

# 红富士苹果采后 1-MCP 处理对果皮色素及其相关酶活性的影响

李秀芳, 饶景萍\*, 马秋诗, 孙振营, 韩 叶

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

**摘 要:** 以‘红富士’苹果为试材, 研究了采后 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理对冷藏期间果实硬度, 叶绿素、类胡萝卜素及花青苷含量变化的影响, 并重点研究了花青苷含量变化与其合成相关酶(PAL、CHI、DFR、UFGT)和降解相关酶 PPO、POD 活性变化的关系, 结果显示: 1-MCP 处理能抑制叶绿素降解及贮藏前期花青苷的积累, 延缓类胡萝卜素的积累及花青苷的后期降解; 贮藏期间花青苷的合成与 CHI、DFR 活性不相关, 与 PAL、UFGT 活性正相关; 贮藏期间花青苷降解相关酶 PPO、POD 活性都呈现先上升后下降的趋势, 对照的 PPO 活性始终高于 1-MCP 处理, 1-MCP 处理明显抑制贮藏前期果皮 POD 活性的上升及贮藏后期 POD 活性的下降。

**关键词:** 苹果; 1-MCP; 果皮色素; 采后

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2014) 03-0447-09

## Effects of 1-MCP Treatment on the Pericarp Pigment and the Activity of Related Enzymes of ‘Red Fuji’ Apple

LI Xiu-fang, RAO Jing-ping\*, MA Qiu-shi, SUN Zhen-ying, and HAN Ye

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

**Abstract:** The effects of 1-MCP on ‘Red Fuji’ apple fruit firmness, chlorophyll, carotene and anthocyanin content changes during storage, and focus on the anthocyanin content changes and synthetic enzymes (PAL, CHI, DFR, UFGT) activity and degradation enzyme PPO, POD activity changes. The results showed that: 1-MCP treatment can inhibit degradation of chlorophyll and anthocyanin accumulation in early storage, delay the accumulation of carotenoids and anthocyanins late degradation; Through the analysis of correlation showed that, during postharvest storage, anthocyanin synthesis was not related with CHI, DFR activity changes but with PAL, UFGT activity are closely related; During postharvest storage, anthocyanin degradation enzyme PPO, POD activity increased firstly and then decreased, during the whole storage, PPO activity of control group is higher than that of 1-MCP treatment group, 1-MCP treatment significantly inhibit the rise of POD activity in the pre-storage peel and the fall of POD activity in the late storage.

**Key words:** apple; 1-MCP; peel pigment; postharvest

收稿日期: 2013-11-01; 修回日期: 2014-01-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2013BAD19B04); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-28)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: dq0723@163.com)

‘红富士’苹果果皮的色素主要由花青苷、类胡萝卜素、叶绿素构成,其中花青苷为果皮的主要色素,其积累的多少和分布状况决定着果皮红色着色的程度,类胡萝卜素和叶绿素形成果皮的底色,与果皮的鲜艳程度有关,而这3种色素的含量比例最终决定着红富士苹果果皮的色泽(Lancaster, 1994; Bee & Lee, 1995; 李秀菊 等, 1998)。色泽是决定果实外观品质及商品价值的重要因素(Ju, 1998)。目前苹果果皮的花青苷组分已经确定了5种,分别是矢车菊素-3-半乳糖苷、矢车菊素-3-葡萄糖苷、矢车菊素-3-阿拉伯糖苷、矢车菊素-3-芸香糖苷、矢车菊素-3-木糖苷(Ben-Yehudah et al., 2005),其中矢车菊素-3-半乳糖苷占总花青苷的80%左右(Treutter, 2001)。关于苹果的花青苷的生物合成途径已经基本清楚(Lister & Lancaster, 1996; Takos et al., 2006)。花青苷的生物合成过程由一系列的酶促反应完成,苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮异构酶(CHI)、二氢黄酮醇还原酶(DFR)和类黄酮糖基转移酶(UFGT)是花青苷合成所必需的酶(王慧聪 等, 2004)。大量研究表明,花青苷的合成与相关酶活性的关系十分复杂,同工酶在不同树种、不同品种和不同时期表现均不同(Ju et al., 1995; 王慧聪 等, 2004)。有研究报道,花青苷的体内降解也是由多种酶催化共同完成的,多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、花色素苷酶被认为是负责花青苷降解的酶类(Oren-Shamir, 2009; 孙建霞 等, 2009),而花色素苷酶的活性目前仅在微生物及荔枝果实中检测到(张昭其 等, 2003)。

