

# 茉莉酸甲酯处理对鲜切菠萝品质及抗氧化活性的影响

季悦<sup>1</sup>, 李静<sup>1</sup>, 王雷<sup>2</sup>, 金鹏<sup>1</sup>, 郑永华<sup>1,\*</sup>

(1.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095; 2.聊城大学农学院, 山东 聊城 252000)

**摘要:** 研究茉莉酸甲酯处理对鲜切菠萝贮藏期间品质和抗氧化活性的影响。先将完整的菠萝果实在20℃条件下分别用浓度为0、1、10、100 μmol/L的茉莉酸甲酯熏蒸12 h, 然后进行鲜切加工并于15℃条件下贮藏48 h。结果表明, 茉莉酸甲酯处理可促进鲜切菠萝总酚含量和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力上升, 抑制可溶性固形物及可滴定酸含量下降, 而对色泽及菌落总数无显著影响( $P>0.05$ )。其中, 10 μmol/L茉莉酸甲酯处理效果最好, 能显著地诱导鲜切菠萝贮藏期间苯丙氨酸解氨酶和肉桂酸-4-羟化酶活力的上升( $P<0.05$ ), 延缓4-香豆酸辅酶A连接酶活力的下降( $P<0.05$ ), 从而促进总酚和总黄酮的积累, 提高DPPH自由基清除能力。这些结果表明, 茉莉酸甲酯处理可保持鲜切菠萝的品质并提高其抗氧化活性。

**关键词:** 茉莉酸甲酯; 鲜切菠萝; 苯丙氨酸解氨酶; 肉桂酸-4-羟化酶; 4-香豆酸辅酶A连接酶; 抗氧化活性

## Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Quality and Antioxidant Activity of Fresh-Cut Pineapples

Ji Yue<sup>1</sup>, Li Jing<sup>1</sup>, Wang Lei<sup>2</sup>, Jin Peng<sup>1</sup>, Zheng Yonghua<sup>1,\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Agronomy, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

**Abstract:** The effects of methyl jasmonate (MeJA) on the quality and antioxidant activity of fresh-cut pineapples during storage were investigated. Intact pineapples were fumigated with 0, 1, 10 or 100 μmol/L MeJA at 20℃ for 12 h, then cut into pieces and stored at 15℃ for 48 h. The results indicated that MeJA treatment promoted the increases of total phenol content and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging activity, inhibited the decrease of total soluble solid and titratable acid content, but had no significant effect on color or total plate count ( $P>0.05$ ). Moreover, treatment with 10 μmol/L MeJA was the most effective in improving the activities of phenylalanine ammonia-lyase and cinnamate-4-hydroxylase, delaying the decrease of 4-coumarate-CoA ligase, thereby promoting the accumulation of total phenols and total flavonoids and enhancing the DPPH radical scavenging activity of fresh-cut pineapples during storage. These results suggest that MeJA treatment can maintain the quality and improve the antioxidant activity of fresh-cut pineapples.

**Keywords:** methyl jasmonate; fresh-cut pineapples; phenylalanine ammonia-lyase; cinnamate-4-hydroxylase; 4-coumarate-CoA ligase; antioxidant activity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201801039

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2018)01-0258-06

引文格式:

季悦, 李静, 王雷, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切菠萝品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 258-263.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201801039. <http://www.spkx.net.cn>

Ji Yue, Li Jing, Wang Lei, et al. Effect of methyl jasmonate treatment on quality and antioxidant activity of fresh-cut pineapples[J]. Food Science, 2018, 39(1): 258-263. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201801039. <http://www.spkx.net.cn>

菠萝 (*Ananas comosus*) 为凤梨科凤梨属多年生草本植物, 与香蕉、柑橘合称世界上3大类重要的热带水果,

富含VC和有机酸等营养成分<sup>[1]</sup>, 同时还富含多酚类及黄酮类等抗氧化活性物质<sup>[2]</sup>, 且风味独特。新鲜完整的菠萝

收稿日期: 2017-02-19

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0400901); 国家自然科学基金面上项目(31471632)

第一作者简介: 季悦(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: 2014108078@njau.edu.cn

