

茉莉酸甲酯预处理对鲜切火龙果品质和抗氧化活性的影响

李晓安, 韩 聪, 高 梵, 龙清红, 金 鹏, 郑永华*

(南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: **目的** 研究茉莉酸甲酯(MeJA)预处理对鲜切火龙果在 10 °C, 4 d 贮藏期间品质和抗氧化活性的影响。**方法** 完整火龙果先用浓度分别为 0、1、10 和 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 熏蒸, 再进行鲜切处理, 测定其贮藏期间的品质和理化指标。**结果** 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 熏蒸处理能最显著地诱导鲜切火龙果贮藏期间总酚、总黄酮等次级代谢产物的积累, 提高鲜切火龙果贮藏期间 DPPH 自由基清除能力。MeJA 预处理能有效地促进鲜切火龙果贮藏期间超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽还原酶(GR)等抗氧化酶活性的提高。同时, MeJA 预处理抑制了可滴定酸(TA)含量的下降, 对可溶性固形物(TSS)、维生素 C 含量无不良影响。**结论** 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 预处理能较好地保持鲜切火龙果的品质, 并有效地提高其抗氧化能力, 最终提高鲜切火龙果的营养品质。

关键词: 鲜切火龙果; 茉莉酸甲酯; 食品品质; 抗氧化活性

Effect of methyl jasmonate pre-treatment on quality and antioxidant activity of fresh-cut pitaya fruit

LI Xiao-An, HAN Cong, GAO Fan, LONG Qing-Hong, JIN Peng, ZHENG Yong-Hua*

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of methyl jasmonate (MeJA) pre-treatment on food quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) during storage at 10 °C for up to 4 days. **Methods** Whole pitaya was pre-treated with 0, 1, 10, and 100 $\mu\text{mol/L}$ of MeJA, then was cut into pie-cuts, and its quality and physicochemical indexes during storage were measured. **Results** MeJA 100 $\mu\text{mol/L}$ pre-treatment had the most significant inducement effect on the accumulation of the secondary metabolites such as total phenolics and total flavonoids, and significantly enhanced 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity of fresh-cut pitaya during storage. MeJA pre-treatment could significantly promote the increase of antioxidant enzymes activities such as SOD, CAT and GR. Meanwhile, this pre-treatment inhibited the decrease of titratable acid, and had no bad effect on the total soluble solid and vitamin C. **Conclusion** The MeJA 100 $\mu\text{mol/L}$ pre-treatment has a promising application prospect in food quality maintenance of fresh-cut pitaya and markedly promotes the antioxidant activity, and finally improves the nutritional quality of fresh-cut pitaya.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471632)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31471632)

*通讯作者: 郑永华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬保鲜加工与品质控制。E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

*Corresponding author: ZHENG Yong-Hua, Professor, Ph.D., Candidate Supervisor, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China. E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

KEY WORDS: fresh-cut pitaya fruit; methyl jasmonate; food quality; antioxidant activity

1 引 言

火龙果, 又名青龙果、红龙果, 是仙人掌科的三角柱属植物量天尺的果实。火龙果是一种营养丰富的热带、亚热带水果, 它含有一般植物少有的植物性白蛋白, 丰富的维生素和矿物质、水溶性膳食纤维, 还含有具有抗氧化、抗炎、清除自由基、降低心血管疾病等生物活性的酚类、黄酮、甜菜花青素等物质, 具有极高的营养价值^[1,2]。近年来, 随着鲜切果蔬的市场化, 鲜切火龙果因其方便、快捷、卫生、营养等优势深受消费者喜爱, 鲜切火龙果的保鲜技术应运而生。目前, 国内外通过涂膜、气调、辐照等处理直接作用于鲜切火龙果, 达到了一定的保鲜效果。但利用外源诱导因子, 提高鲜切产品的营养品质的研究鲜有报道。

茉莉酸甲酯(MeJA)是一种天然存在于多种植物中的内源调节物质, 在调节植物胁迫反应和生长发育过程方面发挥着重要作用^[3]。近年来的研究表明, MeJA 处理能够促进桃子^[4]、枇杷^[5,6]、杨梅^[7,8]等抗氧化活性的提高, 有效保持了这些果蔬产品的品质, 增强其抵抗冷害、病害等胁迫的能力。鲜切产品加工过程即为机械损伤胁迫的过程, 研究表明, MeJA 可能作为植物伤反应中的重要信号分子诱导并激活苯丙烷代谢途径的运行, 合成多酚类化合物用以修复伤口。而 MeJA 预处理对于火龙果损伤胁迫反应的调节作用尚未见报道。本实验以“晶红龙”火龙果为实验材料, 研究不同浓度的 MeJA 预处理对鲜切火龙果在 10℃贮藏期间果实品质、抗氧化活性的影响, 以期通过采后胁迫处理提高鲜切火龙果中酚类物质含量和抗氧化活性提供依据。