果实采后花青苷的含量变化除了受内部相关酶活性的影响外,还受外部因素影响。低温能促进果实中的花青苷积累并诱导相关酶基因的表达(Lopiero et al., 2005)。1-甲基环丙烯(1-MCP)作为乙烯受体抑制剂,能抑制果蔬后熟和衰老进程中乙烯诱导的相关生理生化反应,明显延长贮藏寿命,对采前苹果(Wang & Dilley, 2001)、采后梨(MacLean et al., 2007)、草莓(Jiang et al., 2001)、葡萄(Chervin et al., 2004)等果实施用1-MCP,明显延迟了花青苷的积累,但有关采后苹果贮藏过程中色素及其相关酶活性变化,以及1-MCP处理对花青苷代谢的调控还未见报道。本试验中以‘红富士’苹果为试材,研究了采后1-MCP处理对低温冷藏中果皮色素的影响,并重点研究了1-MCP处理下花青苷合成相关酶(PAL、CHI、DFR、UFGT)及降解相关酶(PPO、POD)的变化,旨在了解果实在贮藏过程中果皮色素变化的特点及1-MCP对花青苷代谢的调控,以期为‘红富士’苹果的贮藏保鲜提供技术及理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验用‘红富士’苹果(*Malus × domestica* ‘Red Fuji’)于2012年10月15日采自陕西省白水縣一个管理良好的农家果园。选择色泽相近,大小基本一致,果形端正,成熟度一致的无损伤无病虫害危害的果实,当天运回实验室处理。

### 1.2 处理方法

1-MCP处理:将6筐苹果(每筐50个)放到体积为360 L的气调箱内,称取0.618 g 1-MCP粉末(EthylBlock, 1-MCP的有效成分浓度0.14%)置于烧杯中,将烧杯放入气调箱内,加入一定量的水,用玻璃棒迅速搅拌3~4 s,立即盖上气调箱的盖子,用水密封气调箱盖子边缘,使气调箱内1-MCP浓度为 $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ (陈丹生 等, 2003),20℃室温下密封24 h,然后通风0.5 h,置 $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度85%~90%条件下贮藏。对照:将另外6筐苹果放在体积为360 L的气调箱内密封24 h,通风0.5 h,置上述相同条件下贮藏。对照和处理均设3个重复。贮藏过程中定期取样测定相关指标,

并取果皮(厚度约 0.5 mm)用液氮冷冻, 保存到 -80 ℃ 冰箱, 用来测定色素及相关酶活性。

### 1.3 测定项目及方法

果肉硬度采用意大利 FT-327 型(探头直径 11 mm, 测定深度 8 mm)硬度计测定, 单位为  $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。果皮花青苷总量测定参照李秀菊等(1998)的方法, 用体积分数 1% 的盐酸—甲醇浸提果皮 24 h, 利用分光光度计(Beckman coulter, DU530)于 530 nm 和 657 nm 下测定浸提液的吸光值, 二者之差为花青苷的相对含量, 差值每增加 0.01 定义为一个单位(U)。

果皮中花青苷组分分析: 采用高效液相色谱(HPLC)分析, 取 1 g 冷冻果皮粉末, 加入 5 mL 体积分数 1% 的盐酸—甲醇, 4 ℃ 黑暗条件下提取 24 h, 之后样品在  $13\,000 \times g$ , 4 ℃, 离心 15 min, 取 1 mL 上清液转移到自动进样器样品瓶中进行分析。仪器条件: 高效液相色谱仪(LC-2010AVP), 检测器(SHIMADZUSPD-10AVP), 泵(LC-10AVP), 进样器(SIL-10ADVP), 色谱柱(SUIMADZU VP-ODS 250 mm  $\times$  4.6 mm), 溶液 A (10% 甲酸) 和溶液 B (甲醇)。洗脱条件参照 Takos 等(2006)的测定方法, 略有改动。利用溶液 B 进行梯度洗脱: 0 min, 17%; 1 min, 17%; 15 min, 35%; 20 min, 37%; 25 min, 100%。流动相速度:  $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 进样量 10  $\mu\text{L}$ , 柱温 40 ℃, 检测波 520 nm。花青苷的标准样品: 矢车菊素-3-半乳糖苷(Aladdin 公司)。

果皮叶绿素和类胡萝卜素含量测定参照潘增光等(1995)的方法。

果皮 PAL、CHI 活性测定: 取 1 g 冷冻果皮粉末, 加入 5 mL 提取液 [ $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$  (pH 7.0),  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  抗坏血酸,  $0.018 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  巯基乙醇], 冰浴匀浆, 4 ℃ 下  $15\,000 \times g$  离心 20 min, 上清液为酶粗提液, 用于 PAL、CHI 酶活性测定(Lister & Lancaster, 1996)。

果皮 DFR、UFGT 活性测定: 酶液的提取参照 Fukuchi-Mizutani 等(2003)的方法。取 1 g 冷冻果皮粉末, 加入 6 mL 提取液 [ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 Tris-HCl (pH 7.5),  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  抗坏血酸,  $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  二硫苏糖醇, 0.1%  $\beta$ -巯基乙醇,  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  对氨基苯基甲磺酰 (APMSF)], 冰浴匀浆, 4 ℃,  $12\,000 \times g$  离心 20 min, 取上清液用硫酸铵分级分离, 之后沉淀用 [ $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  Tris-HCl (pH 7.5), 0.1% (体积分数) 的  $\beta$ -巯基乙醇, 10% (体积分数) 甘油,  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  APMSF] 提取, 上清液为 DFR 和 UFGT 酶的粗提液。DFR 活性测定参照 Stafford 和 Lester (1984) 的方法, UFGT 活性的测定参照 Lister 和 Lancaster (1996) 及刘金等(2012)的方法。

