

# 1-MCP 处理对“彩虹1号”和“陆奥”苹果贮藏特性和相关基因表达水平的影响

刘丽敏, 王彩虹, 程晨霞, 张勇, 杨绍兰\*  
(青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109)

**摘要:** 该研究以“彩虹1号”和“陆奥”苹果为试材, 研究了1-MCP(1-甲基环丙烯)处理对这两个品种贮藏期间硬度、乙烯释放速率、失重率、挥发性物质以及乙烯生物合成和细胞壁降解相关基因的表达量的影响。结果表明: 与对照果实相比, 1-MCP处理能够显著降低“彩虹1号”果实失重率, 延缓乙烯释放高峰出现, 维持果实较高硬度。对照果实乙烯峰值出现在贮藏期60 d, 乙烯释放量为74.13  $\mu\text{L}/(\text{kg h})$ , 1-MCP处理果实乙烯峰值出现在贮藏期90 d, 乙烯释放量为41.61  $\mu\text{L}/(\text{kg h})$ 。“陆奥”苹果贮藏期间, 1-MCP处理延缓了果实失重及乙烯释放速率。通过对相关基因的表达量分析发现, 1-MCP处理的“彩虹1号”果实中乙烯合成基因 *MdACO*、*MdACS-1*, 细胞壁降解基因 *MdPG*、*MdXTHB* 表达量均明显降低, 而“陆奥”果实中的细胞壁降解基因只有 *MdXTHB* 和 *MdEXPA8* 受到了抑制。综上所述, 1-MCP能够明显降低“彩虹1号”果实中的乙烯释放速率, 延缓了果实软化, 延长其贮藏期, 适合作为该品种果实的采后保鲜处理。

**关键词:** 1-MCP; 苹果; 贮藏期; 品质; 相关基因表达

文章编号: 1673-9078(2023)04-110-117

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.4.0476

## Effects of 1-MCP on the Storage Characteristics and Expression Levels of Related Genes in ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ Apple

LIU Limin, WANG Caihong, CHENG Chenxia, ZHANG Yong, YANG Shaolan\*  
(College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** The effects of 1-MCP on the firmness, ethylene release rate, weight loss rate, volatile substances, and expression of genes related to ethylene biosynthesis and cell wall degradation of ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ apple during storage were investigated. Compared with control treatment, 1-MCP treatment could significantly reduce the weight loss rate of the ‘Caihong 1’ fruit, delay the peak of ethylene release, and maintain high fruit firmness. The peak value of ethylene in the control fruit was 74.13  $\mu\text{L}/(\text{kg h})$  on day 60 of storage, while that in the 1-MCP treated fruits was 41.61  $\mu\text{L}/(\text{kg h})$  on day 90 of storage. Treatment with 1-MCP delayed the weight loss and ethylene release rate of ‘Mutsu’ apples during storage. By analyzing the expression of related genes, the expression levels of the ethylene synthesis genes, *MdACO* and *MDACS-1*, and cell wall degradation genes, *MdPG* and *MdXTHB*, were found to be significantly decreased in the 1-MCP-treated ‘Caihong 1’ fruit; however, only the expression of the cell wall degradation genes, *MdXTHB* and *MdEXPA8*, were inhibited in the ‘Mutsu’ fruits. In conclusion, 1-MCP can significantly reduce the ethylene release rate of the ‘Caihong 1’ fruit, delay fruit softening, and prolong the storage period of the fruit. Thus, 1-MCP is a suitable post-harvest preservation treatment for fruits of this variety.

**Key words:** 1-MCP; apple; storage period; quality; related gene expression

引文格式:

刘丽敏,王彩虹,程晨霞,等.1-MCP处理对“彩虹1号”和“陆奥”苹果贮藏特性和相关基因表达水平的影响[J].现代食品科技,2023,39(4):110-117.

LIU Limin, WANG Caihong, CHENG Chenxia, et al. Effects of 1-MCP on the storage characteristics and expression levels of related genes in ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ apple [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 110-117.

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400100)

作者简介: 刘丽敏 (1997-), 女, 在读硕士生, 研究方向: 果蔬采后生理与分子生物学, E-mail: liu151585@163.com

通讯作者: 杨绍兰 (1978-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬采后生理与分子生物学, E-mail: shaolanyang@126.com

苹果等呼吸跃变果实,在其成熟过程中会释放大量的乙烯<sup>[1]</sup>,葡萄糖等养分被不断消耗<sup>[2]</sup>,加快果实成熟衰老,从而缩短其贮藏寿命<sup>[3]</sup>。乙烯的大量释放为影响苹果果实贮藏品质和销售价值的重要因素<sup>[4-6]</sup>。金帅、红星等品种在采后过程中细胞壁降解导致了果实软化,果实软化也是影响果实品质的一个重要问题。因此,如何快速有效延缓苹果果实采后乙烯释放和果实软化对于延长其贮藏期,提高苹果果实贮藏品质有重要意义。

1-甲基环丙烯(1-MCP)为果蔬保鲜剂,可与乙烯受体优先结合,从而减少乙烯与受体的结合机会,降低乙烯释放量<sup>[7]</sup>。谢季云等<sup>[8]</sup>研究发现,1-MCP处理影响了不同采收期富士苹果的贮藏品质。贮藏期间,1-MCP处理明显降低了果实的呼吸速率,延缓了果实的失重率,1-MCP处理的果实比未处理果实硬度高。王云香等<sup>[9]</sup>研究发现,1-MCP处理对“红富士”Vc含量无显著影响,而1-MCP处理“黄元帅”苹果Vc含量在第1d开始即显著高于对照。因此,1-MCP对不同品种苹果果实的保鲜效果不尽相同。