2 材料与方 法

2.1 材 料

供试火龙果品种为“晶红龙”, 购自江苏省南京市农副产物物流中心。选择大小一致, 成熟度基本相同, 形状端正, 无病虫害、无机械损伤的果实。

2.2 试剂与仪器

碳酸钠、酚酞、氢氧化钠、磷酸、邻菲罗啉, 国药集团化学试剂有限公司; 抗坏血酸、过氧化氢、三

氯化铝、三氯乙酸、无水乙醇、福林酚试剂, 南京寿德试剂器材有限公司; DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), 美国 Sigma 公司; GL-20G-H 型冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; UV-6000 型紫外可见分光光度计, 上海美普达仪器有限公司; FA1104N 电子天平, 上海精密科学仪器有限公司; 手持阿贝折光仪, 日本爱拓(ATAGO)公司。

2.3 材料处理

将完整火龙果随机分为四组, 分别用浓度为 0、1、10、100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 在 20℃下密闭熏蒸 24 h。熏蒸完毕, 取出通风 1 h。用浓度为 200 $\mu\text{L/L}$ 的次氯酸钠溶液清洗消毒 3 min, 晾干表面水分, 然后进行鲜切处理, 切成 1/4 片状(1 cm 厚)。鲜切火龙果随机用保鲜盒(20 cm×12 cm×8 cm)进行分装, 在(10±1)℃贮藏 4 d, 每天取样并测定其总酚、总黄酮含量、抗氧化能力等指标。结果发现, 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 预处理最为显著地诱导了鲜切火龙果总酚含量的积累和抗氧化能力的提高, 因此在后续试验中, 研究 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 预处理对鲜切火龙果贮藏期间抗氧化相关酶活性和感官品质的影响。处理组果实用 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 预处理, 相同密闭条件下的果实为对照, 每个处理 60 个果实, 重复 3 次。预处理结束后果实进行鲜切处理, 随机分装于保鲜盒内, 在(10±1)℃, 90%~95%相对湿度的恒温箱中贮藏 4 d, 每天取样进行分析测定。

2.4 测定方法

2.4.1 总酚、总黄酮含量的测定

总酚含量的测定参照 Surjadinata 等^[9]的方法进行测定, 总黄酮含量参照 Wang 等^[8]的方法测定, 结果均以 mg/100 g FW 表示。

2.4.2 抗氧化能力的测定

鲜切火龙果的抗氧化能力通过 DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)自由基清除率来测定, 参照 Brand-williams 等^[10]的方法略加修改, 结果以清除百分率来表示。

2.4.3 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和谷胱甘肽还原酶(GR)活性的测定

SOD 活性的测定参照 Rao 等^[11]的 NBT 光还原法,

以抑制 NBT 光化还原 50% 为一个酶活力单位; CAT 活性参照 Cakmak 等^[12]的方法测定, 以反应体系每分钟在 240 nm 处吸光值变化 0.01 定义为一个酶活力单位; APX 活性的测定参照 Chen 等^[13]的方法, 以酶促反应体系在 290 nm 处吸光度值降低 0.01 为一个酶活性单位; GR 活性参照 Klapheck 等^[14]的方法测定, 以反应体系吸光度值减小 0.01 为一个酶活性单位。结果均以 $\text{U mg}^{-1}\text{protein}$ 表示。

2.4.4 可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量的测定

TSS 用手持阿贝折光仪测定; TA 含量用酸碱滴定法测定, 用标准 NaOH 滴定 20 mL 果汁至 pH 8.2(pH 计测定)所消耗的体积计算 TA 含量, 结果以苹果酸百分数表示; 维生素 C 用分光光度计法测定, 结果以 $\text{mg}/100\text{ g FW}$ 表示。

2.5 数据处理与分析

采用 Origin8.5 进行数据处理, SAS 统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 用邓肯多重比较方法进行差异显著性分析。