\*通信作者简介: 郑永华(1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

果在香味、口感以及营养品质方面相较于菠萝罐头制品有其独特的优势,但完整菠萝个体大、难去皮,不便于消费者食用。因此,解决菠萝食用不便、难以贮藏等问题具有重要的意义<sup>[3]</sup>。鲜切果蔬又名轻度加工果蔬,可使果蔬成为快捷方便型食品<sup>[4]</sup>,供消费者立即食用或餐饮业使用,是一种新式加工产品。因此,鲜切加工工艺的应用,既让菠萝方便食用,又能够最大程度上保持菠萝的原有风味和口感,同时提高了菠萝的经济价值,因而具有广阔的市场前景。但菠萝的鲜切处理使其组织结构受到破坏、汁液外漏,导致出现组织褐变和微生物侵染等问题,影响其风味、营养品质及货架寿命<sup>[5]</sup>。近年来的研究表明,完整果实经切割处理后,机体对此类损伤胁迫会产生愈伤反应,提高鲜切果蔬总酚等抗氧化物质的含量,这在鲜切胡萝卜<sup>[6]</sup>、紫心萝卜<sup>[7]</sup>和火龙果<sup>[8]</sup>等果蔬的研究中得到了证实。目前,国内外采用涂膜<sup>[9-10]</sup>、辐照<sup>[11]</sup>及气调<sup>[12]</sup>等处理鲜切菠萝,取得了较好的保鲜效果,但这些保鲜处理对鲜切菠萝多酚含量和抗氧化活性的影响鲜有研究。

茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)天然存在于多种植物中,作为一种内源植物生长调节物质和信号分子,在植物胁迫反应和生长发育过程方面发挥着调节作用<sup>[13]</sup>。研究表明,应用外源MeJA能激发植物抗性基因的表达,诱导植物发生化学性防御,增强其抵抗机体损伤和冷害等逆境胁迫的能力<sup>[14]</sup>。梨<sup>[15]</sup>和苹果<sup>[16]</sup>鲜切后采用MeJA处理可抑制组织褐变、保持产品的品质并提高其抗氧化活性。新鲜果蔬的鲜切加工可视为产生机械损伤胁迫的过程,MeJA可作为植物损伤反应中的重要信号分子,激活苯丙烷代谢途径,合成多酚类化合物<sup>[17]</sup>。但有关鲜切加工前,MeJA处理对鲜切果蔬酚类物质含量变化影响的研究很少。

本实验以菠萝为材料,研究了鲜切前MeJA处理对鲜切菠萝在15℃、48 h贮藏期间主要品质指标和酚类物质含量的影响,以期通过采后胁迫处理提高鲜切菠萝中酚类物质含量和抗氧化活性,为鲜切菠萝的保鲜加工及科学食用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

供试菠萝品种为‘巴厘’种(*Ananas comosus* cv. Yellow Mauritius),购于南京江宁区众彩农产品物流市场。采购后立即运回南京农业大学食品科学技术学院农产品贮藏与加工实验室,挑选个体大小均匀、无病害和机械伤、九成成熟的菠萝用于实验。

碳酸钠、核黄素、盐酸羟胺、乙二胺四乙酸、β-巯基乙醇、三氯化铝 国药集团化学试剂有限公司;

无水乙醇、磷酸氢钠、甲醇、磷酸氢二钠、过氧化氢 南京寿德实验器材有限公司;茉莉酸甲酯、福林-酚试剂、VC、氯化硝基四氮唑蓝(nitroterrazolium blue chloride, NBT)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 美国Sigma公司。

### 1.2 仪器与设备

GL-20G-H型冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂;  
UV-1600型分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;  
FA1104N电子天平 上海精密科学仪器有限公司;电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品预处理

将挑选好的新鲜菠萝果实随机分成4组,3个处理组果实分别用1、10、100 μmol/L的MeJA在20℃环境下密闭熏蒸12 h,以相同密闭条件下不熏蒸处理的果实为对照组(CK组)。熏蒸后通风1 h,采用200 μL/L的次氯酸钠溶液浸泡消毒2 min后晾干表面水分。完整菠萝果实去皮(未去芯)后,切分成厚度为1 cm的1/8圆片状。切分后的菠萝用塑料盒(20 cm×12 cm×8 cm)进行分装,每盒约100 g,每个处理组分装20盒,在(15±1)℃、相对湿度90%~95%条件下贮藏48 h,每隔12 h取样,测定总酚含量及主要品质指标的变化。