曹森等<sup>[10]</sup>研究表明,不同浓度的1-MCP处理均能不同程度地延缓果实呼吸速率和乙烯释放速率,同时抑制了ACS和ACO的酶活性及ACS1和ACO1的基因表达量。高启阳<sup>[11]</sup>研究发现,CaCl<sub>2</sub>处理显著抑制乙烯信号转导基因ACO1、ACS1、CTR1、EBF1的表达;ERF是乙烯信号转导中的重要转录因子,有研究报道ERF转录因子可以调控果实中的乙烯合成<sup>[12]</sup>。果实成熟软化过程伴随着细胞壁的降解,Ma等<sup>[13]</sup>研究表明,MdXTHB可通过降解果实细胞壁来促进苹果果实软化。袁晖等<sup>[14]</sup>研究表明多聚半乳糖醛酸酶是重要的一类细胞壁水解酶,参与调控了果实软化,PG基因作用于多聚半乳糖醛酸酶,调控了南果梨果实成熟。程玉豆等<sup>[15]</sup>研究表明,1-MCP处理抑制了果实软化相关基因PG1和PG2的表达。马宁<sup>[16]</sup>在代谢组中分析发现EXPA8是与细胞壁合成相关的基因。

“彩虹1号”苹果是以“礼泉短富”和“金冠”杂交而成的中熟品种<sup>[17]</sup>。果实口感松脆,味道浓郁,在贮藏期间会释放大量乙烯,影响果实的贮藏品质。“陆奥”是以“金冠”和“印度”杂交培育而成,果皮细腻呈现均匀绿色,果肉淡黄色,松脆汁多,甜酸味浓<sup>[18]</sup>。本试验以“彩虹1号”和“陆奥”苹果为试材,研究贮藏期间两个品种苹果果实中与乙烯合成、细胞壁合成和降解相关基因的表达模式,并研究1-MCP处理对两个品种果实贮藏特性的影响,探讨1-MCP在两个品种保鲜中应用的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材及取样

以“彩虹1号”“陆奥”苹果作为试验材料,果实达到商品采摘期,立即采摘并运至实验室,挑选颜色和成熟度一致,无机械损伤的果实用于后续试验。1-MCP处理组:以0.5 μL/L 1-MCP<sup>[19]</sup>在室温下密闭熏蒸处理24 h,对照组:以同体积的水作为对照,在室温下密闭熏蒸处理24 h。处理后,将两组果实放于果筐中置于4℃冷藏5个月。每隔15 d各取9个固定果实测乙烯、色差、电子鼻和重量,取10个果实测硬度、糖度等,并将去皮去核的果肉组织置于-80℃液氮速冻用于后续RNA的提取。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 果实硬度测定

采用TMS-Touch(美国FTC)质构分析仪,每个品种选取5个果实,每隔15 d测定果实赤道部位的四个等距点。选用直径为10 mm的探头,测试深度为10 mm,测量速度为60 mm/min。

#### 1.2.2 果实乙烯释放速率测定

参照Wang等<sup>[20]</sup>的方法,测定2个不同品种果实的乙烯释放率。每个品种选取9个固定果实,在9个密闭烧杯中用两层保鲜膜封口并用橡皮筋固定,室温下放置1 h,每个样品各抽取1 mL气体样品注入GC-2010气相色谱仪(岛津,日本),气相色谱仪配备氢火焰离子检测器(FID)和GDX-502毛细管柱(10 mm×0.53 mm×1 mm)。乙烯释放速率单位表示为μL/(kg h),每个样品重复3次。

#### 1.2.3 果实失重率测定

采取称重法,每个品种选取9个固定果实,每隔15 d称取果实质量。计算公式如下:

$$A = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

A—失重率, %;

W<sub>0</sub>—贮藏0 d果实质量, g;

W<sub>1</sub>—贮藏期果实质量, g。

#### 1.2.4 果实电子鼻测定

每个品种选取9个固定果实,分别在密闭烧杯中用两层保鲜膜封口并用橡皮筋固定,室温下放置1 h,然后用电子鼻(德国, PEN3)检测。电子鼻测定条件:传感器清洗时间为60 s,传感器归零时间为10 s,样品准备时间为5 s,分析采样时间为100 s,内部流量

400 mL/min, 进样流量 200 mL/min。电子鼻中不同的传感器对应着不同的挥发性物质 (表 1)。

### 1.2.5 相关基因的实时荧光定量 (qRT-PCR) 分析

使用多糖多酚植物总 RNA 提取试剂盒 (天根) 从果肉中提取总 RNA。RNA 反转录按 HiScript II QRT SuperMix for qPCR 试剂盒 (Vazyme) 说明书进行操作。实时荧光定量检测仪为 Roche 480, 瑞士。计算方法为  $2^{-\Delta\Delta C_t}$  法<sup>[21]</sup>。荧光定量反应体系为: 2×ChamQ SYBR Color qPCR Master Mix 10 μL, Forward primer 1 μL, Reverse primer 1 μL, cDNA 1 μL, RNase Free ddH<sub>2</sub>O 7μL。qRT-PCR 反应程序: 95 °C: 30 s, 95 °C: 10 s, 60 °C: 30 s, 42X。荧光定量引物序列见表 2, 由上海生工生物技术有限公司合成。

表 1 电子鼻传感器名称及响应物质类型

Table 1 Electronic nose sensor name and response substance type

传感器序号	传感器型号	功能描述
1	W1C	芳香成分
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化合物很敏感
3	W3C	氨水, 对芳香成分灵敏
4	W6S	对氢气灵敏
5	W5C	烷烃, 芳香成分
6	W1S	对甲烷灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对乙醇灵敏
9	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵
10	W3S	对烷烃灵敏