果皮 POD 活性参照 Jiang (2000) 的方法测定, PPO 活性参照 Sarni 等(1995)的方法测定。

数据用 SPSS 软件进行显著性统计分析及相关性统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 采后 1-MCP 处理对果实硬度的影响

由图 1 可看出, 对照和 1-MCP 处理的果实的硬度都随贮藏期延长逐渐下降。

与对照相比, 1-MCP 处理显著延缓红富士苹果的硬度下降, 贮藏至 190 d 时, 对照硬度  $6.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 1-MCP 处理硬度  $7.3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

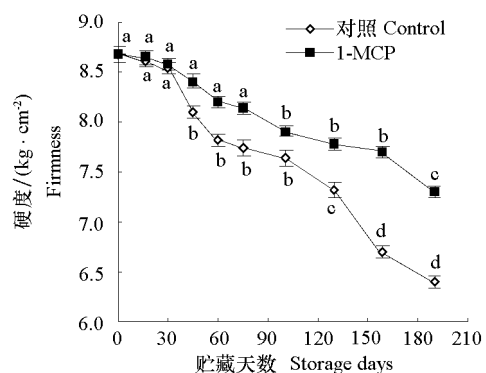


图 1 ‘红富士’ 苹果采后 1-MCP 处理对果肉硬度的影响  
Fig. 1 Effects of 1-MCP treatment on ‘Red Fuji’ apple fruit firmness

## 2.2 采后 1-MCP 处理对果皮花青苷含量的影响

由图 2 可看出,在贮藏期间,果皮中的花青苷含量呈先上升后下降的变化趋势,在贮藏前 100 d 中对照果的花青苷含量始终高于 1-MCP 处理的果实,贮藏至 100 d 后,1-MCP 处理的果实果皮花青苷含量高于对照。由此可推断,1-MCP 处理对果实贮藏前期花青苷的积累起抑制作用且延缓贮藏后期花青苷的降解。

矢车菊素-3-半乳糖苷作为苹果果皮花青苷的主要组分物质,其在贮藏期间的变化趋势与总花青苷含量变化基本一致(图 2)。

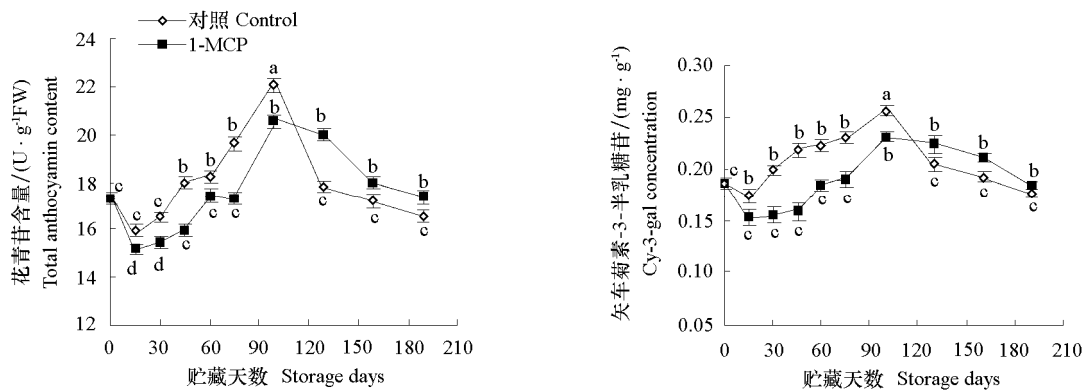


图 2 ‘红富士’苹果采后 1-MCP 处理对果皮花青苷含量的影响

Fig. 2 Effects of 1-MCP treatment on the content of anthocyanin of ‘Red Fuji’ apple peel

## 2.3 采后 1-MCP 处理对果皮叶绿素含量的影响

由图 3 可知,叶绿素 a、叶绿素 b 都随着贮藏时间的延长持续下降,且叶绿素 b 降解的速度大于叶绿素 a,对照与处理呈显著差异 ( $P < 0.05$ ),1-MCP 处理抑制叶绿素 a、叶绿素 b 的降解。

