

# ‘泰山早霞’苹果采后 1-甲基环丙烯处理对其软化及相关基因表达的影响

刘美艳<sup>1</sup>, 魏景利<sup>2</sup>, 刘金<sup>1</sup>, 房龙<sup>1</sup>, 宋杨<sup>1</sup>, 崔美<sup>1</sup>, 王传增<sup>1</sup>,  
陈学森<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> 山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; <sup>2</sup> 山东省冠县国有毛白杨林场, 山东冠县 252500)

**摘要:** 以‘泰山早霞’苹果成熟的果实为试材, 于采收当天进行 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理, 研究其对果实软化及相关基因表达的影响。结果表明, ①1-MCP 处理的果实在短期贮藏期间硬度均明显高于对照。②1-MCP 处理后, 乙烯释放速率、*PG*、*PME*、 $\beta$ -*Gal*、 $\alpha$ -*L-Af* 及 *LOX* 等细胞壁酶基因的表达均被明显抑制, 在整个试验期内均有明显下降, 尤其是在处理后 1 d, 就分别比各自的对照下降了 72.0%、72.1%、87.5%、81.8%、90.2% 和 16.7%, 而 1-MCP 对 *AM* 和 *XET* 基因的表达没有明显作用。上述结果表明, 苹果‘泰山早霞’品种属乙烯极敏感型, 1-MCP 对于延缓其果实软化具有明显作用, 其果实软化可能是 *PG*、*PME*、 $\beta$ -*Gal*、 $\alpha$ -*L-Af* 及 *LOX* 等多种基因协同作用的结果。

**关键词:** 苹果; 早熟; 贮藏; 软化; 1-MCP; 细胞壁酶; 基因; 表达

**中图分类号:** S 661.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2012) 05-0845-08

## The Regulation of 1-methylcyclopropene on Softening and Expression of Relevant Genes in ‘Taishan Zaoxia’ Apple

LIU Mei-yan<sup>1</sup>, WEI Jing-li<sup>2</sup>, LIU Jin<sup>1</sup>, FANG Long<sup>1</sup>, SONG Yang<sup>1</sup>, CUI Mei<sup>1</sup>, WANG Chuan-zeng<sup>1</sup>,  
and CHEN Xue-sen<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; <sup>2</sup> Guanxian State Forest Farm of *Populus tomentosa*, Guanxian, Shandong 252500, China)

**Abstract:** In order to study the molecular softening mechanism of ‘Taishan Zaoxia’ apple, the effect of 1-MCP on softening and expressions of genes related to softening in ‘Taishan Zaoxia’ were investigated. The results showed that: ①The firmness of ‘Taishan Zaoxia’ fruit treated with 1-MCP were higher than the control fruit during the storage after harvest. ②Ethylene production rate and the expression of *PG*, *PME*,  $\beta$ -*Gal*,  $\alpha$ -*L-Af* and *LOX* genes of ‘Taishan Zaoxia’ fruit were inhibited significantly throughout the whole experimental period after treated with 1-MCP, especially in the first day after treatment. They decreased 72.0%, 72.1%, 87.5%, 81.8%, 90.2% and 16.7% than control respectively. But 1-MCP had no effect on expression of *AM* and *XET* genes. These results indicated that ‘Taishan Zaoxia’ apple variety was very sensitive to ethylene and 1-MCP could delay softening of ‘Taishan Zaoxia’ fruit obviously; The fruit

收稿日期: 2011-12-18; 修回日期: 2012-04-23

基金项目: 国家重点基础研究发展计划课题 (2011CB100606); 国家自然科学基金项目 (31171932)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: chenxs@sdau.edu.cn; Tel: 0538-8249338)

softening may be caused by synergistic effect of *PG*, *PME*,  $\beta$ -*Gal*,  $\alpha$ -*L-Af* and *LOX* genes.