#### 1.3.2 指标测定

##### 1.3.2.1 总酚含量测定

总酚含量的测定参照Surjadinata等<sup>[6]</sup>的方法,单位为mg/100 g,以鲜质量计。

##### 1.3.2.2 DPPH自由基清除能力测定

DPPH自由基清除能力的测定参照Soengas等<sup>[18]</sup>的方法,结果以清除百分率来表示。

##### 1.3.2.3 菌落总数测定

菌落总数的测定参照GB 4789.2—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[19]</sup>进行测定。

##### 1.3.2.4 颜色的测定

将样品从贮藏环境中取出后,在20℃条件下用CR400型色差计进行测定。*L*\*值表示亮度,取值范围0~100, *L*\*值越大,亮度越大。

##### 1.3.2.5 总可溶性固形物含量测定

用手持阿贝折光仪测定果实总可溶性固形物(total soluble solid, TSS)的含量。

##### 1.3.2.6 可滴定酸质量分数测定

用碱滴定法<sup>[20]</sup>测定可滴定酸(titratable acid, TA)的含量,结果以柠檬酸质量分数表示。

##### 1.3.2.7 总黄酮含量测定

总黄酮含量的测定采用AlCl<sub>3</sub>比色法<sup>[21]</sup>,单位为mg/100 g,以鲜质量计。

### 1.3.2.8 苯丙烷类代谢关键酶活力测定

苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanine ammonialyase, PAL) 活力的测定参照Koukol等<sup>[22]</sup>的方法, 以反应液每小时在290 nm波长处吸光度变化0.001为一个酶活力单位; 肉桂酸-4-羟化酶 (cinnamate-4-hydroxylase, C4H) 活力的测定参照Lamb等<sup>[23]</sup>的方法, 以反应液每分钟在340 nm波长处吸光度变化0.01为一个酶活力单位; 4-香豆酸辅酶A连接酶 (4-coumarate-CoA ligase, 4-CL) 活力的测定参照何慕涵等<sup>[24]</sup>的方法, 以反应液每分钟在333 nm波长处吸光度变化0.01为一个酶活力单位。蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝法, 上述结果均以U/mg pro表示。

### 1.4 数据统计分析

以上指标均取3个平行样, 重复测定3次。采用Microsoft Excel 2013和SAS 8.1软件进行数据处理分析, 用邓肯氏多重比较方法进行差异显著性检验,  $P < 0.05$ 为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度MeJA处理对鲜切菠萝总酚含量和DPPH自由基清除能力的影响

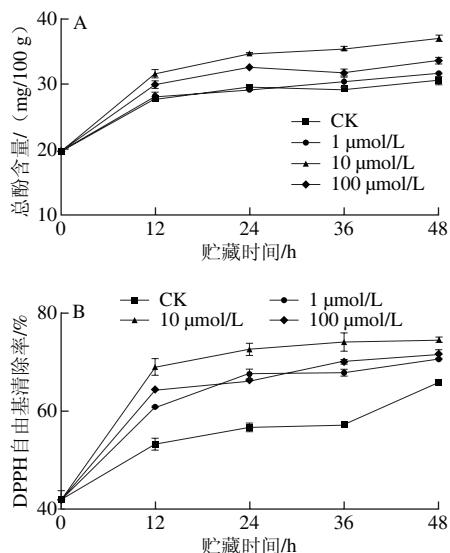


图1 不同浓度MeJA处理对鲜切菠萝贮藏期间总酚含量 (A) 和 DPPH自由基清除能力 (B) 的影响

Fig. 1 Effect of MeJA treatment on total phenol content (A) and DPPH radical scavenging rate (B) of fresh-cut pineapple during storage

如图1A所示, 菠萝在鲜切后贮藏48 h, 总酚含量呈上升趋势, 且在前12 h内上升幅度最大。与CK组比较, 各浓度MeJA处理组的总酚含量均有所提升, 其中10 μmol/L的MeJA处理的促进效果最好, 显著高于1、100 μmol/L的MeJA ( $P < 0.05$ )。

DPPH自由基清除率是衡量果蔬抗氧化活性的重要指标。如图1B所示, 鲜切菠萝的DPPH自由基清除率变化趋势与总酚含量的变化趋势基本一致, 不同浓度MeJA处理均能提升鲜切菠萝DPPH自由基清除率, 其中10 μmol/L的MeJA处理的提升效果最好, 显著高于1、100 μmol/L的MeJA ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同浓度MeJA处理对鲜切菠萝品质的影响

