 30 d 以后 ATP 含量的下降 (图 7, A); ADP 含量随着贮藏时间的延长而不断下降, 处

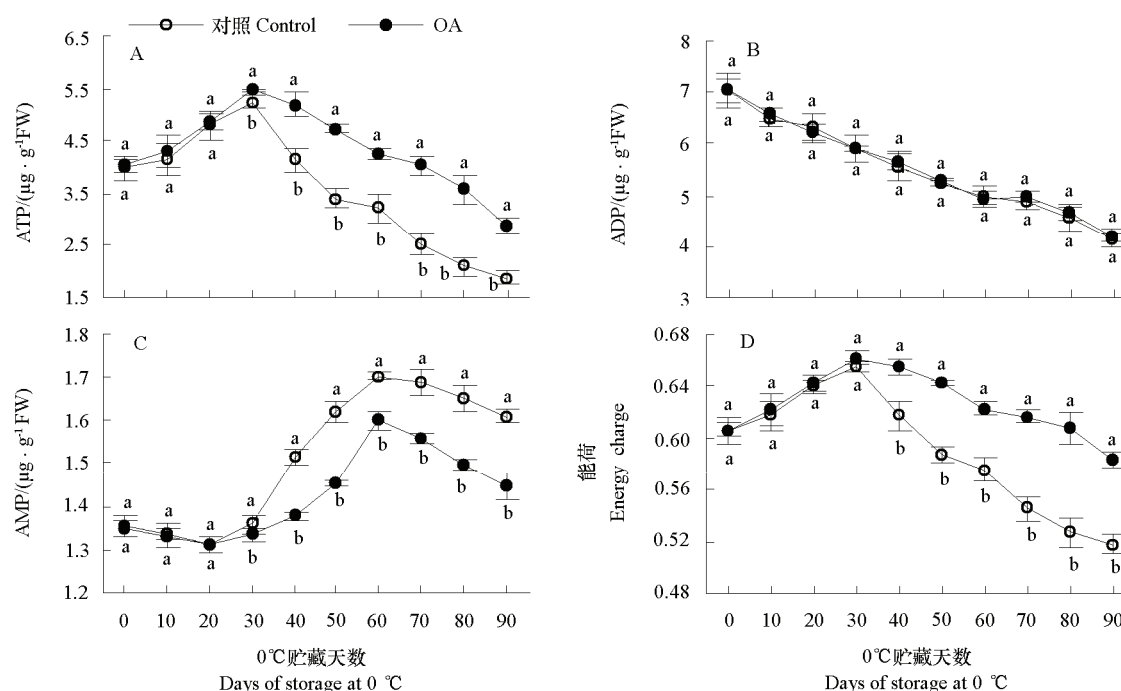


图 7 草酸处理 (OA) 对猕猴桃冷藏期间 ATP (A)、ADP (B)、AMP (C) 含量及能荷 (D) 的影响

Fig. 7 Effect of oxalic acid (OA) treatment on contents of ATP (A), ADP (B), AMP (C) and energy charge (D) of kiwifruit during cold storage

理和对照之间没有显著差异(图 7, B); AMP 含量在贮藏的前 20 d 缓慢下降, 20~60 d 内急剧上升, 而后不断下降, 贮藏 30 d 以后处理果实的 AMP 含量显著低于对照(图 7, C)。处理和对照果实的能荷在贮藏的前 30 d 不断上升, 而后开始下降, 在贮藏 40 d 后处理果实的能荷显著高于对照(图 7, D)。

### 3 讨论

低温贮藏可有效抑制采后猕猴桃的成熟衰老, 但猕猴桃对低温比较敏感, 易发生冷害。Lallu (1997) 研究发现在  $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  的条件下贮藏 24 周, 高达 98% 的猕猴桃会出现冷害。本研究结果显示, 草酸处理可有效减轻猕猴桃在低温贮藏期间的冷害症状, 贮藏期间草酸处理果实的冷害指数显著低于对照, 这与薛锡佳等(2012)用草酸处理杧果的结果类似。冷害发生后首先引起细胞膜的相变, 导致细胞膜透性增加, 因此细胞膜透性的变化可以及时准确地反映冷害的发生程度(Lyons & Chapman, 1979)。本试验中草酸处理抑制了细胞膜透性的增加, 说明草酸有利于保持细胞膜的完整性。硬度和可滴定酸的变化是衡量采后果实品质保持状态的重要指标, 试验中发现草酸抑制了硬度和可滴定酸的下降, 说明草酸处理能够延缓猕猴桃果实冷藏期间的衰老进程。