表 2 qRT-PCR 所用引物

Table 2 Primers used for qRT-PCR amplifications

基因名称	引物名称	引物序列
<i>MdACO</i>	MdACO-F	5'-GGCTACACACAGAGCATACAA-3'
	MdACO-R	5'-GCTGCCACCATTTCCTTAAAC-3'
<i>MdACS-1</i>	MdACS-1-F	5'-CTGGAAGAAGCCTACCAAGAAG-3'
	<i>MdACS-1-R</i>	5'-CCATGTCGTCGTTGGAGTAAA-3'
<i>MdERF1B</i>	MdERF-F	5'-GCTTCTTACGGTCTGATTTCC-3'
	MdERF-R	5'-CACCCCTATGCCATGTCTAGTG-3'
<i>MdPG</i>	MdPG-F	5'-CACAGTTGTTGGTTCATTTGT-3'
	MdPG-R	5'-CCTTCTATGGTGTCCGTGTATG-3'
<i>MdEBF1</i>	MdEBF1-F	5'-TTAAGCACTCACACGGGTATC-3'
	MdEBF1-R	5'-CGCTTGGTGGACTGTATTCT-3'
<i>MdXTHB</i>	MdXTHB-F	5'-GACCGAGTCAGATACCCTTCTA-3'
	MdXTHB-R	5'-CTGAGTACGTGTCATCTTCTTCTC-3'
<i>MdEXPA8</i>	MdEXPA8-F	5'-CCTCATCCTCTCTCTCCTTAGT-3'
	MdEXPA8-R	5'-TGGCTGTACAAGTTCATATC-3'
<i>MdActin</i>	MdActin-F	5'-GAAGCTGCTGGCATTTCATGA-3'
	MdActin-R	5'-CTGGTGGAGCTACAACCTTG-3'

### 1.2.6 数据处理

使用 GraphPad 8.0 和 Microsoft Excel 进行数据处理和作图, 并用 GraphPad 8.0 进行差异性显著分析。用电子鼻自带 Winmuster 软件分析主成分和线性判别式。

## 2 结果与分析

### 2.1 “彩虹 1 号”和“陆奥”苹果果实贮藏期间硬度的变化

如图 1 所示, 在整个贮藏期间, “彩虹 1 号”对照

果实硬度呈现下降趋势, 果实逐渐软化, 而 1-MCP 处理明显抑制了果实软化进程, 采后 135 d 对照果实硬度为 29.67 N, 而 1-MCP 处理果实硬度 57.54 N。“陆奥”苹果果实在贮藏过程中硬度逐渐下降, 果实趋于软化, 1-MCP 处理与对照果实硬度无显著差异。冯云霄等<sup>[22]</sup>研究发现, 1-MCP 处理能延缓“冀苹 3 号”、“6-25”、“4-25”和“嘎拉”这 4 个早熟苹果品种的硬度下降趋势。Niu 等<sup>[23]</sup>在新红星苹果上研究发现经过 1-MCP 处理的果实保持较高的硬度, 李江阔等<sup>[24]</sup>研究发现, 1-MCP 处理均能保持果实较高的硬度。这都与本文 1-MCP 对“彩虹 1 号”的处理效果一致。

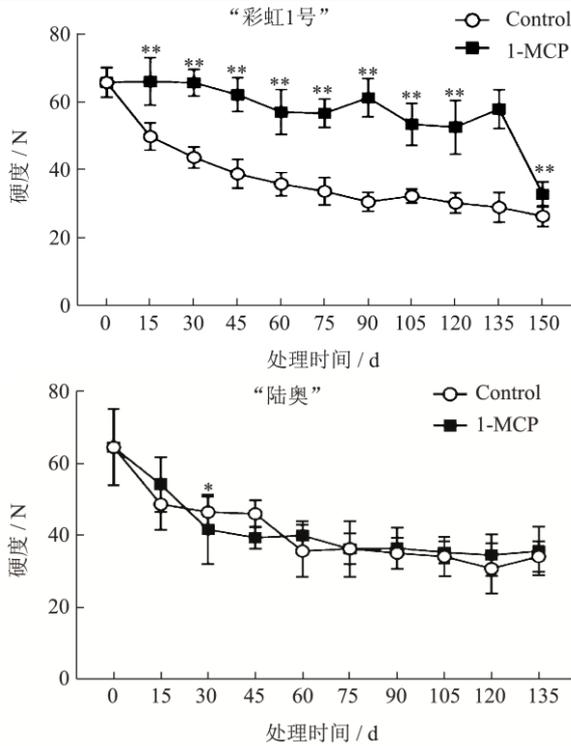


图1 “彩虹1号”和“陆奥”苹果果实贮藏期间硬度变化  
Fig.1 Changes of ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ fruit firmness during storage

注：星号表示对照和 1-MCP 处理果实之间的显著差异，

\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ ; 下同。

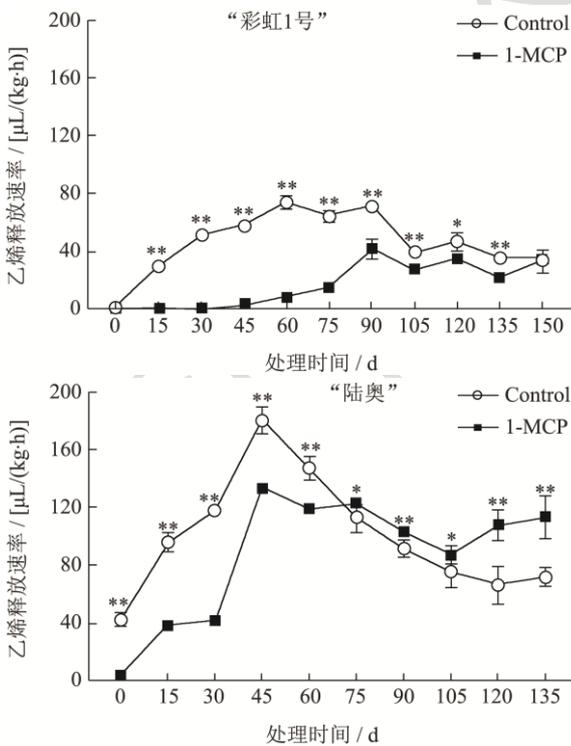


图2 “彩虹1号”和“陆奥”贮藏期间乙烯释放速率的变化  
Fig.2 Changes of ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ fruit ethylene release rate during storage