**Key words:** apple; early-maturing; storage; softening; 1-MCP; cell wall enzyme; gene; express

‘泰山早霞’是山东农业大学选育成的早熟苹果新品种(陈学森等, 2008), 具有成熟早, 外观美及品质优等特点, 其综合经济性状优于‘早捷’、‘贝拉’及‘辽伏’等(王海波等, 2007a, 2007b)早熟苹果品种。但它依然存在果实容易软化变绵这一早熟苹果的共性问题, 尤其是当果实着色面达 2/3, 成熟度达九、十成时采收, 在室温条件下存放 3~5 d 就软化变绵, 甚至爆裂, 具有其独特性。因此, 深入研究早熟苹果品种软化机理, 不仅有助于丰富园艺作物果实品质形成的理论体系, 而且对‘泰山早霞’苹果的品质调控也具有重要意义。

多数研究者认为, 果实软化是由于多种细胞壁降解酶水解细胞壁, 造成细胞间连接减少、细胞离散所致(Brummell, 2006), 不同果树及同一果树果实的不同发育时期控制果实软化的关键酶存在差异。Ben 等(1993)认为多聚半乳糖醛酸酶(PG)及其引起的梨果胶组成的变化是细胞间粘合力下降、果实软化的主要原因。在猕猴桃上, Brummell 等(2004)研究发现, 桃纤维素酶使纤维素降解, 最终导致细胞壁的解体及果实软化, 而王贵禧等(1994)认为淀粉酶(AM)活性的增高及淀粉的降解是猕猴桃软化的关键所在; ‘金星’苹果在后熟软化过程中,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (在 1 °C 提取) 溶性果胶多糖侧链中阿拉伯糖和半乳糖的解离特性, 表明果实的软化除了 PG 之外, 还有  $\beta$ -D-半乳糖苷酶、 $\alpha$ -L-阿拉伯呋喃糖苷酶等重要酶的参与(金昌海等, 2006a)。 $\beta$ -D-半乳糖苷酶在果实软化中的重要作用已在西瓜、苹果等中得到证实(Ranwala et al., 1992; Ross et al., 1994)。近年来的研究表明,  $\alpha$ -L-阿拉伯呋喃糖苷酶在日本梨(Tateishi et al., 2005)、番茄(Sozzi et al., 2002)和桃(Brummell et al., 2004; 金昌海等, 2006b)等果实成熟过程中的软化有重要作用。魏建梅(2009)以贮藏性和质地不同的苹果品种‘富士’、‘金冠’和‘嘎啦’为试材, 系统研究了果实发育、成熟和后熟软化过程中糖、淀粉、细胞壁物质等成分含量、细胞壁酶、细胞膜酶及胞内酶活性变化及其关键酶基因的表达特性, 并探讨了采后乙烯和 0 °C 低温对果实软化的调控效应, 其结果进一步证实了细胞壁降解在苹果果实软化过程中起着核心作用, 糖苷酶类在苹果果实质地疏松和软化中占有重要地位, 且 PME 的作用强于 PG。刘超超等(2011)对‘泰山早霞’等 3 个早熟苹果品种的研究结果表明, 果实发育后期乙烯释放高峰的出现有可能是导致泰山早霞 PG 活性上升并出现活性高峰及硬度快速下降的关键原因。

本试验中进一步以‘泰山早霞’苹果成熟果实为试材, 探讨了 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理对其软化及相关基因表达的影响, 旨在为探讨果实的软化与调控机理提供基本资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理

试验于 2009—2011 年在山东农业大学作物生物学国家重点实验室进行。供试材料‘泰山早霞’苹果于 2011 年 7 月 4 日采自山东省聊城市冠县泰山早霞示范基地, 果实八成熟, 早于商业采收期 5 d。于采收当天选择果形端正, 大小、成熟度一致, 无病虫害及机械损伤的果实进行处理。处理组用 1-MCP (山东营养源食品科技有限公司产品, 含量为 2%) 处理, 将 1-MCP 试剂滴加在置于 25 L 的密闭容器内的塑料薄膜上, 浓度为  $25 \mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 于 25 °C 室温下密封 12 h, 然后通风。对照组不处理, 置于 25 °C 室温中。处理组和对照组分别设 3 次重复, 每个重复 40 个果实。每天取样测定各指标。