3 结果与分析

3.1 不同浓度 MeJA 预处理对总酚和总黄酮含量的影响

图 1A 显示, 鲜切火龙果贮藏期间总酚含量呈先上升后缓慢下降的趋势, 贮藏第 2 天, 总酚含量达到峰值, 而 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 显著提高了总酚含量;

总黄酮含量在贮藏期间呈缓慢上升的趋势, 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 有效诱导了鲜切火龙果总黄酮含量的增加(图 1B)。整个贮藏期间, 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理组的总酚和总黄酮含量均显著($P<0.05$)高于对照组, 但 1、10 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理组与对照组则无显著($P>0.05$)差异。

3.2 不同浓度 MeJA 预处理对抗氧化能力的影响

本实验选取 DPPH 自由基清除率来衡量鲜切火龙果的抗氧化能力。由图 2 可知, MeJA 处理组的 DPPH 自由基清除率均显著($P<0.05$)高于对照组, 其中以 100 $\mu\text{mol/L}$ 浓度的效果最为显著。表明 MeJA 预处理能够提高鲜切火龙果的抗氧化能力。综合抗氧化物质和抗氧化能力两方面因素, 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 能够最有效地增强鲜切火龙果的营养品质, 因此, 在以下的实验中我们进一步研究 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 预处理对鲜切火龙果抗氧化酶类和品质的影响。

3.3 MeJA 预处理对抗氧化相关酶活性的影响

如图 3 所示, 在 10 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏期间, 对照组鲜切火龙果的 SOD、CAT、GR 活性均呈现先上升后下降的趋势, 而 MeJA 预处理组的这些抗氧化酶活性均显著($P<0.05$)高于对照组(图 3A, 3B 和 3D)。APX 活性在贮藏期间总体呈现下降趋势, 对照组鲜切火龙果在 d 2 出现一定增长, 但 MeJA 预处理对该酶活性无诱导作用(图 3C)。

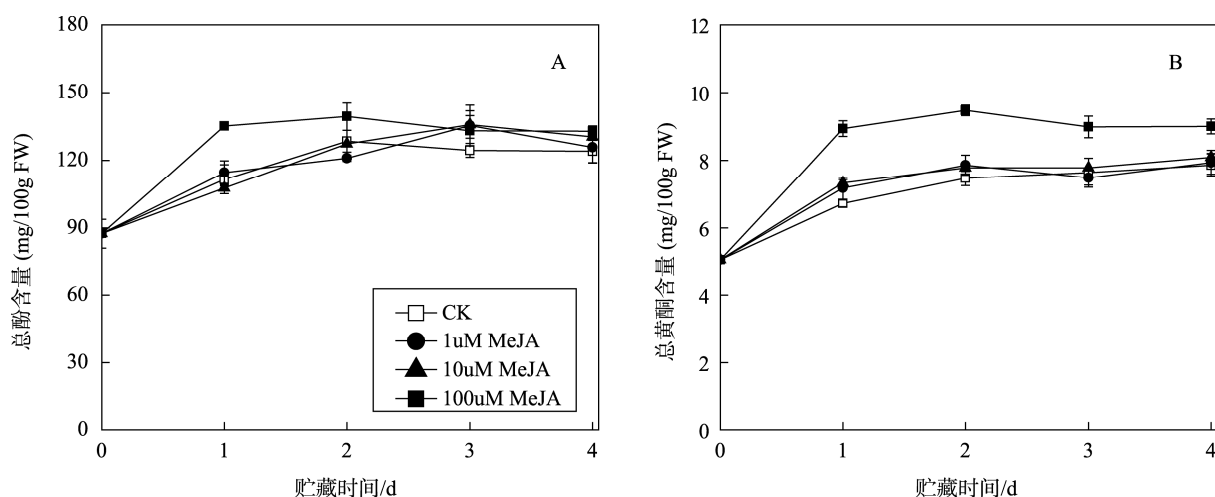


图 1 不同浓度 MeJA 预处理对鲜切火龙果贮藏期间总酚(A)和总黄酮(B)含量的影响

Fig. 1 Effect of MeJA pre-treatment at different concentration on total phenolics (A), total flavonoid (B) contents of fresh-cut pitaya fruit during storage