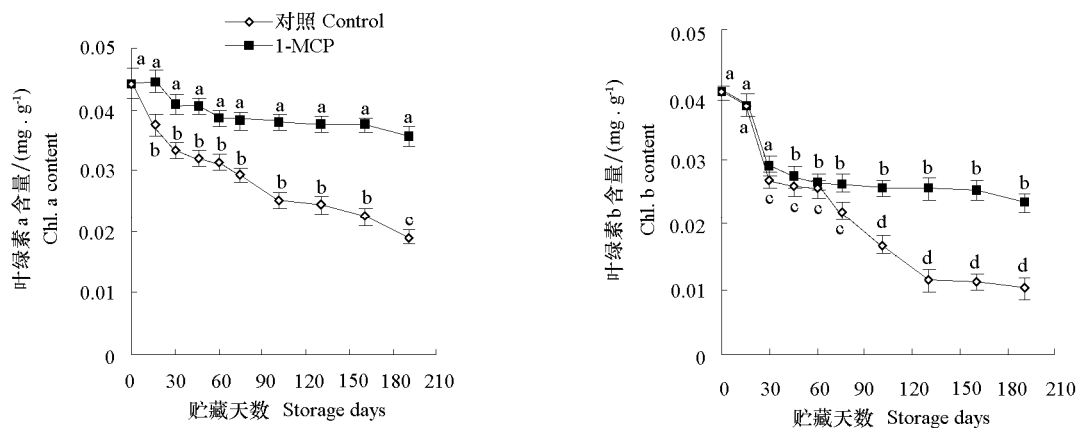


图 3 ‘红富士’苹果采后 1-MCP 处理对果皮叶绿素 a、叶绿素 b 含量的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP treatment on the content of Chl. a and Chl. b of ‘Red Fuji’ apple peel

## 2.4 采后 1-MCP 处理对果皮类胡萝卜素含量的影响

类胡萝卜素和叶绿素共同作为果皮的底色, 因其含量不同果皮呈现不同的色泽, 它在低温贮藏过程中不断积累, 但是积累幅度不大。由图 4 可知, 整个贮藏过程中, 对照形成的类胡萝卜素始终显著高于 1-MCP 处理果实 ( $P < 0.05$ ), 即 1-MCP 处理延缓类胡萝卜素的积累。

## 2.5 采后 1-MCP 处理对果皮花青苷合成相关酶活性的影响

由图 5 可看出, 在整个贮藏期间, 对照和 1-MCP 处理果实果皮中 CHI 和 DFR 活性的变化趋势基本一致, 始终呈下降的变化趋势, 且二者之间均无明显差异。

而果皮中的 PAL 的活性(图 6)在贮藏前期逐渐升高, 100 d 时达活性高峰, 且 1-MCP 处理低于对照; 之后下降, 且 1-MCP 处理的 PAL 活性反而高于对照, 但对照与处理之间差异不显著。

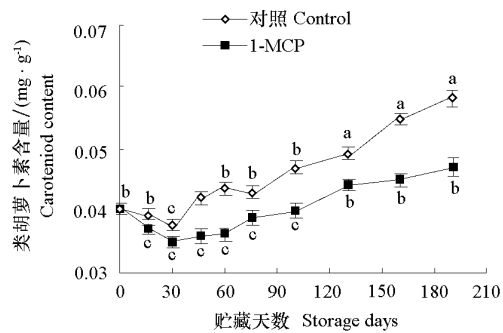


图 4 ‘红富士’苹果采后 1-MCP 处理对果皮类胡萝卜素含量的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP treatment on the content of carotenoid of ‘Red Fuji’ apple peel

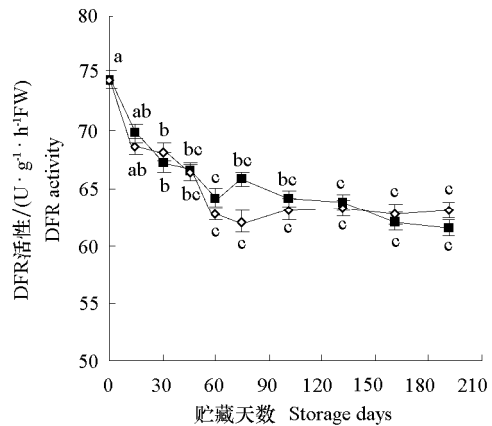
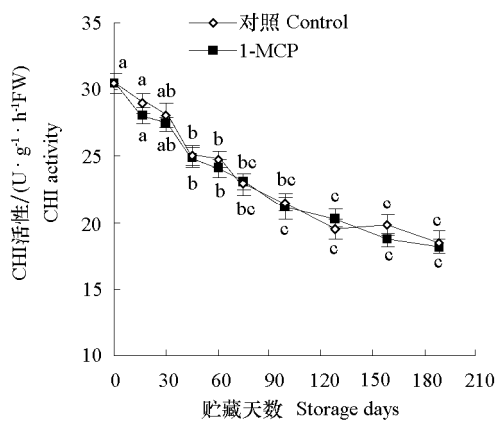


图 5 ‘红富士’苹果采后 1-MCP 处理对果皮类 CHI 和 DFR 活性的影响

Fig. 5 Effects of 1-MCP treatment on the CHI and DFR activity of ‘Red Fuji’ apple peel

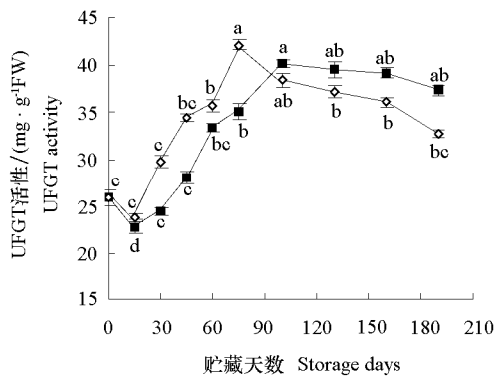
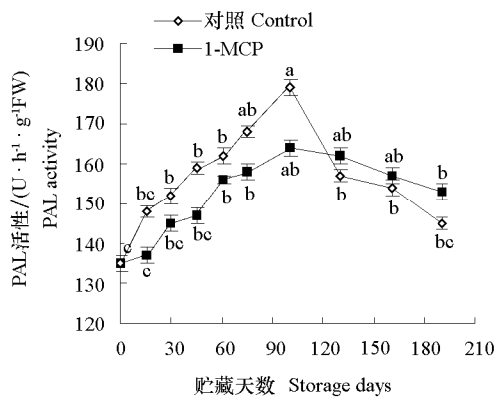