1.2 果实硬度和乙烯释放速率的测定

果实硬度采用马庆华等（2011）的方法，用英国 Stable Micro Systems 公司生产的 TA.XT plus 质构仪，采用 P/2n 针状探头(直径 2 mm)，测前速度  $2\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ，贯入速度  $1\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ，测后速度  $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ，穿刺深度为 5 mm，最小感知力为 10 g。每次测定随机取 3 个果实，在阴阳两面测定，取平均值。

乙烯释放速率测定采用气相色谱仪法，用岛津 GC-9A 型气相色谱仪测定。将 5 个果实放在玻璃容器内，25 ℃密封 3 h 后用注射器抽取气体进行。色谱条件：固定相 GDX-502，载气  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  流速  $40\text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ，氢火焰离子检测器，分离柱温度 70 ℃，气化室和检测器温度 120 ℃。气体样品进样量 1 mL，重复 3 次取平均值。

1.3 基因的实时荧光定量表达

果肉组织总 RNA 的提取采用改良的 CTAB 法（Chang et al., 1993），采用 Fermentas 公司生产的 ReverAid First Strand Cdna Synthesis Kit 试剂盒合成 cDNA，- 20 ℃保存备用。

使用 iCycler iQ5 实时定量 PCR 仪器（Bio-Rad，美国）开展 qPCR 检测。反应体系为 20.0  $\mu\text{L}$ ，含有 10.0  $\mu\text{L}$  Maxima SYBR Green/Fluorescein Qpcr Master Mix（Fementas），1.0  $\mu\text{L}$  cDNA 模板（反转录产物稀释 4 倍），7  $\mu\text{L}$  ddH<sub>2</sub>O，上、下游引物各 1  $\mu\text{L}$ （浓度  $5\text{ }\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）。运行程序为：95 ℃预变性 3 min；95 ℃变性 30 s，55 ~ 60 ℃退火 30 s，72 ℃延伸 30 s 40 个循环，72 ℃延伸 3 min。每个样品 3 次重复。以苹果 *Actin* 基因作为内参，设计特异性引物（表 1）。

采用  $2^{-\Delta\Delta\text{CT}}$  公式计算基因相对表达量，其中  $\Delta\Delta\text{CT} = (\text{CT}, \text{Target} - \text{CT}, \text{Actin})_{\text{待测样本}} - (\text{CT}, \text{Target} - \text{CT}, \text{Actin})_{\text{校准样本}}$ ，CT, Target 和 CT, Actin 分别是目标基因和内参基因的 CT 值（Livak & Schmitten, 2001）。将试验中某个样本作为校准样本，将其值转换成 1，将其他样品与之比较，即获得相对表达值。

表 1 苹果果实软化相关酶基因的 Real-time 荧光定量 PCR 扩增引物设计  
Table 1 Primers set for the qPCR amplification of softening-related enzyme genes in apple fruit

基因名称 Gene name	引物序列（5'-3'） Primer sequence（5'-3'）
<i>PG</i>	S5' GTAAGTGCACCAAGGACA 3' A5' TTCTTACCACCAAGTTATT 3'
<i>PME</i>	S5' GCTGCCGCCGTGTTCCAAAC 3' A5' CCGAGGGAGAACGCCTGTCTG 3'
<i>β-Gal</i>	S5' AAGAACGGAAGTCCCCAC 3' A5' TCCAATGACCCATACACGG 3'
<i>α-L-Af</i>	S5' AGAAACGCCTATCCTGAC 3' A5' CACGGCATACTCGCTCAC 3'
<i>LOX</i>	S5' AGCGACAAGAAAGAAGAAC 3' A5' TACTGACCGTAGTTGATTGC 3'
<i>AM</i>	S5' ACGAACATCAGCCACAGGAC 3' A5' CCGAACAACTCAGAAAACG 3'
<i>XET</i>	S5' CACACGCGGCGGACTTGTGAA 3' A5' GGAAATCCTTGCGGGAAGCGC 3'
<i>Actin</i>	S5' TGACCGAATGAGCAAGGAAATTACT 3' A5' TACTCAGCTTTGGCAATCCACATC 3'