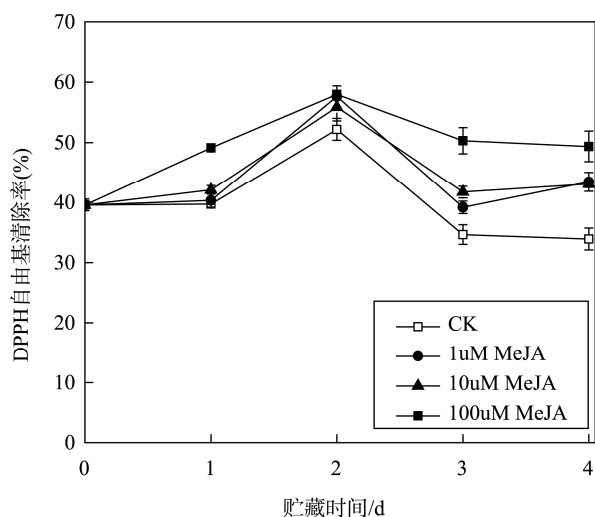


图2 不同浓度 MeJA 预处理对鲜切火龙果贮藏期间 DPPH 自由基清除率的影响

Fig. 2 Effect of MeJA pre-treatment at different concentration on DPPH radical scavenging activity of fresh-cut pitaya fruit during storage

3.4 MeJA 预处理对 TSS、TA 和维生素 C 含量的影响

鲜切火龙果在贮藏过程中可溶性固形物(TSS)和可滴定酸(TA)作为呼吸作用的底物逐渐被消耗, 其含量呈现下降趋势; 随着贮藏时间的延长, 鲜切火龙果中 VC 含量也缓慢下降(图 4)。由图 4B 可以看出, MeJA 预处理显著($P<0.05$)抑制了鲜切火龙果可滴定酸含量的下降; 而处理与对照组之间, 可溶性固形物和维生素 C 没有显著差异($P>0.05$)。

4 讨论

本研究发现 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 预处理可以显著提高鲜切火龙果贮藏期间的抗氧化物质含量和抗氧化能力, 且对其品质无不良影响, 说明较高浓度(100 $\mu\text{mol/L}$)的 MeJA 可以有效提高鲜切产品的营养和商品性。而低浓度(1、10 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 预处理对酚类