图 6 ‘红富士’苹果采后 1-MCP 处理对果皮 PAL 及 UFGT 活性的影响

Fig. 6 Effects of 1-MCP treatment on the PAL and UFGT activity of ‘Red Fuji’ apple peel

1-MCP 处理的果实果皮中 UFGT (图 6) 活性先上升后下降, 100 d 时达到最高, 在贮藏前 75 d 活性低于对照, 对照的 UFGT 活性高峰出现在 75 d, 1-MCP 处理延迟了 UFGT 活性高峰出现的时间, 说明 1-MCP 处理抑制了前期 UFGT 酶活性的升高并延缓其后期活性的降低。

2.6 贮藏期间果皮花青苷含量与 PAL、CHI、DFR、UFGT 酶活性的相关性

由表 1 可以看出, 在贮藏过程中, 红富士苹果果皮花青苷含量的变化与 CHI、DFR 酶活性变化相关性不显著, 但是与 PAL、UFGT 酶活性的变化呈显著的正相关; 说明贮藏过程中红富士苹果果皮花青苷代谢与果皮 PAL、UFGT 活性密切相关。

表 1 采后贮藏过程中红富士苹果果皮花青苷含量与花青苷合成相关酶的相关性系数  
Table 1 The correlation coefficient of anthocyanin and the enzyme activity of anthocyanin biosynthesis in fruits during postharvest storages

处理 Treatment	PAL	CHI	DFR	UFGT
对照 Control	0.75*	- 0.23	- 0.14	0.92**
1-MCP	0.69*	- 0.17	- 0.27	0.94**

注: \*表示 5% 的差异显著水平; \*\*表示 1% 差异极显著水平 ( $n=3$ )。  
Note: \* means the significant level of 5% and \*\* means the significant level of 1% ( $n=3$ ) .

2.7 采后 1-MCP 处理对果皮 PPO 活性和 POD 活性的影响

PPO 能催化氧化酚类物质, 也是一种能降解花青苷的重要酶。由图 7 可以看出, 在整个贮藏期间, PPO 活性呈先上升后下降的变化趋势, 对照的果实果皮中 PPO 活性高于 1-MCP 处理, 对照在贮藏至 75 d 时出现 PPO 活性高峰, 而 1-MCP 处理在 100 d 时出现 PPO 活性高峰, 说明 1-MCP 处理抑制 PPO 活性的上升。另外, 从整个贮藏期来看, 对照与处理均是贮藏后期的 PPO 活性高于贮藏前期, 这可能与贮藏后期花青苷降解有关。

POD 不仅是参与果实氧化衰老的一个重要酶, 同时也被认为是花青苷降解过程中的重要酶。由图 7 可以看出, 在贮藏前期对照与处理的果皮 POD 活性都稍有上升后下降, 花青苷在贮藏前期降解可能与之变化有关; 随着贮藏时间的延长, POD 活性又呈上升的变化趋势, 在贮藏 130 d 时对照与处理均出现活性高峰, 之后又呈下降趋势; 在整个贮藏期间, 1-MCP 处理抑制贮藏前期果皮 POD 活性的上升, 延缓贮藏后期 POD 活性的下降。

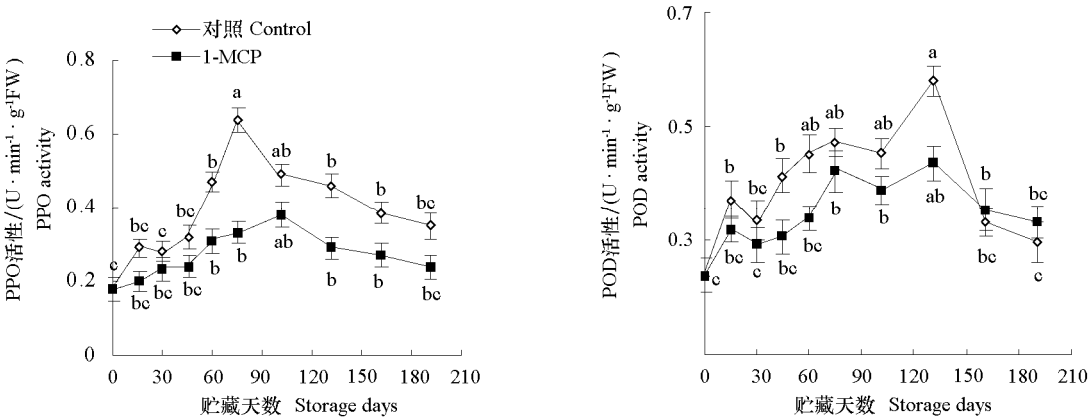


图 7 ‘红富士’ 苹果采后 1-MCP 处理对果皮 PPO 和 POD 活性的影响  
Fig. 7 Effects of 1-MCP treatment on the PPO and POD activity of ‘Red Fuji’ apple peel