注：PG：多聚半乳糖醛酸酶（PG）基因；PME：果胶甲酯酶（PME）基因；β-Gal：β - 半乳糖苷酶（β-Gal）基因；α-L-Af：α - L - 阿拉伯呋喃糖苷酶（α-L-Af）基因；XET：葡聚糖内糖基转移酶（XET）基因；AM：淀粉酶（AM）基因；LOX：脂氧合酶（LOX）基因；Actin：内参基因。

Note: PG: Polygalacturonase (PG) gene; PME: Pectinesterase (PME) gene; β-Gal: β-galactosidase (β-Gal) gene; α-L-Af: α-L-arabinofuranosidase gene (α-L-Af); XET: Xyloglucan endotransglycosylase (XET) gene; AM: Amylase (AM) gene; LOX: Lipoxigenase (LOX) gene; Actin: Reference gene.

## 2 结果与分析

### 2.1 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果硬度的影响

1-MCP 处理的‘泰山早霞’与对照果实硬度测定结果见图 1。1-MCP 处理虽然没有改变果实硬度下降的趋势，但 1-MCP 处理的果实硬度高于对照，可以看出 1-MCP 能够有效抑制果实软化，延长了果实的货架期。处理后 5 d，对照果实已有爆裂现象；处理后 7 d，对照果实已软化变绵，无法进行 RNA 提取等试验操作（图 2）。

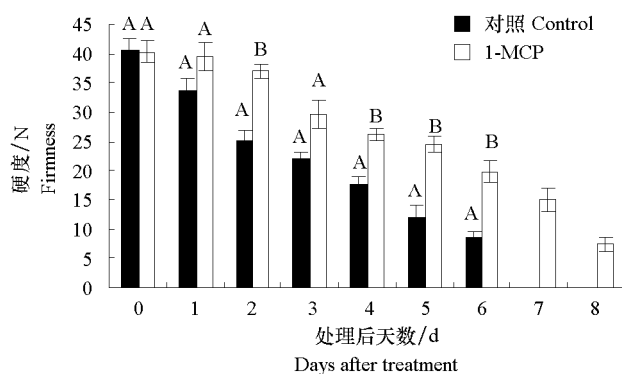


图 1 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果果实硬度的影响

用 SPASS 分析处理和对照果实间的硬度差异。不同字母表示相同时间在  $P=0.01$  水平上有极显著差异。

Fig. 1 Effect of 1-MCP on firmness of ‘Taishan Zaoxia’ apple fruit

Differences were analyzed by SPASS. Values with the different letters have very significant differences of fruit firmness at  $P=0.01$  level between the fruits treated and the control.



图 2 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果果实外观的影响

A: 7 月 4 日，处理后 0 d 的果实。B: 7 月 9 日，处理后 5 d 的果实。

Fig. 2 Effects of 1-MCP on appearance of ‘Taishan Zaoxia’ apple fruit

A: Fruits of July 4, 0 d after treatment; B: Fruits of July 9, 5 d after treatment.

### 2.2 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果乙烯释放速率的影响

1-MCP 处理的‘泰山早霞’与对照果实乙烯释放测定结果见图 3。由图 3 可以看出，在采后整个贮藏期间，泰山早霞苹果对照果实的乙烯释放总体呈下降趋势，而 1-MCP 处理的果实乙烯释放明显受到抑制，处理后 1 d 即比对照果降低了 72%，2 d 下降 75%，与对照果实有极显著差异，之后乙烯释放逐渐增加，表明‘泰山早霞’苹果果实对 1-MCP 处理极为敏感。