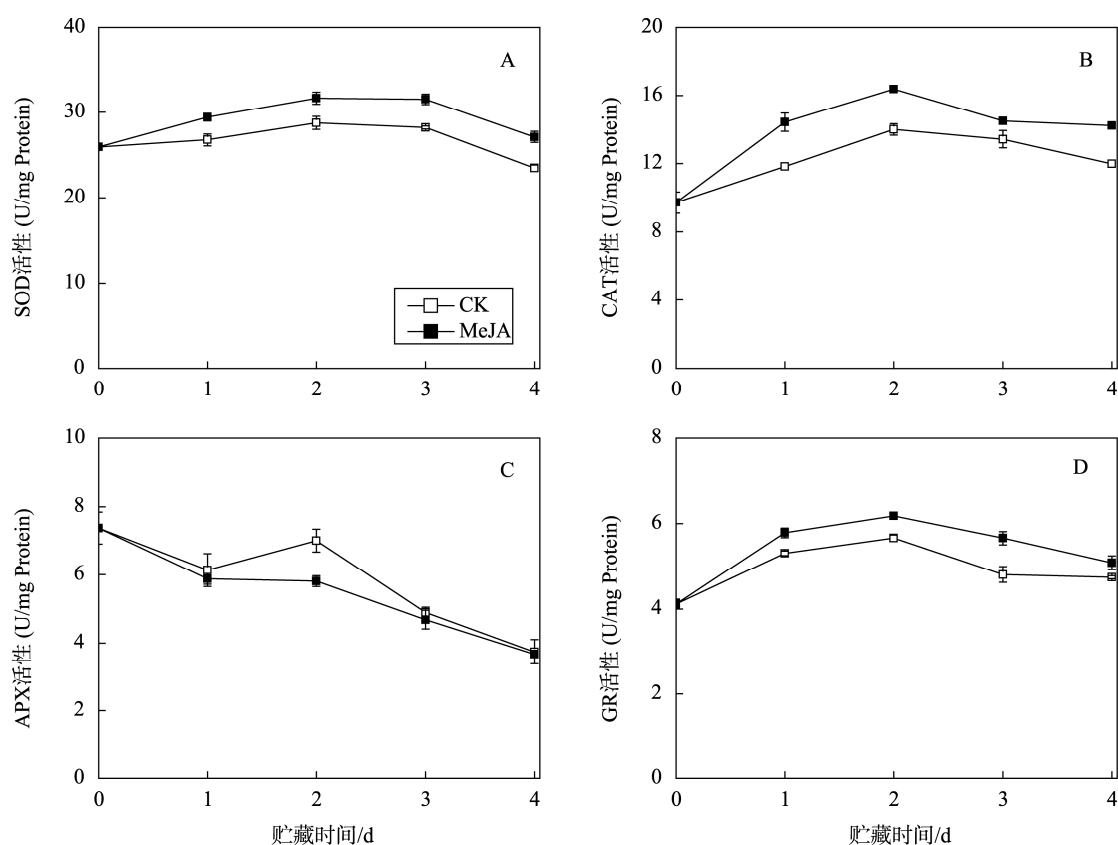


图3 MeJA 预处理对鲜切火龙果贮藏期间 SOD(A)、CAT(B)、APX(C)和 GR(D)活性的影响

Fig. 3 Effect of MeJA pre-treatment on SOD(A), CAT(B), APX(C), and GR(D) activities of fresh-cut pitaya fruit during storage

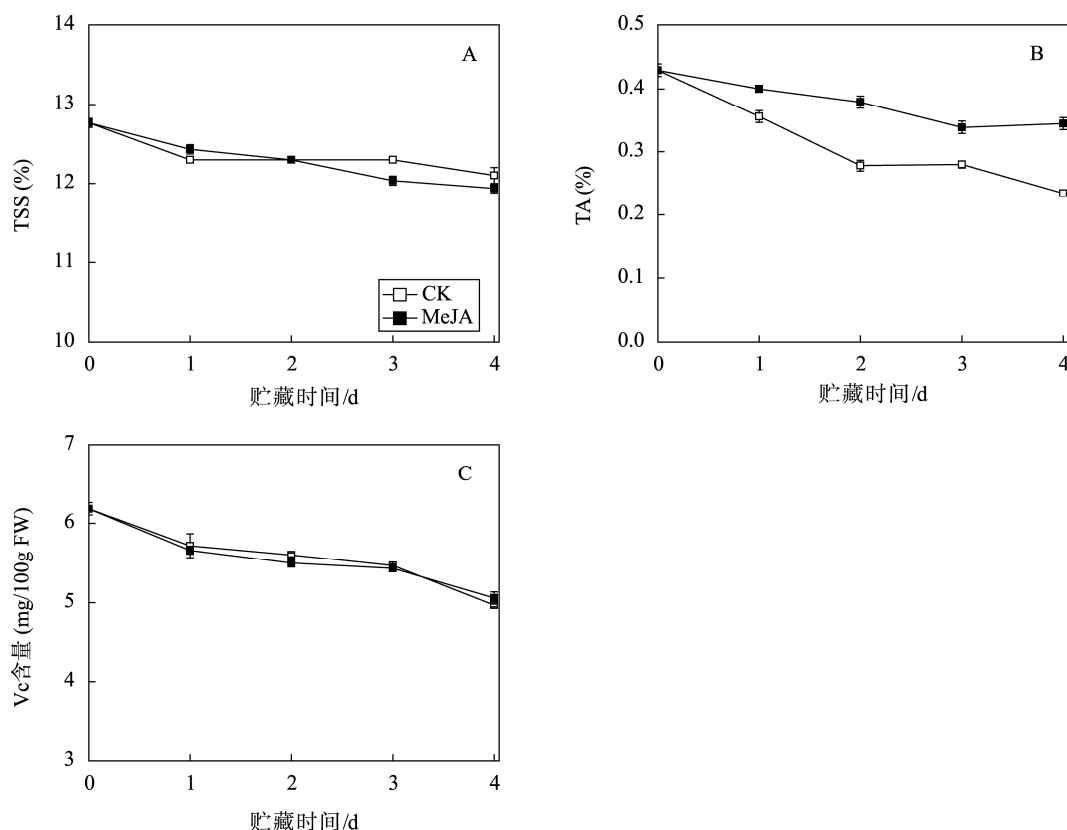


图4 MeJA 预处理对鲜切火龙果贮藏期间 TSS(A)、TA(B)和维生素 C(C)含量的影响

Fig. 4 Effect of MeJA pre-treatment on TSS(A),TA(B) and vitamin C (C) content of fresh-cut pitaya fruit during storage