### 3 讨论

#### 3.1 采后 1-MCP 处理对苹果果皮花青苷含量的影响

1-MCP 延缓果实衰老, 不仅仅表现在延缓果实硬度下降等内在生理品质上, 还表现在影响果实的外观品质上。刘金等 (2012) 对早熟苹果花青苷积累与乙烯生成之间的关系的研究中发现, ‘泰山早霞’ 果实喷施乙烯抑制剂 1-MCP 后, 花青苷积累显著较少。Jiang 等 (2001) 研究中 1-MCP 处理对采后草莓的影响中发现, 1-MCP 处理可抑制花青苷的积累。本研究中发现, 在整个冷藏过程中, 红富士苹果果皮花青苷先逐渐积累而后又下降, 1-MCP 处理抑制采后花青苷的再合成且延缓花青苷的采后降解, 这与草莓上的研究结果 (Jiang et al., 2001) 一致。

#### 3.2 采后 1-MCP 处理后苹果果皮花青苷合成代谢

在苹果果实发育过程中, 花青苷在幼果期与成熟期各有一个合成高峰 (Lister & Lancaster, 1996)。花青苷的生物合成始于苯丙氨酸代谢途径, 苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 是苯丙氨酸代谢途径的第一个关键酶 (Ju et al., 1995)。Ju 等 (1995) 报道, 红色苹果幼果期 PAL 活性很高, 但无花青苷合成或合成很少; 成熟期 PAL 活性逐渐降低, 但花青苷逐渐增加, 表明在苹果发育期 PAL 不是花青苷合成的主要酶。查尔酮异构酶 (CHI) 在花青苷合成途径中主要起进一步转化类黄酮化合物的重要作用。刘晓静等 (2009) 研究生长发育期套袋对 ‘国光’ 苹果花青苷合成的影响中发现, 解袋后 CHI 与 UFGT 活性迅速升高, 与花青苷合成相一致。二羟基黄酮醇还原酶 (DFR) 是催化二氢栎皮黄酮 (DHQ) 生成无色花青素, DFR 是这一转变中起作用的第一个酶, 失去 DFR 活性的突变体产生象牙色或者白色。Murray 和 Hackett (1991) 研究认为 DFR 是影响英国长春藤花青苷合成的主要因子。王惠聪等 (2004) 研究表明 DFR 也与荔枝果皮花青苷合成无密切的关系。UFGT 是负责花青苷生物合成过程中的最后一个步骤的关键酶, 它在细胞质和液泡中协同作用使不稳定的花青素转变为稳定的花青苷, 研究表明苹果 (刘晓静 等, 2009) 和荔枝 (王惠聪 等, 2004) 中花青苷的积累与 UFGT 活性呈明显的正相关。Ju 等 (1995) 研究发现, 在果实膨大期没有花青苷积累时, UFGT 的活性也很高, 说明在果实发育期其不是主导苹果花青苷合成的酶。由上表明在果实不同生长发育期不同品种花青苷合成代谢酶表现均不同。

本研究中发现, 苹果在贮藏期间, PAL 与 UFGT 活性与花青苷合成代谢显著相关, 其中 UFGT 达到极显著相关水平; 1-MCP 处理抑制采后花青苷的再合成且延缓花青苷的采后降解。一方面这可能与 1-MCP 处理抑制二者酶活性有关, 另一方面可能与 1-MCP 处理通过抑制采后果实的整体生理变化从而调节了花青苷合成代谢, 具体哪一方面为主导, 需要进一步从调控花青苷代谢的结构基因及调节基因方面来探讨 1-MCP 处理对花青苷合成代谢酶的作用机理。刘金等 (2012) 研究生长发育期果实发现, 乙烯能启动花青苷合成途径下游的 UFGT 酶活性来调控花青苷的积累。Ju 等 (1995) 对苹果施用乙烯利发现可提高 UGFT 活性, 但不积累花青苷。在贮藏过程中, 1-MCP 处理有效抑制了果实乙烯的释放量, 果实中 UFGT 活性依然很高, 说明采后贮藏过程中 UFGT 活性的表达并不是乙烯调控启动的, 因此有必要从分子层面进行研究, 探讨在贮藏期间启动花青苷合成酶表达的调节基因。

#### 3.3 采后 1-MCP 处理后果皮花青苷降解机制

有关花青苷的体内降解机制迄今仍不是很清楚 (Oren-Shamir, 2009)。研究表明, 能降解花青苷的酶主要有花色素苷酶、PPO、POD, 但是花色素苷酶的活性在苹果上尚未检测到 (张昭其 等,