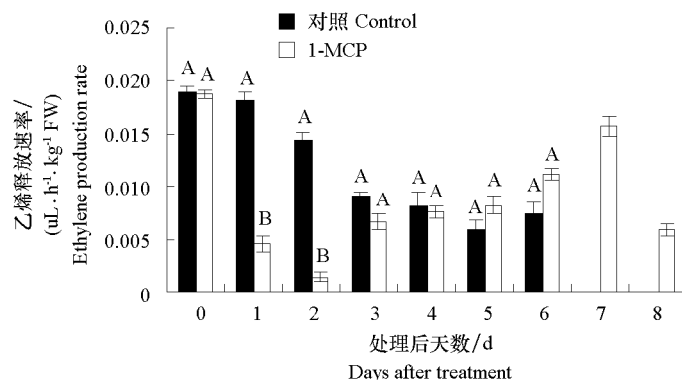


图 3 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果果实乙烯释放速率的影响

用 SPASS 分析处理与对照果实间的乙烯释放速率差异, 不同字母表示相同时间处理和对照果实间在  $P=0.01$  水平上有极显著差异。

Fig. 3 Effects of 1-MCP on ethylene production rate in ‘Taishan Zaoxia’ apple fruit

Differences were analyzed by SPASS. Values with the different letters have very significant differences of ethylene production rate at  $P=0.01$  level between the fruits treated and the control.

### 2.3 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果果实软化相关基因表达量的影响

由图 4 和图 5 可以看出, ‘泰山早霞’对照果实采后 *PG*、*β-Gal*、*α-L-Af* 及 *AM* 等基因表达强度均呈下降趋势, 而 *PME*、*LOX* 及 *XET* 等基因呈先上升后下降的趋势; 1-MCP 处理后, *PG*、*PME*、*β-Gal*、*α-L-Af* 及 *LOX* 等细胞壁酶基因的表达均被明显抑制, 基因表达量在整个试验期内均有明显下降, 尤其是在处理后 1 d, 表达量就分别比对照下降了 72.1%、87.5%、81.8%、90.2%和 16.7%, 而 1-MCP 对 *AM* 和 *XET* 的表达没有明显抑制作用。