## 2.2 “彩虹1号”和“陆奥”苹果果实贮藏期间乙烯释放速率的变化

如图2所示，在贮藏期间，“彩虹1号”和“陆奥”果实的乙烯释放速率表现为先上升后下降的趋势，两种苹果经过 1-MCP 处理后的乙烯释放速率均低于未处理过的果实 ( $P < 0.01$ )。“彩虹1号”对照果实乙烯峰值出现在采后 60 d，乙烯释放速率为  $74.13 \mu\text{L}/(\text{kg h})$ ，1-MCP 处理果实乙烯峰值出现在采后 90 d，乙烯释放速率为  $41.61 \mu\text{L}/(\text{kg h})$ ，1-MCP 处理果实乙烯峰值出现时间明显晚于对照果实。“陆奥”苹果两个不同处理的乙烯峰值均出现在采后 45 d。

结果表明，经 1-MCP 处理后，“彩虹1号”苹果果实的乙烯释放速率明显降低，延缓了果实衰老。Win 等<sup>[25]</sup>研究发现，1-MCP 处理降低了果实的呼吸速率，减少了乙烯释放量，减缓了果实硬度下降速度，这与本文研究结果一致。

## 2.3 “彩虹1号”和“陆奥”苹果果实贮藏期间失重率的变化

如图3所示，苹果果实的失重率随着贮藏时间的延长而逐渐升高。“彩虹1号”果实的失重率低于“陆奥”果实，其中“陆奥”对照果实失重率最高。“陆奥”苹果 1-MCP 处理的果实失重率明显低于对照果实 ( $P < 0.01$ )。魏树伟等<sup>[26]</sup>研究发现，在不同的贮藏温度下，红富士苹果经过 1-MCP 处理后失重率均受到抑制，这与本文研究结果一致。

## 2.4 电子鼻对苹果贮藏期间主成分分析

### 2.4.1 载荷分析

从图4中可以明显的看出，“彩虹1号”和“陆奥”苹果中对第1主成分贡献率最大的是7号传感器，其次是2号传感器；对第2主成分贡献率最大的是2号传感器。结合表1可知7号传感器(W1W)对应的挥发性物质是硫化物( $\text{H}_2\text{S}$ )；2号传感器(W5S)对应的挥发性成分是氮氧化物( $\text{NO}_2$ )。结果表明，在贮藏期间， $\text{NO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{S}$ 在“彩虹1号”和“陆奥”中占比最大。朱丹实等<sup>[27]</sup>研究发现，在华富苹果中，响应氮氧化物的传感器的响应值较高，对碳氢化合物敏感的传感器的响应值变化也较为显著。徐赛等<sup>[28]</sup>在猕猴桃中也发现了同样的化合物，这与本文的研究结果一致。

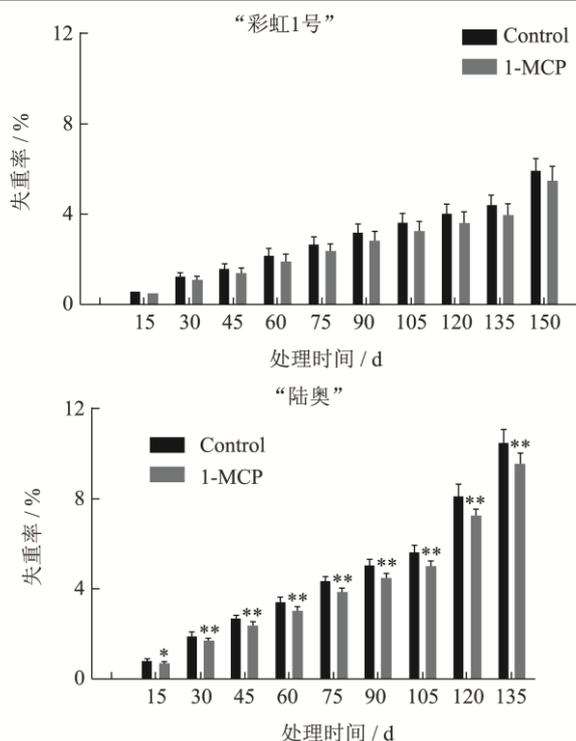


图3 “彩虹1号”和“陆奥”贮藏期间失重率变化

Fig.3 Changes of ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ fruit weightloss rate of during storage