物质的诱导作用则不明显,可能的原因是,浓度太低,完整果实有效利用的 MeJA 较少,对火龙果鲜切后的代谢影响较小。

酚类、黄酮类物质作为果蔬中重要的次生代谢产物,具有强烈的清除活性氧自由基和抑制过氧化反应的能力,是果蔬中重要的抗氧化物质^[15]。完整果实受到切割等机械损伤胁迫时,酚类物质含量会积累。Heredia^[16]通过对胡萝卜的研究首次提出了机械损伤提高了鲜切胡萝卜的抗氧化能力,之后人们对生菜^[17]、紫心马铃薯^[18]及其他一些产品^[19]的研究中,证实了这一观点。这些研究表明,机械损伤诱导的鲜切果蔬中酚类物质的合成具有普遍性。在我们的研究中,通过 MeJA 这种天然、安全的诱导处理,在保证鲜切果蔬品质的同时,进一步提高果蔬的活性成分含量和营养保健功效。

MeJA 是茉莉酸(JA)的衍生物,挥发性较强,不易被离子化,可以有效地透过植物细胞膜,作为信号分子,从而调节多种次生代谢产物的合成^[20,21]。研究

表明, MeJA 可能作为植物损伤反应中的重要信号分子诱导并激活苯丙烷代谢途径的运行,合成多酚类化合物用以修复伤口,诱导调节鲜切果蔬的抗氧化系统^[22]。外源 MeJA 处理被证实可有效提高鲜切苹果^[23]、甘蓝^[24]、紫薯^[25]等鲜切产品的酚类物质含量和抗氧化活性。在本研究中,100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 预处理能够显著诱导火龙果鲜切加工后总酚等抗氧化物质的积累和 SOD、CAT、GR 等抗氧化酶活性的提高,表明采用 MeJA 等非生物胁迫因子处理对提高鲜切果蔬中由外伤诱导的多酚类物质的合成和积累具有协同作用,这为通过采后处理进一步提高鲜切果蔬中的酚类物质含量和抗氧化活性提供了依据。但 MeJA 在火龙果果实中是如何发挥信号分子作用,并协同机械损伤胁迫调控酚类物质合成的详细机制还有待后续研究。

5 结 论

(1) 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 预处理可以显著诱导鲜切

火龙果在 10℃贮藏期间总酚等抗氧化物质含量的积累, 从而提高了鲜切火龙果的活性成分和营养保健功效, 提高了鲜切火龙果的商品性。

(2) 100 μmol/L MeJA 预处理可以提高 SOD、CAT、GR 等抗氧化相关酶的活性, 进一步增强鲜切果实的抗氧化能力, 且对鲜切火龙果的品质无不良影响。