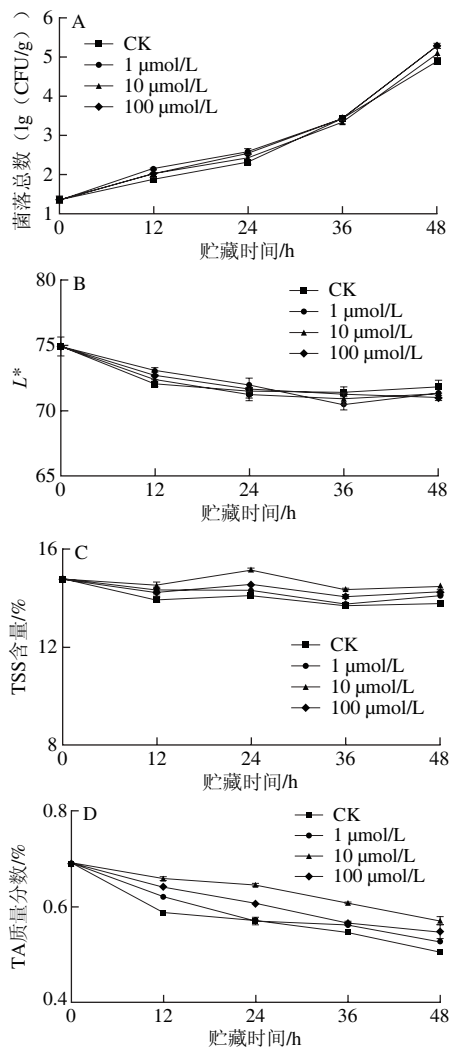


图2 不同浓度MeJA处理对鲜切菠萝贮藏期间菌落总数 (A)、L\*值 (B)、TSS含量 (C) 和TA质量分数 (D) 的影响

Fig. 2 Effect of MeJA treatment on total plate count (A), L\* (B), TSS (C) and TA content (D) of fresh-cut pineapple during storage

菌落总数体现食品遭受微生物污染的程度, 决定了鲜切菠萝的安全性及货架期。从图2A可见, 鲜切菠萝的菌落总数随贮藏时间的延长而增加, 不同浓度MeJA处理对鲜切菠萝的菌落总数没有显著影响 ( $P > 0.05$ ), 贮藏48 h后各组的菌落总数均未超过 $10^6$  CFU/g, 仍然在可食用范围内。

颜色是消费者在购买产品时的主要参考指标。鲜切菠萝颜色测定以L\*值的降低表示褐变的程度。由图2B可

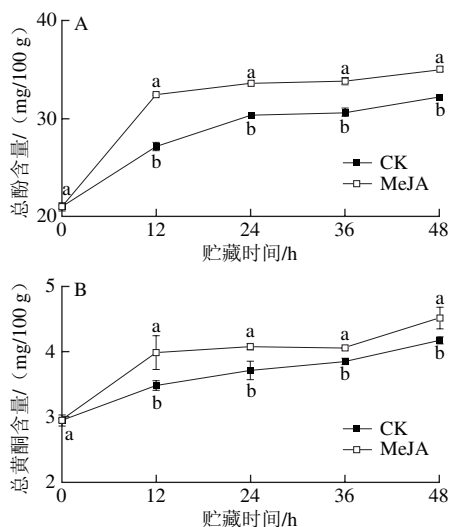
知,随着贮藏时间的延长,鲜切菠萝 $L^*$ 值的下降变化不显著( $P>0.05$ ),褐变情况轻微,各浓度MeJA处理对鲜切菠萝的 $L^*$ 值也没有显著影响( $P>0.05$ )。

TSS含量反映果实的含糖量,它是果实品质的基本指标。鲜切菠萝在贮藏过程中糖作为呼吸底物被消耗,其TSS含量呈现下降趋势。由图2C可知,在48 h贮藏期内,不同浓度MeJA处理组的TSS含量均高于CK组,说明MeJA处理能减少鲜切菠萝糖分的损失。其中10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理能显著抑制TSS含量的下降( $P<0.05$ ),从而较好地维持鲜切菠萝的品质。