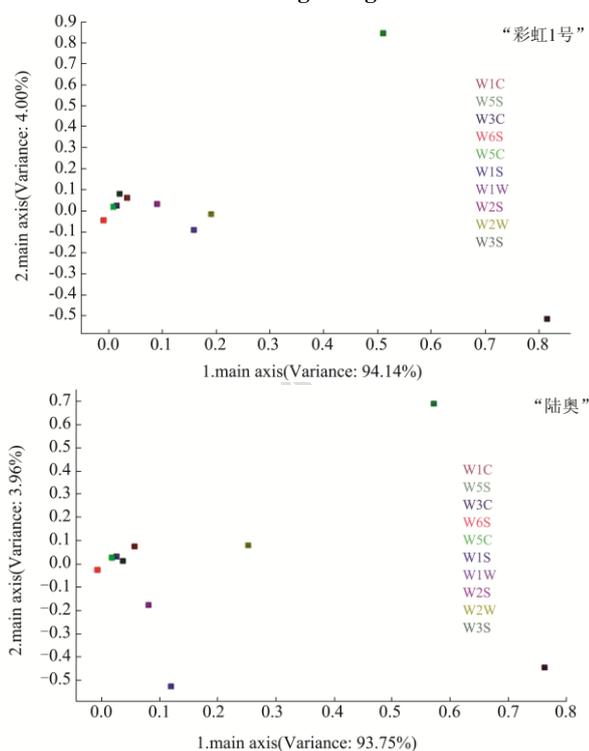


图4 “彩虹1号”和“陆奥”贮藏期间电子鼻10个不同传感器响应值载荷分析

Fig.4 Load analysis of response values of 10 different sensors in electronic nose of ‘Caihong 1’ and ‘Mutsu’ during storage

### 2.4.2 线性判别式分析不同品种贮藏期间的差异

LDA 是电子鼻中用来获取所有的传感器信息,分

析出组间差异的一种分析方法。如图5所示,“彩虹1号”1-MCP处理的果实在贮藏75d时第1主成分的贡献极大,对照果实在贮藏30d主要是第2主成分发挥作用;“陆奥”对照果实在贮藏期75d时第1和第2主成分的贡献极大。“彩虹1号”1-MCP处理45d的香气成分与对照贮藏15d的香气成分类似,1-MCP处理105d的香气成分与对照75d的香气成分类似,1-MCP处理能明显延长“彩虹1号”苹果果实的贮藏时间约30d。结果表明,1-MCP处理的“彩虹1号”果实延缓了香气成分的挥发,延长了果实的保鲜时间。但是与对照果实相比,1-MCP处理组“陆奥”果实香气成分没有显著差异。对照和1-MCP处理的“彩虹1号”果实可以用电子鼻中LDA模式识别。