参考文献

- [1] 李升锋, 刘学铭, 舒娜, 等. 火龙果的开发与利用[J]. 食品工业科技, 2003, 24(7): 88–89.
Li SF, Liu XM, Su N, *et al.* The exploitation and utilization of pitaya [J]. Sci Technol Food Ind, 2003, 24(7): 88–89.
- [2] Dembitsky VM, Poovarodom S, Leontowicz H, *et al.* The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites [J]. Food Res Int, 2011, 44(7): 1671–1701.
- [3] Creelman RA, Mullet JE. Biosynthesis and action of jasmonates in plants [J]. Annu Rev Plant Biol, 1997, 48(1): 355–381.
- [4] Jin P, Zheng YH, Cheng CM, *et al.* Effect of methyl jasmonate treatment on fruit decay and quality in peaches during storage at ambient temperature [C]. IV International Conference on Managing Quality in Chains-The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality. 2006.
- [5] Cao SF, Zheng YH, Wang KT, *et al.* Methyl jasmonate reduces chilling injury and enhances antioxidant enzyme activity in postharvest loquat fruit [J]. Food Chem, 2009, 115(4): 1458–1463.
- [6] Cao SF, Zheng YH, Yang ZF, *et al.* Effect of methyl jasmonate on quality and antioxidant activity of postharvest loquat fruit [J]. J Sci Food and Agric, 2009, 89(12): 2064–2070.
- [7] Wang KT, Jin P, Han L, *et al.* Methyl jasmonate induces resistance against *Penicillium citrinum* in Chinese bayberry by priming of defense responses [J]. Postharvest Biol Technol, 2014, 98: 90–97.
- [8] Wang KT, Jin P, Cao SF, *et al.* Methyl jasmonate reduces decay and enhances antioxidant capacity in Chinese bayberries [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(13): 5809–5815.
- [9] Surjadinata BB, Cisneros-Zevallos L. Biosynthesis of phenolic antioxidants in carrot tissue increases with wounding intensity [J]. Food Chem, 2012, 134(2): 615–624.
- [10] Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. LWT-Food Sci Technol, 1995, 28(1): 25–30.
- [11] Rao MV, Paliyath G, Ormrod DP. Ultraviolet-B-and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Physiol, 1996, 110(1): 125–136.
- [12] Cakmak I, Strbac D, Marschner H. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds [J]. J Exp Bot, 1993, 44(1): 127–132.
- [13] Chen GX, Asada K. Ascorbate peroxidase in tea leaves: occurrence of two isozymes and the differences in their enzymatic and molecular properties [J]. Plant Cell Physiol, 1989, 30(7): 987–998.
- [14] Klapheck S, Zimmer I, Cosse H. Scavenging of hydrogen peroxide in the endosperm of *Ricinus communis* by ascorbate peroxidase [J]. Plant Cell Physiol, 1990, 31(7): 1005–1013.
- [15] Simirgiotis MJ, Schmeda-Hirschmann G. Determination of phenolic composition and antioxidant activity in fruits, rhizomes and leaves of the white strawberry (*Fragaria chiloensis* spp. *chiloensis* form *chiloensis*) using HPLC-DAD-ESI-MS and free radical quenching techniques [J]. J Food Compos Anal, 2010, 23(6): 545–553.
- [16] Heredia JB, Cisneros-Zevallos LA. Wounding stress on carrots increases the antioxidant capacity and the phenolics content [C]. Annual Meeting and Food Expo-Anaheim, California, 2002.
- [17] Kang HM, Saltveit ME. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(26): 7536–7541.
- [18] Reyes LF, Cisneros-Zevallos L. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.) [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(18): 5296–5300.
- [19] Reyes LF, Villarreal JE, Cisneros-Zevallos L. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue [J]. Food Chem, 2007, 101(3): 1254–1262.
- [20] Seo HS, Song JT, Cheong JJ, *et al.* Jasmonic acid carboxyl methyltransferase: a key enzyme for jasmonate-regulated plant responses [J]. P Natl Acad Sci, 2001, 98(8): 4788–4793.
- [21] Huang X, Stettmaier K, Michel C, *et al.* Nitric oxide is induced by wounding and influences jasmonic acid signaling in *Arabidopsis thaliana* [J]. Planta, 2004, 218(6): 938–946.
- [22] 汪开拓, 郑永华, 唐双双, 等. 茉莉酸甲酯对草莓果实采后腐烂, 苯丙烷类代谢及抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 40–46.
Wang KT, Zheng YH, Tang SS, *et al.* Effects of methyl jasmonate (MeJA) on postharvest decay, phenylpropanoid metabolism and antioxidant activity in strawberry fruit [J]. Food

- Sci Technol, 2011, 36(8): 40–46.
- [23] 金龙娇, 王艳颖, 马超, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切苹果生理生化变化的影响[J]. 食品科技, 2012 (10): 30–34.
- Jin LJ, Wang YY, Ma C, *et al.* Effects of methyl jasmonate treatment on physiology and biochemistry in fresh-cut Fuji apple [J]. Food Sci Technol, 2012, (10): 30–34.
- [24] 马杰, 胡文忠, 毕阳, 等. 外源乙烯和茉莉酸甲酯对鲜切甘蓝活性氧代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 336–339.
- Ma J, Hu WZ, Bi Y, *et al.* Effect of exogenous ethylene and methyl jasmonate (MeJA) on reactive oxygen metabolism in tissue of fresh-cut cabbage [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(20): 336–339.
- [25] 于烨, 姜爱丽, 胡文忠, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切紫薯生理生化及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15): 331–334.
- Yu Y, Jiang AL, Hu WZ, *et al.* Effect of methyl jasmonate (MeJA)

on physiological and biochemical changes of fresh-cut purple sweet potatoes [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(15): 331–334.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



李晓安, 硕士研究生, 主要研究方向为果蔬保鲜加工与品质控制。
E-mail: 2013108071@njau.edu.cn



郑永华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬保鲜加工与品质控制。
E-mail: zhengyh@njau.edu.cn