低温胁迫使冷敏性果实  $\text{O}_2^-$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  等 ROS 代谢失调并开始大量积累, 导致细胞膜损伤加剧从而加重冷害(Lyons, 1973; Wang, 1993)。研究表明提高 ROS 的清除能力可以减轻冷害, 而果蔬中积累的 ROS 主要通过抗氧化酶和抗氧化物质清除(Blokhina et al., 1991; Zhang et al., 2016)。试验中草酸处理能够显著提高抗氧化酶 SOD 和 CAT 的活性, 维持较高的 AsA 和 GSH 含量。SOD 能将  $\text{O}_2^-$  歧化成  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 而 CAT 将  $\text{H}_2\text{O}_2$  转化成  $\text{H}_2\text{O}$ ; AsA 和 GSH 是 AsA-GSH 循环系统中重要的抗氧化剂, 可以和  $\text{H}_2\text{O}_2$  等 ROS 直接反应(Locato et al., 2008; 郑小林 等, 2011), 从而降低  $\text{O}_2^-$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  的积累, 减少 ROS 对细胞膜的损害, 减轻猕猴桃果实的冷害。这和 Zheng 等(2007)用草酸处理杧果降低果实的 ROS 伤害, 提高果实的抗冷性结果类似。

较高的 ATP 含量和能荷可以有效缓解果实的褐变等冷害症状, 增强果实的抗冷性(Su et al., 2005; Yi et al., 2008), 而能量供应不足将导致细胞膜损伤加重, 生理代谢紊乱, 加重果实的冷害(Jiang et al., 2007; Zhao et al., 2012; Chen & Yang, 2013)。研究表明草酸处理可以加强低温贮藏果实的氧化磷酸化, 提高能量代谢相关酶的活性, 保持较高的 ATP 产生效率, 保持细胞膜的完整性, 减少 ROS 的积累, 缓解果实的冷害(Ding et al., 2007; Jin et al., 2014; Li et al., 2016)。本试验中对照和草酸处理果实的 ATP 含量及能荷在贮藏后不断上升并在 30 d 达到高峰, 随后开始下降, 在 ATP 和能荷开始下降之后, 果实逐渐表现出冷害症状, 随着 ATP 和能荷的下降, 冷害不断加重, 但草酸处理果实的冷害程度显著低于对照, 这可能是较高的 ATP 和能荷保持了细胞膜的完整性, 提高了果实的抗氧化能力, 降低 ROS 积累, 提高了果实的抗冷性。

综上所述, 草酸处理可以通过提高抗氧化酶活性, 保持较高的抗氧化物质, 降低 ROS 的积累, 维持较高的 ATP 含量及能荷来保持较好的果实品质, 维持细胞膜的完整性, 从而增强低温贮藏条件下猕猴桃果实的抗冷性。

### References

- Antunes M D C, Sfakiotakis E M. 2002. Chilling induced ethylene biosynthesis in 'Hayward' kiwifruit following storage. *Scientia Horticulturae*, 92 (1): 29 - 39.
- Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K V, Antioxidants. 1991. Oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 91