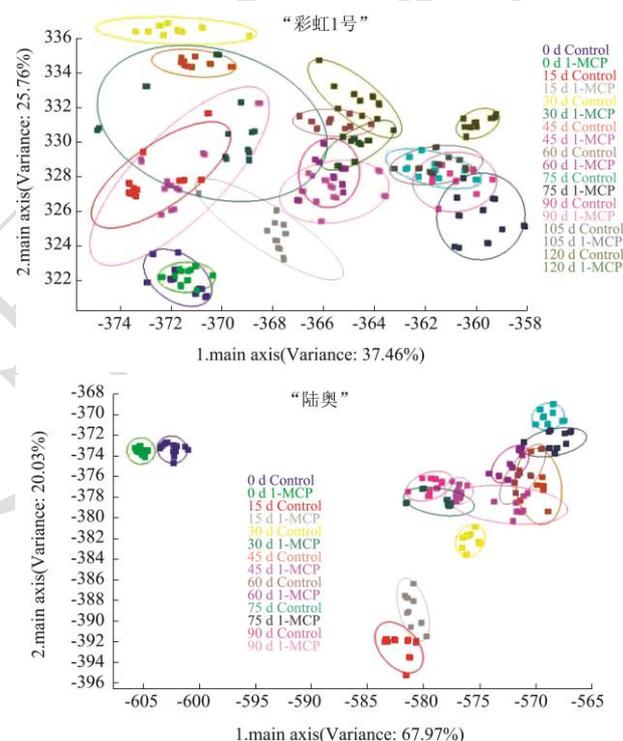
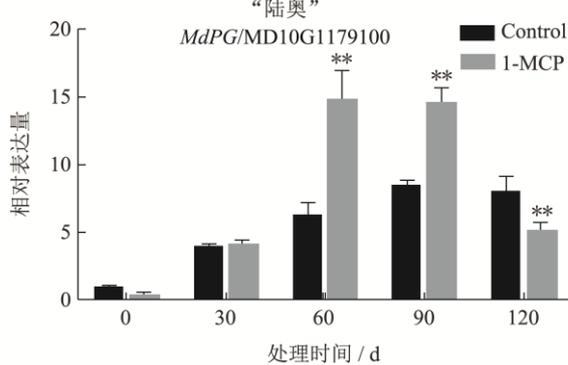
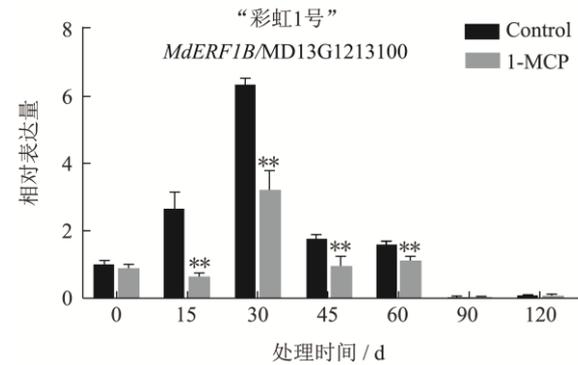
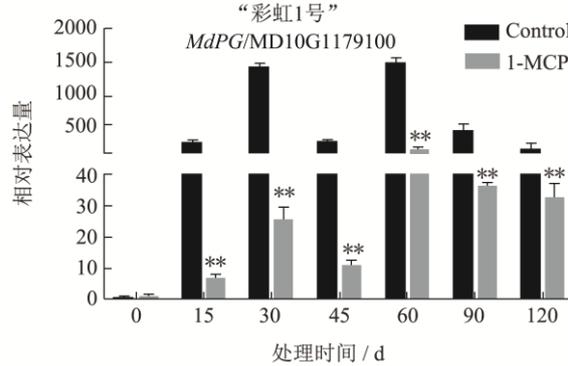
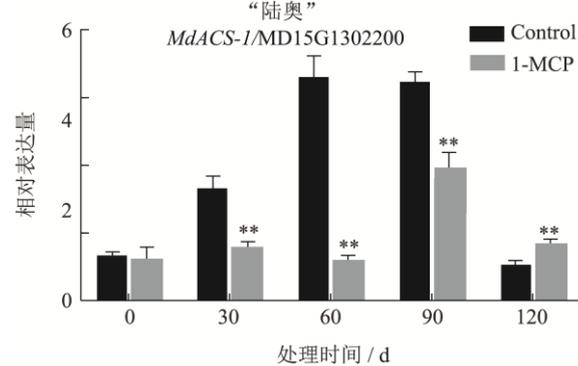
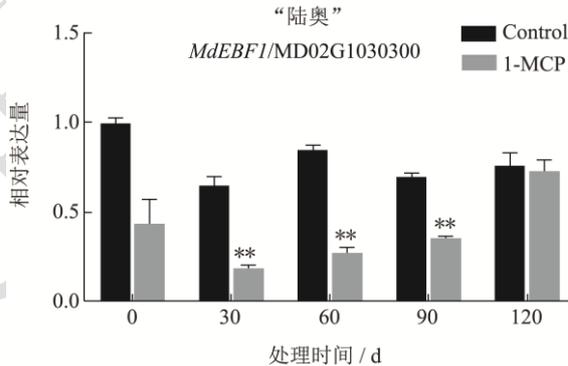
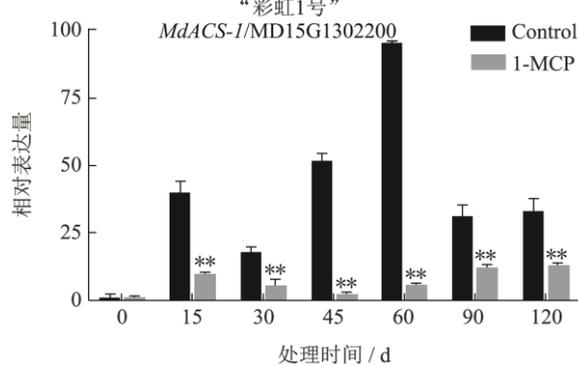
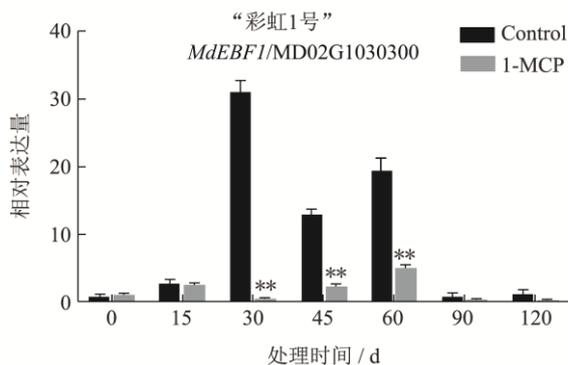
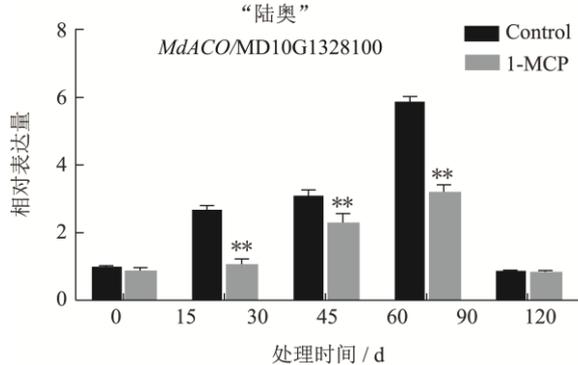
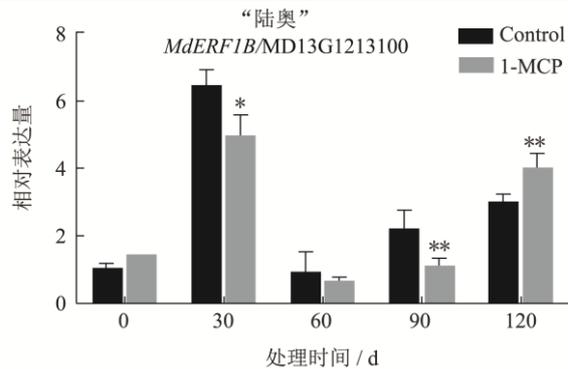
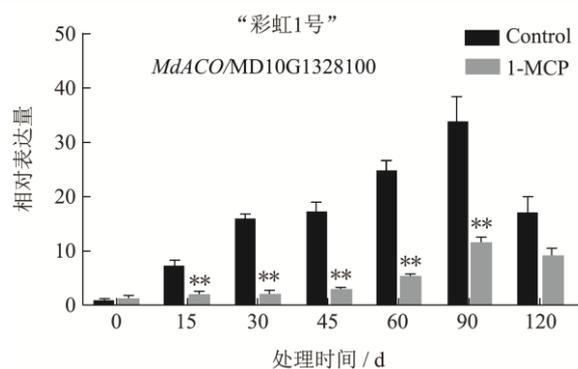