TA含量是影响果蔬感官品质的重要指标之一。有机酸是呼吸作用的底物,在贮藏过程中逐渐被消耗,故TA含量逐渐降低。由图2D可知,在48 h贮藏期内,不同浓度MeJA处理组的TA质量分数均高于CK组,说明MeJA处理能抑制TA质量分数的下降。其中10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理能显著抑制TA质量分数的下降( $P<0.05$ ),维持鲜切菠萝的品质。

综上所述,10  $\mu\text{mol/L}$ 的MeJA处理能显著地促进鲜切菠萝总酚含量和DPPH自由基清除能力的上升( $P<0.05$ ),同时保持鲜切菠萝的品质。因此,在后续研究中我们选取10  $\mu\text{mol/L}$ 的处理条件,进一步研究了该浓度MeJA处理对鲜切菠萝贮藏期间总酚含量和苯丙烷类代谢关键酶活力的影响。

### 2.3 10 $\mu\text{mol/L}$ MeJA处理对鲜切菠萝总酚和总黄酮含量的影响



字母不同表示组间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

图3 10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理对鲜切菠萝贮藏期间总酚(A)和总黄酮(B)含量的影响

Fig. 3 Effect of 10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA treatment on total phenol (A) and total flavonoid (B) contents of fresh-cut pineapple during storage

如图3A所示,鲜切菠萝在48 h贮藏期内,10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理组的总酚含量显著高于CK组( $P<0.05$ )。黄酮类物质作为一种多酚类化合物,其含量的变化趋势如

图3B,鲜切菠萝的总黄酮含量在48 h的贮藏期呈逐渐上升的趋势,10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理组的总黄酮含量显著高于CK组( $P<0.05$ ),与总酚含量的变化趋势基本一致。说明10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理能显著提高鲜切菠萝多酚和黄酮类物质的合成与积累( $P<0.05$ )。

### 2.4 10 $\mu\text{mol/L}$ MeJA处理对鲜切菠萝苯丙烷类代谢关键酶活力的影响

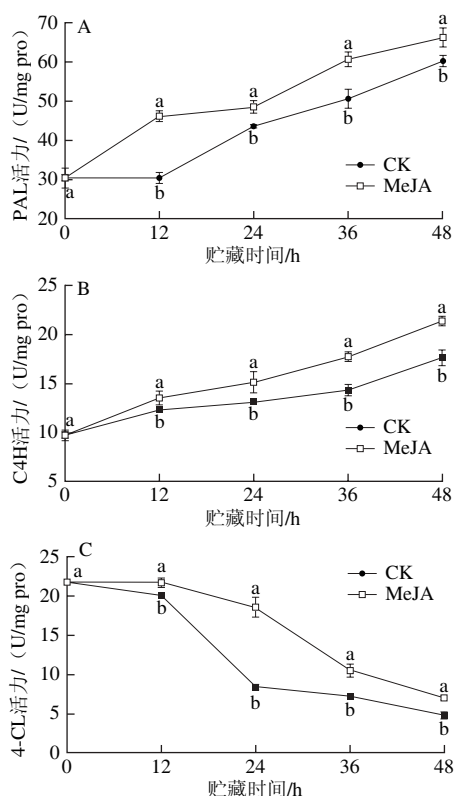


图4 10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理对鲜切菠萝贮藏期间PAL (A)、C4H (B)和4-CL (C)活力的影响

Fig. 4 Effect of 10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA treatment on PAL (A), C4H (B) and 4-CL (C) activities of fresh-cut pineapple during storage

在植物体中,PAL、C4H和4-CL是植物苯丙烷类代谢途径中的关键酶类,其活力的大小与酚类和类黄酮等抗氧化物质的合成有直接关系。PAL催化L-苯丙氨酸脱氨生成肉桂酸和氨,是植物苯丙烷类代谢途径中调控酚类和类黄酮物质合成第一步的限速酶。如图4所示,在48 h贮藏期内,鲜切菠萝的PAL和C4H活力呈逐渐上升的趋势,其活力的上升可能是由于伤害诱导活性氧增多导致酶活力增强,而4-CL活力随着贮藏时间的延长而逐渐降低。10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理显著诱导了鲜切菠萝PAL和C4H活力的上升( $P<0.05$ ),同时延缓了鲜切菠萝4-CL活力的下降( $P<0.05$ ),增强了鲜切菠萝的苯丙烷类代谢的能力,从而促进鲜切菠萝中酚类物质的合成与积累,最终提高了鲜切菠萝贮藏期间的抗氧化活性并提升了鲜切菠萝潜在的营养品质。