- (2): 179 – 194.
- Burdon J, Lallu N, Francis K, Bolding H. 2007. The susceptibility of kiwifruit to low temperature breakdown is associated with pre-harvest temperatures and at-harvest soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, 43 (3): 283 – 290.
- Cao Jian-kang, Jiang Wei-bo, Zhao Yu-mei. 2007. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Beijing: China Light Industry Press. (in Chinese)
- 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 2007. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社.
- Chen B X, Yang H Q. 2013. 6-Benzylaminopurine alleviates chilling injury of postharvest cucumber fruit through modulating antioxidant system and energy status. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (8): 1915 – 1921.
- Ding Z S, Tian S P, Zheng X L, Zhou Z W, Xu Y. 2007. Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress. *Physiologia Plantarum*, 130 (1): 112 – 121.
- Jiang Y M, Jiang Y L, Qu H X, Duan X W, Luo Y B, Jiang W B. 2007. Energy aspects in ripening and senescence of harvested horticultural crops. *Stewart Postharvest Review*, 3 (2): 1 – 5.
- Jin P, Zhu H, Wang L, Shan T M, Zheng Y H. 2014. Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid contents. *Food Chemistry*, 161 (11): 87 – 93.
- Lallu N. 1997. Low temperature breakdown in kiwifruit. III International Symposium on Kiwifruit, 444: 579 – 585.
- Li P Y, Fin Y, Song L J, Zheng X L. 2016. Alleviation of chilling injury in tomato fruit by exogenous application of oxalic acid. *Food Chemistry*, 202: 125 – 132.
- Libert B, Franceschi V R. 1987. Oxalate in crop plants. *J Agric Food Chem*, 35 (6): 926 – 938.
- Locato V, Gadaleta C, Gara L D, Pinto M C D. 2008. Production of reactive species and modulation of antioxidant network in response to heat shock: a critical balance for cell fate. *Plant Cell & Environment*, 31 (11): 1606 – 1619.
- Lyons J M. 1973. Chilling injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 24 (1): 445 – 466.
- Lyons J M, Chapman E A. 1979. Low temperature stress in crop plants: the role of the membrane. New York: Academic Press: 17 – 32.
- Ma Qiu-shi, Rao Jing-ping, Li Xiu-fang, Sun Zhen-ying, Suo Jiang-tao. 2014. Effect of prestorage hot water treatments on chilling injury in ‘Hongyang’ kiwifruit. *Journal of Food and Science*, 35 (14): 256 – 261. (in Chinese)
- 马秋诗, 饶景萍, 李秀芳, 孙振营, 索江涛. 2014. 贮前热水处理对‘红阳’猕猴桃果实冷害的影响. *食品科学*, 35 (14): 256 – 261.
- Mucharromah E, Kuc J. 1991. Oxalate and phosphates induce systemic resistance against diseases caused by fungi, bacteria and viruses in cucumber. *Crop Protection*, 10 (4): 265 – 270.
- Rui Huai-jin, Shang Hai-tao, Wang Kai-tuo, Jin Peng, Tang Shuang-shuang, Cao Shi-feng, Zheng Yong-hua. 2009. Effects of heat treatment on active oxygen metabolism and flesh lignification in cold-stored loquat fruits. *Food Science*, 30: 304 – 308. (in Chinese)
- 芮怀瑾, 尚海涛, 汪开拓, 金 鹏, 唐双双, 曹士峰, 郑永华. 2009. 热处理对冷藏枇杷果实活性氧代谢和木质化的影响. *食品科学*, 30: 304 – 308.
- Sayyari M, Valero D, Babalar M, Kalantari S, Zapata P J, Serrano M. 2010. Prestorage oxalic acid treatment maintained visual quality, bioactive compounds, and antioxidant potential of pomegranate after long-term storage at 2 degrees. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 58 (11): 6804 – 6808.
- Song L L, Gao H Y, Chen H J, Mao J L, Zhou Y J, Chen W X, Jiang Y M. 2009. Effects of short-term anoxic treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage. *Food Chemistry*, 114 (4): 1216 – 1221.
- Su X G, Jiang Y M, Duan X W, Liu H, Li Y B, Lin W B, Zheng Y G. 2005. Effects of pure oxygen on the rate of skin browning and energy status in longan fruit. *Food Technology and Biotechnology*, 43 (4): 359 – 365.
- Wang C Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Horticultural Reviews*, 15: 63 – 95.
- Wang Yu-ping, Rao Jing-ping, Yang Qing-zhen, Li Meng, Suo Jiang-tao, Zhao Hai-liang. 2013. Chilling tolerance difference among three kiwifruit cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (2): 341 – 349. (in Chinese)
- 王玉萍, 饶景萍, 杨青珍, 李 萌, 索江涛, 赵海亮. 2013. 猕猴桃 3 个品种果实耐冷性差异研究. *园艺学报*, 40 (2): 341 – 349.
- Wu F W, Zhang D D, Zhang H Y, Jiang G Q, Su X G, Qu H X, Jiang Y M, Duan X W. 2011. Physiological and biochemical response of harvested