图5 不同品种贮藏期间挥发性成分LDA分析

Fig.5 LDA analysis of volatile components in different cultivars during storage

### 2.5 乙烯合成以及细胞壁相关基因表达水平

在贮藏期间,1-MCP处理抑制了两种果实的乙烯释放速率,“彩虹1号”果实的乙烯释放率低于“陆奥”果实。通过对乙烯合成基因表达量分析,在“彩虹1号”和“陆奥”1-MCP处理的果实中*MdACO*和*MdACS-1*表达水平均低于对照果实。通过对乙烯信号转导基因表达量分析,在“彩虹1号”和“陆奥”1-MCP处理的果实中*MdERF*和*MdEBF1*表达水平均低于对照果实。*MdACO*、*MdACS-1*和*MdEBF1*这三个基因在“陆奥”果实中的表达水平明显低于“彩虹1号”果实。



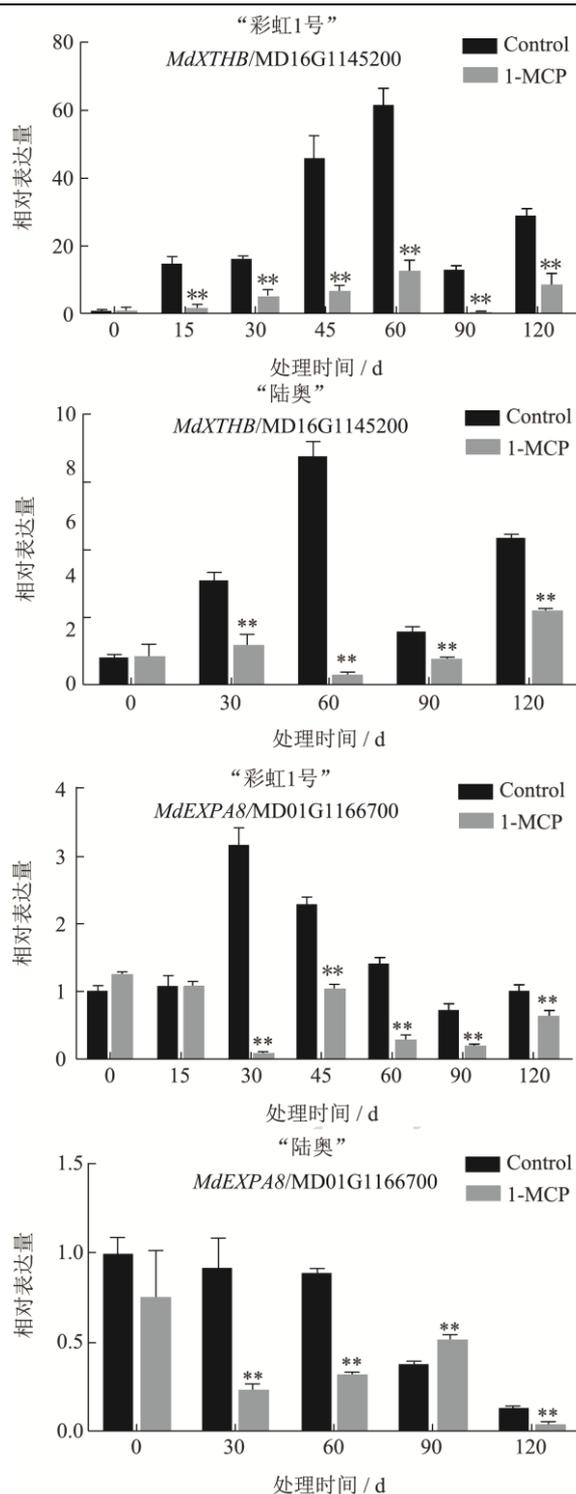


图6 1-MCP处理对“彩虹1号”和“陆奥”苹果中乙烯调控及细胞壁降解相关基因表达的影响

Fig.6 The effects of 1-MCP treatment on ethylene regulation and expression of genes related to cell wall degradation in 'Caihong 1' and 'Mutsu' apples

在贮藏期间，“彩虹1号”1-MCP处理果实硬度显著高于对照果实。“陆奥”两种处理果实之间硬度无差异。对细胞壁降解相关基因表达量分析，在“彩虹1号”经1-MCP处理的果实中，*MdXTHB*和*MdPG*

基因的表达水平均显著低于对照果实，而在“陆奥”果实中，1-MCP处理的果实中*MdPG*的表达水平高于对照果实。对细胞壁合成相关基因表达分析显示，在“彩虹1号”和“陆奥”苹果中，1-MCP处理的果实中*MdEXPA8*的表达水平均低于对照果实。*MdXTHB*、*MdPG*和*MdEXPA8*这3个细胞壁相关基因在“陆奥”果实中的表达水平明显低于“彩虹1号”果实。Li等<sup>[29]</sup>研究表明，1-MCP处理能抑制乙烯相关基因*ACS*、*ACO*的表达。Ding等<sup>[30]</sup>发现长期使用1-MCP显著抑制了*CpEBF1*的表达。这与本文研究结果一致。

### 3 结论

1-MCP处理能够延缓“彩虹1号”苹果果实的成熟衰老进程。1-MCP处理能够明显抑制“彩虹1号”苹果果实中细胞壁降解相关基因*MdXTHB*、*MdPG*和*MdEXPA8*的表达，从而延缓果实硬度下降和软化进程。同时，1-MCP处理通过抑制“彩虹1号”果实中乙烯合成基因*MdACO*、*MdACS-1*和转录因子*MdERF1*、*MdEBF1*的基因表达，降低了乙烯释放速率，维持果实较高品质。电子鼻LDA分析表明，“彩虹1号”果实中，1-MCP处理45d的挥发性物质成分与对照15d聚类，1-MCP处理105d与对照75d聚类，1-MCP处理能将“彩虹1号”苹果果实的贮藏时间延长30d左右。但1-MCP处理对“陆奥”苹果无显著影响。1-MCP对“彩虹1号”苹果的处理效果明显优于“陆奥”苹果，其对“陆奥”果实中的硬度变化及挥发性成分释放均无显著影响。但经过1-MCP处理后“陆奥”果实失重率明显低于对照果实。“彩虹1号”苹果耐储性要优于“陆奥”苹果。