### 3 讨论

酚类物质和黄酮类物质是果蔬中重要的次生代谢产物,能够有效地清除活性氧自由基和抑制膜脂过氧化反应,是果蔬中重要的抗氧化物质,在植物抗氧化过程中发挥重要作用<sup>[25]</sup>。完整的果实在受到切割等损伤胁迫时,会导致酚类物质的含量上升。在对胡萝卜<sup>[6]</sup>、生菜<sup>[26]</sup>和紫心马铃薯<sup>[27]</sup>等材料的研究中发现,鲜切加工处理能提高这些鲜切产品的酚类物质含量和抗氧化能力,说明机械损伤能诱导鲜切果蔬中酚类物质的合成积累的这一现象具有普遍性。而在对紫薯<sup>[28]</sup>和火龙果<sup>[8]</sup>等材料的鲜切处理研究中,发现MeJA处理一方面能够保证鲜切产品的营养品质,另一方面能够进一步提高其抗氧化活性成分的含量。在本实验中,不同浓度的MeJA处理能够提高鲜切菠萝的酚类物质含量和抗氧化活性,同时能较好地维持鲜切处理后的菠萝TSS和TA的含量,而不影响鲜切菠萝的营养性、安全性和食用性。在本研究中,10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理对鲜切菠萝总酚、总黄酮等抗氧化物质积累的诱导效果最好,能提升DPPH自由基清除率,即能够有效地提升鲜切菠萝的抗氧化能力。在植物体中,PAL、C4H和4-CL是植物苯丙烷类代谢途径中的关键酶类,其活力的高低直接关系到植物抗氧化物质的合成。马杰等<sup>[29]</sup>的研究表明,机械损伤会诱导鲜切果蔬苯丙烷代谢酶系统的活性,消除活性氧等带来的膜脂破坏。闫媛媛等<sup>[16]</sup>研究发现,MeJA处理能够有效地提高鲜切苹果PAL活力,提高鲜切苹果对机械伤害的适应性。在本实验中,10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理能显著促进鲜切菠萝PAL和C4H活力的上升( $P<0.05$ ),促进酚类物质合成和积累,从而提高鲜切菠萝的抗氧化活性。而鲜切菠萝4-CL的活力一直呈现下降趋势,可能是因为它不是催化鲜切菠萝酚类物质合成的关键酶。

当发生机械损伤时,果蔬在抵御伤害时会启动自身应答机制,包括信号分子的生成、运输、识别和转导,刺激与损伤相关基因的表达,并通过调节自身的新陈代谢和生成新的代谢产物达到修复损伤的目的<sup>[30]</sup>。本实验表明,针对切伤胁迫诱导的鲜切菠萝酚类物质的合成与积累,MeJA处理具有协同作用,这为通过采后处理进一步提高鲜切果蔬抗氧化系统的活性提供了依据。但是,MeJA在鲜切菠萝果实中怎样发挥信号分子作用,与切伤胁迫协同调控酚类物质合成的机理还有待进一步研究。如何控制菠萝的切割处理方式和处理条件,优化鲜切菠萝产品感官品质的同时,调节抗氧化活性物质的合成及抗氧化酶的活性,最终提高鲜切菠萝的营养价值、抗氧化和防衰老等功效,是今后鲜切菠萝加工处理和保鲜的热点研究方向。

综上所述,不同浓度MeJA处理能提高鲜切菠萝的总酚含量和抗氧化活性,同时保持鲜切菠萝的品质,其中10  $\mu\text{mol/L}$  MeJA处理效果显著高于1、100  $\mu\text{mol/L}$ 的MeJA( $P<0.05$ ),能提高鲜切菠萝中苯丙烷类代谢关键酶PAL、C4H活力,延缓4-CL活力下降,促进总酚和总黄酮等抗氧化活性物质的积累,提高对DPPH自由基的清除能力,从而增强鲜切菠萝的抗氧化活性。