2003; Oren-Shamir, 2009)。另有研究表明, 多酚氧化酶(PPO)本身并不能直接促进花色苷的降解, 花青苷的降解不依赖于PPO而仅依赖于PPO催化形成的醌类化合物, 在该醌类物质的存在下花青苷进一步被氧化降解(Peng & Markakis, 1963)。与PPO相似, POD酶不能直接降解花青苷, 它需要依赖 $H_2O_2$ 和其他酚类物质的存在, 才能使花青苷趋于降解。

本研究中发现, 在苹果采后贮藏的后期, 花青苷趋于降解, 一方面可能与降解酶活性有关, 贮藏至后期的花青苷降解酶PPO活性虽然呈下降的变化趋势, 但还是略高于贮藏前期的PPO活性, 另外贮藏后期花青苷的合成相关酶活性降低, 从而花青苷的降解能力大于合成能力, 表现为花青苷降解; 对照花青苷降解幅度大于1-MCP处理, 这可能与对照的PPO活性始终高于1-MCP处理有关, 随着果实的衰老, 更多的酚类物质与PPO接触而被氧化, 花青苷参与该反应加速了自身的降解, 而1-MCP处理抑制PPO活性的上升, 所以延缓了花青苷的降解; POD对花青苷的降解也可能是间接起作用的, 它通过清除体内的过氧化物, 使机体免受过氧化物的毒害, 延缓果实的衰老, 从而延缓花青苷的采后降解, 1-MCP处理延缓果实花青苷的降解可能与1-MCP处理延缓了贮藏后期POD活性下降有关。花青苷的稳定性除了受相关酶活性的影响外, 还与植物细胞液的pH、果实糖浓度等有关; 因此, 花青苷的降解也不能单一的认为是花青苷降解酶所引起, 它可能是由果实自身的细胞环境、果实贮藏过程糖含量, 花青苷的合成前提物质等综合因素共同决定, 因此今后有必要系统的研究果实花青苷降解与它们之间的相关度, 确定主要影响花青苷降解的因素以期对苹果贮藏品质的研究提供理论依据。

## References

- Bee R N, Lee S K. 1995. Influence of chlorophyll, internal ethylene, and PAL on anthocyanin synthesis in Fuji apple. *Korean Society Hort Sci*, 36 (3): 361 - 370.
- Ben-Yehudah G, Korchinsky R, Redel G, Ovadya R, Oren-Shamir M, Cohen Y. 2005. Color accumulation patterns and the anthocyanin biosynthetic pathway in 'Red Delicious' apple variants. *Sci Hort Biotech*, 80: 187 - 192.
- Cheng Dan-sheng, Su Xin-guo, Zhen Yong-hua, Wang Feng, Zhang Lan, Feng Lei, Jiang Yue-ming. 2003. Effects of 1-MCP treatment on storage quality changes of 'Red Fuji' apple. *Food Science*, (9): 143 - 146.
- 陈丹生, 苏新国, 郑永华, 汪 峰, 张 兰, 冯 磊, 蒋跃明. 2003. 1-甲基环丙烯对红富士苹果贮藏品质的影响. *食品科学*, (9): 143 - 146.
- Chervin C, El-Kereamy A, Roustan J P, Latch A, Lamon J, Bouzayen M. 2004. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit. *Plant Sci*, 167: 1301 - 1305.
- Fukuchi-Mizutani M, Okuhara H, Fukui Y, Nakao M, Katsumoto Y, Yonekura-Sakakibara K, Kusumi T, Hase T, Tanaka Y. 2003. Biochemical and molecular characterization of a novel UDP-glucose: Anthocyanin 3'-O-Glucosyl transferase, a key enzyme for blue anthocyanin biosynthesis, from Gentian. *Plant Physiol*, 132: 1652 - 1663.
- Jiang Y M. 2000. Role of anthocyanins, polyphenol oxidase and phenols in lychee pericarp browning. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 305 - 310.
- Jiang Y M, Joyce D C, Terry L A. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biology and Technology*, 23: 227 - 232.
- Ju Z G, Liu C L, Yuan Y B. 1995. Activity of chalcone synthase and UDPGal: Flavonoid-3-glycosyltransferase in relation to anthocyanin synthesis in apple. *Scientia Horticulturase*, 63: 175 - 185.
- Ju Z G. 1998. Fruit bagging, a useful method for studying anthocyanin synthesis and gene expression in apple. *Sci Hort*, 77: 145 - 154.
- Lancaster J E, Grant J E, Carolgn E L. 1994. Skin color in apples-influence of copigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes. *Amer Soc Hort*, 119: 63 - 69.
- Li Xiu-ju, Liu Yong-sheng, Shu Huai-rui. 1998. The changes of pigmentation and hormonal in bagging Fuji apple. *Acta Horticulturae Sinica*, 25 (3):