### 参考文献

- [1] 严丽,李新平.苹果采后生理变化及保鲜方法研究进展[J].食品研究与开发,2007,28(2):137-139.
- [2] 郭丹,韩英群,魏鑫,等.1-MCP处理对‘岳帅’苹果冷藏软化及相关生理指标的影响[J].食品科学,2017,38(17):266-272.
- [3] 彭贞贞,叶旗慧,徐晓艳,等.1-甲基环丙烯处理对红富士苹果贮藏品质的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2020,46(1):83-92.
- [4] Abe K, Watada A E. Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables [J]. Journal of Food Science, 2010, 56(6): 1589-1592.
- [5] Szczerbanik M J, Scott K J, Paton J E, et al. Effects of polyethylene bags, ethylene absorbent and 1-methylcyclopropene on the storage of Japanese pears [J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2005,

- 80(2): 162-166.
- [6] 张银欢,耿新丽,郑贺云,等.甜瓜果实品质构成及其影响因素[J].现代农业科技,2018,10:94-95.
- [7] Sisler E C, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments [J]. *Physiologia Plantarum*, 1997, 100(3): 577-582.
- [8] 谢季云,赵晓敏,汪永琴,等.1-MCP 处理对不同采收期阿克苏红富士苹果贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(24):292-296,307.
- [9] 王云香,张亚楠,曲桂琴,等.1-MCP 处理对苹果采后常温贮藏品质的影响[J].食品科学,2016,37(16):280-285.
- [10] 曹森,马超,黄亚欣,等.1-MCP 对猕猴桃后熟品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(14):184-190.
- [11] 高启阳.钙及钙调蛋白参与番木瓜成熟衰老调控的机理研究[D].广州:华南农业大学,2019.
- [12] 李通.苹果乙烯应答因子 *ERF* 调控果实成熟过程中乙烯合成的机理研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [13] Ma M M, Yuan Y B, Cheng C X, et al. The *MdXTHB* gene is involved in fruit softening in 'Golden Del. Reinders' (*Malus pumila*) [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2021, 101(2): 564-572.
- [14] 袁晖,张利超,卜海东,等.南果梨成熟相关 *PG* 基因筛选及表达分析[J].沈阳农业大学报,2018,49(5):522-528.
- [15] 程玉豆,张亚光,关军锋,等.1-MCP 和延迟冷藏对'早红考密斯'梨货架期间品质和软化相关基因表达的影响[J].中国农业科学,2020,53(22):4658-4666.
- [16] 马宁.甘蓝型油菜株高基因定位及候选基因分析[D].咸阳:西北农林科技大学,2021.
- [17] 田义轲.苹果新品种"彩虹1号"[J].北方果树,2018,5:15.
- [18] 曲晓莲,山琳,柳玉福.青苹果-陆奥优质生产管理技术[J].农业知识,2012,29:27-28.
- [19] 贾朝爽,包熬民,王志华,等.1-MCP 对'塞外红'苹果贮藏品质的影响[J].包装工程,2019,40(19):57-65.
- [20] Wang Y, Zhang X F, Yang S L, et al. Lignin involvement in programmed changes in peach-fruit texture indicated by metabolite and transcriptome analyses [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(48): 12627-12640.
- [21] Livak K J, Schmittgen T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta CT}$  method [J]. *Methods: A Companion to Methods in Enzymology*, 2001, 25(4): 402-408.
- [22] 冯云霄,何近刚,程玉豆,等.1-MCP 处理对早熟苹果常温贮藏生理及品质的影响[J].现代食品科技,2019,35(12):130-136,101.
- [23] Niu J P, Hou Z, Ou Z F, et al. Comparative study of effects of resveratrol, 1-MCP and DPA treatments on postharvest quality and superficial scald of 'Starkrimson' apple [J]. *Scientia Horticulturate*, 2018, 240: 516-521.
- [24] 李江阔,林洋,张鹏,等.1-甲基环丙烯处理时间对苹果贮藏效果的影响[J].农业机械学报,2013,44(8):190-194.
- [25] Win N M, Yoo J, Kwon S I, et al. Characterization of fruit quality attributes and cell wall metabolism in 1-methylcyclopropene (1-MCP)-treated 'Summer King' and 'Green Ball' apples during cold storage [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 1513.
- [26] 魏树伟,王杰军,王金政,等.套袋和 1-MCP 处理对红富士苹果贮藏过程中失重率的影响[J].山东农业科学,2010,11:87-88.
- [27] 朱丹实,任晓俊,魏立威,等.华富苹果常温贮藏过程中感官品质及挥发性风味物质变化[J].食品工业科技,2019,40(20): 278-284.
- [28] 徐赛,陆华忠,王亚娟,等.基于电子鼻与物理特征融合的猕猴桃贮藏时间识别方法[J].食品科技,2016,41(3):292-297.
- [29] Li L, Shuai L, Sun J, et al. The role of 1-methylcyclopropene in the regulation of ethylene biosynthesis and ethylene receptor gene expression in *mangifera indica* L. (mango fruit) [J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8: 1284-1294.
- [30] Ding X C, Zhu X Y, Ye L L, et al. The interaction of *CpEBF1* with *CpMADSs* is involved in cell wall degradation during papaya fruit ripening [J]. *Horticulture Research*, 2019, 6(1): 13.