- plum fruit to oxalic acid during ripening or shelf-life. Food Research International, 44 (5): 1299 - 1305.
- Wu Guang-bin, Chen Jing, Chen Fa-he. 2013. HPLC Determination of ATP, ADP and AMP in postharvest wax apple (*Syzygium samarangense* Merr. et Perry.) fruits. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 13 (9): 196 - 200. (in Chinese)
- 吴光斌, 陈 静, 陈发河. 2013. HPLC 法测定采后莲雾果实中 ATP、ADP 及 AMP 的含量. 中国食品学报, 13 (9): 196 - 200.
- Xue Xi-jia, Li Pei-yan, Song Xia-qin, Shen Mei, Zheng Xiao-lin. 2012. Mechanisms of oxalic acid alleviating chilling injury in harvested mango fruit under low temperature stress. Acta Horticulturae Sinica, 39 (11): 2251 - 2257. (in Chinese)
- 薛锡佳, 李佩艳, 宋夏钦, 沈 玫, 郑小林. 2012. 草酸处理减轻芒果采后果实冷害的机理研究. 园艺学报, 39 (11): 2251 - 2257.
- Yang Qing-zhen, Rao Jing-ping, Wang Yu-ping. 2013. Effects of different cooling modes on chilling injury, quality and active oxygen metabolism in harvested 'Xuxiang' kiwifruit. Acta Horticulturae Sinica, 40 (4): 651 - 662. (in Chinese)
- 杨青珍, 饶景萍, 王玉萍. 2013. '徐香'猕猴桃采收后逐步降温处理对果实冷害、品质和活性氧代谢的影响. 园艺学报, 40 (4): 651 - 662.
- Yao Dan, Pan Duo-jun, Liu Xiang, Ma Qiu-min, Che Ying-hui, Luo Yun-bo, Qu Gui-qin. 2011. Determination of cell viability and DNA fragmentation in tomato fruit induced by senescence and heat stress. Journal of Food Science and Biotechnology, 30 (3): 440 - 444. (in Chinese)
- 姚 丹, 潘多军, 刘 翔, 马秋敏, 车英慧, 罗云波, 曲桂芹. 2011. 番茄果实组织在衰老和热胁迫中死亡率及 DNA 片段化的测定. 食品与生物技术学报, 30 (3): 440 - 444.
- Yi C, Qu H X, Jiang Y M, Shi J, Duan X W, Joyce D C, Li Y B. 2008. Atp-induced changes in energy status and membrane integrity of harvested litchi fruit and its relation to pathogen resistance. Journal of Phytopathology, 156 (6): 365 - 371.
- Zhang Y, Jin P, Huang Y P, Shan T M, Li Wang, Li Y Y, Zheng Y H. 2016. Effect of hot water combined with glycine betaine alleviates chilling injury in cold-stored loquat fruit. Postharvest Biology and Technology, 118: 141 - 147.
- Zhao Y Y, Chen J J, Jin P, Yuan R X, Li H H, Zheng Y H. 2012. Effects of low temperature conditioning on chilling injury and energy status in cold-stored peach fruit. Food Science, 33 (4): 276 - 281.
- Zheng X L, Jing G X, Liu Y, Jiang T J, Jiang Y M, Li J R. 2012. Expression of expansin gene, *MiExpA1*, and activity of galactosidase and polygalacturonase in mango fruit as affected by oxalic acid during storage at room temperature. Food Chemistry, 132 (2): 849 - 854.
- Zheng X L, Tian S P, Gidley M J, Yue H, Li B Q, Xu Y, Zhou Z W. 2007. Slowing the deterioration of mango fruit during cold storage by pre-storage application of oxalic acid. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 82 (5): 707 - 714.
- Zheng Xiao-lin, Chen Yan, Jing Guo-xing, Li Ang, Zhang Jia-jia, Li Jian-rong. 2011. Effects of oxalic acid treatment on AsA-GSH cycle in mango fruit during storage at room temperature. Acta Horticulturae Sinica, 38 (9): 1633 - 1640. (in Chinese)
- 郑小林, 陈 燕, 敬国兴, 李 昂, 张佳佳, 励建荣. 2011. 草酸处理对芒果采后果实 AsA-GSH 循环系统的影响. 园艺学报, 38 (9): 1633 - 1640.
- Zheng Xiao-lin, Tian Shi-ping, Li Bo-qiang, Xu Yong. 2005. Changes in antioxidant systems and polyphenol oxidase activity in peach fruit treated with exogenous oxalic acid during storage at low temperature. Acta Horticulturae Sinica, 32 (5): 788 - 792. (in Chinese)
- 郑小林, 田世平, 李博强, 徐 勇. 2005. 草酸对冷藏期间桃果实抗氧化系统和 PPO 活性的影响. 园艺学报, 32 (5): 788 - 792.