### 参考文献:

- [1] 文尚华. 我国菠萝产业发展现状与对策探讨[J]. 中国热带农业, 2006(1): 9-11. DOI:10.3969/j.issn.1673-0658.2006.01.004.
- [2] 易湘茜, 韦保耀, 滕建文, 等. 高效液相色谱法测定菠萝中多酚类化合物[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(2): 99-101. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2006.02.027.
- [3] 刘传和, 刘岩. 我国菠萝生产现状及研究概况[J]. 广东农业科学, 2010, 37(10): 65-68. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2010.10.027.
- [4] 李超, 冯志宏, 陈会燕, 等. 鲜切果蔬保鲜技术的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(1): 3-6. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2010.01.003.
- [5] SOLIVA-FORTUNY R C, MARTÍN-BELLOSO O. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2003, 14(9): 341-353. DOI:10.1016/s0924-2244(03)00054-2.
- [6] SURJADINATA B B, CISNEROS-ZEVALLOS L. Biosynthesis of phenolic antioxidants in carrot tissue increases with wounding intensity[J]. Food Chemistry, 2012, 134: 615-624. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.01.097.
- [7] 高梵, 李晓安, 韩聪, 等. 不同切割损伤强度对红心萝卜抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2489-2495.
- [8] 李晓安, 韩聪, 高梵, 等. 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[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2502-2508.
- [9] 齐海萍, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 鲜切菠萝涂膜保鲜技术研究[J]. 河南农业科学, 2010(9): 114-116; 120. DOI:10.3969/j.issn.1004-3268.2010.09.030.
- [10] AZARAKHSH N, OSMAN A, GHAZALI H M. Effects of gellan-based edible coating on the quality of fresh-cut pineapple during cold storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(7): 2144-2151. DOI:10.1007/s11947-014-1261-6.
- [11] 祖鹤, 潘永贵, 陈维信, 等. 短波紫外线照射对鲜切菠萝微生物的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 67-69. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.17.014.
- [12] 朱佳佳, 潘永贵. 气调包装对鲜切菠萝品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 185-187. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2012.07.052.
- [13] CREELMAN R A, MULLEN J E. Biosynthesis and action of jasmonates in plants[J]. Annual Review of Plant Biology, 1997, 48(1): 355-381. DOI:10.1146/annurev.arplant.48.1.355.
- [14] 毛国红, 郭毅, 崔素娟. 伤害信号分子及其信号转导[J]. 西北植物学报, 2002(6): 224-231. DOI:10.3321/j.issn:1000-4025.2002.06.039.
- [15] 王艳颖, 胡文忠, 姜波, 等. 茉莉酸甲酯处理抑制鲜切梨褐变机理的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 15(23): 339-342; 347.
- [16] 闫媛媛, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切苹果膜脂过氧化反应的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 345-349.
- [17] 闫媛媛, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 茉莉酸甲酯的信号分子作用及其在鲜切果蔬中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 384-387; 391.
- [18] SOENGAS P, CARTEA M E, FRANCISCO M, et al. New insights into antioxidant activity of Brassica crops[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 725-733. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.02.169.

- [19] 卫生部. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 2-5.
- [20] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [21] 苏东林, 单杨, 李高阳. 紫外分光光度法测定柑桔皮中总黄酮的含量[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(8): 124-128. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2007.08.040.
- [22] KOUKOL J, CONN E E. The metabolism of aromatic compounds in higher plants IV. purification and properties of the phenylalanine deaminase of *Hordeum vulgare*[J]. Journal of Biological Chemistry, 1961, 236(10): 2692-2698.
- [23] LAMB C J, RUBERY P H. A spectrophotometric assay for *trans*-cinnamic acid 4-hydroxylase activity[J]. Analytical Biochemistry, 1975, 68(2): 554-561.
- [24] 何慕涵, 苏文华, 张光飞, 等. 不同地区短葶飞蓬总黄酮含量与PAL和4-CL酶活性的比较[J]. 中国农学通报, 2012, 28(25): 179-183. DOI:10.3969/j.issn.1000-6850.2012.25.035.
- [25] 茅林春, 吴涛, 方雪花. 氯化钙和热处理对鲜切南瓜的保鲜作用[J]. 中国食品学报, 2007, 7(1): 115-119. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2007.01.021.
- [26] KANG H M, SALTVEIT M E. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(26): 7536-7541.
- [27] FERNANDO R L, LUIS C Z. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(18): 5296-5300. DOI:10.1021/jf034213u.
- [28] 于焱, 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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.15.093.
- [29] 马杰, 胡文忠, 毕阳, 等. 鲜切果蔬苯丙烷代谢的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15): 391-393.
- [30] LEÓN J, ROJO E, SÁNCHEZ-SERRANO J J. Wound signalling in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52: 1-9.