- 209 - 213. (in Chinese)
- 李秀菊, 刘用生, 束怀瑞. 1998. 红富士苹果套袋果实色泽与激素含量的变化. 园艺学报, 25 (3): 209 - 213.
- Lister C E, Lancaster J E. 1996. Developmental changes in enzymes of flavonoid biosynthesis in the skins of red and green apple cultivars. *Journal Science of Food Agriculture*, 71: 313 - 320.
- Liu Jin, Liu Mei-yan, Wei Jing-li, Song Yang, Feng Shou-qian, Wang Chuan-zeng, Chen Xue-sen. 2012. The relationships between the enzyme activity of anthocyanin biosynthesis, ethylene release and anthocyanin accumulation in fruits of precocious apple cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (7): 1235 - 1242. (in Chinese)
- 刘金, 刘美艳, 魏景立, 宋杨, 冯守千, 王传增, 陈学森. 2012. 早熟苹果花青苷积累与其相关酶活性及乙烯生成之间的关系. 园艺学报, 39 (7): 1235 - 1242.
- Liu Xiao-jing, Feng Bao-chun, Feng Shou-qian, Wang Hai-bo, Shi Jun, Wang Na, Chen Wei-yi, Chen Xue-sen. 2009. Studies on anthocyanin biosynthesis and activities of related enzymes of 'Ralls' and its bud mutation. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (9): 1249 - 1254. (in Chinese)
- 刘晓静, 冯宝春, 冯守千, 王海波, 石俊, 王娜, 陈为一, 陈学森. 2009. '国光' 苹果及其红色芽变花青苷合成与相关酶活性的研究. 园艺学报, 36 (9): 1249 - 1254.
- Lopiero A R, Puglisi I, Rapisarda P, Petrone G. 2005. Anthocyanin accumulation and related gene expression in Red Orange fruit induced by low temperature storage. *Journal of Agricultural and Chemistry*, 53: 9083 - 9088.
- MacLean D D, Murr D P, DeEll J R, Mackay A B, Kupferman E M. 2007. Inhibition of PAL, CHS, and ERS1 in 'Red Anjou' pear (*Pyrus communis* L.) by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 46 - 55.
- Murray J R, Hackett W P. 1991. Dihydroflavonol reductase activity in relation to differential anthocyanin accumulation in juvenile and mature phase *Hedera helix* L. *Plant Physiology*, 97: 343 - 351.
- Oren-Shamir M. 2009. Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants? *Plant Science*, 177 (4): 310 - 316.
- Pan Zeng-guang, Fan Hui, Shu Huai-rui. 1995. The relationship between anthocyanidin content and rate of ethylene production in apple fruit. *Plant Physiology Communications*, 31 (5): 338 - 340. (in Chinese)
- 潘增光, 范晖, 束怀瑞. 1995. 苹果果实花青素形成与乙烯释放量的关系. 植物生理学通讯, 31 (5): 338 - 340.
- Peng C Y, Markakis P. 1963. Effect of phenolase on anthocyanins. *Nature*, 199: 597 - 598.
- Sarni P, Fulcrand H, Souillol V, Souquet J M, Cheynier V. 1995. Mechanisms of anthocyanin degradation in grape must-like model solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 69: 385 - 391.
- Stafford H A, Lester H H. 1984. Flavan-3-ol biosynthesis The conversion of (+)dihydroquercetin and flavan-3, 4-cis-diol (leucocyanidin) to (+)catechin by reductases extracted from cell suspension cultures of *Douglas fir*. *Plant Physiology*, 76: 184 - 186.
- Sun Jian-xia, Zhang Yan, Hu Xiao-song, Wu Ji-hong, Liao Xiao-jun. 2009. Structural stability and degradation mechanisms of anthocyanins. *Scientia Agricultura Sinica*, 42 (3): 996 - 1008. (in Chinese)
- 孙建霞, 张燕, 胡小松, 吴继红, 廖小军. 2009. 花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展. 中国农业科学, 42 (3): 996 - 1008.
- Takos A M, Ubi B E, Robinson S P, Walker A R. 2006. Condensed tannin biosynthesis genes are regulated separately from other flavonoid biosynthesis genes in apple fruit skin. *Plant Sci*, 170: 487 - 499.
- Treutter D. 2001. Biosynthesis of phenolic compounds and its regulation in apple. *Plant Growth Regul*, 34: 71 - 89.
- Wang Hui-cong, Huang Xu-ming, Hu Gui-bing, Huang Hui-bai. 2004. Studies on the relationship between anthocyanin biosynthesis and related enzymes in litchi pericarp. *Scientia Agricultura Sinica*, 37 (12): 2028 - 2032. (in Chinese)
- 王惠聪, 黄旭明, 胡桂兵, 黄辉白. 2004. 荔枝果皮花青苷合成与相关酶的关系研究. 中国农业科学, 37 (12): 2028 - 2032.
- Wang Z Y, Dille D R. 2001. Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, can enhance red color development without over-ripening apples. *HortScience*, 36: 328 - 331.
- Zhang Zhao-qi, Pang Xue-qun, Duan Xue-wu, Ji Zuo-liang. 2003. The anthocyanin degradation and anthocyanase activity during the dericarp browning of lychee fruit. *Scientia Agricultura Sinica*, 36 (8): 945 - 949. (in Chinese)
- 张昭其, 庞学群, 段学武, 季作梁. 2003. 荔枝采后果皮花色苷的降解与花色苷酶活性的变化. 中国农业科学, 36 (8): 945 - 949.