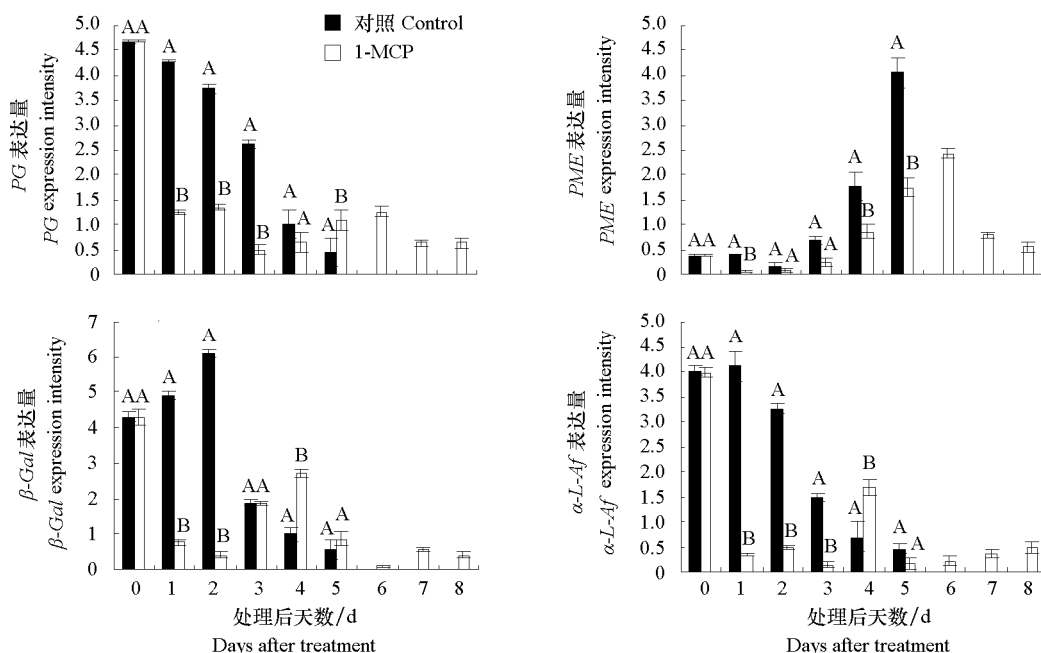


图 4 1-MCP 处理对‘泰山早霞’苹果果实软化相关基因 *PG*、*PME*、*β-Gal* 及 *α-L-Af* 表达量的影响

由 SPASS 分析处理和对照果实软化基因表达量的差异。不同字母表示相同时间处理和对照果实间在  $P=0.01$  水平上有极显著性差异。

Fig. 4 Effects of 1-MCP on softening relevant genes *PG*, *PME*, *β-Gal*, and *α-L-Af* expression in ‘Taishan Zaoxia’ apple fruit

Differences were analyzed by SPASS. Values with the different letters have very significant differences of gene expression at  $P=0.01$  level between the fruits treated and the control.

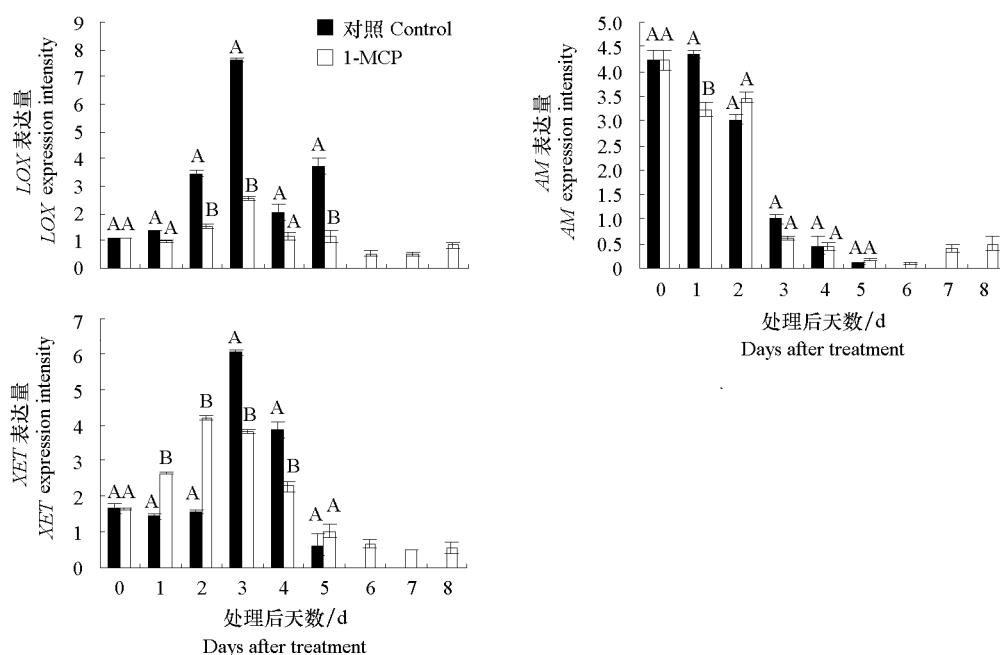


图5 1-MCP处理对‘泰山早霞’苹果果实软化相关基因 *LOX*、*AM* 和 *XET* 表达量的影响

由 SPASS 分析处理和对照果实软化基因表达量的差异。不同字母表示相同时间处理和对照果实在  $P=0.01$  水平上有极显著差异。

Fig. 5 Effects of 1-MCP on softening relevant genes *LOX*, *AM* and *XET* expression in ‘Taishan Zaoxia’ apple fruit

Differences were analyzed by SPASS. Values with the different letters have very significant differences of gene expression at  $P=0.01$  level between the fruits treated and the control.

### 3 讨论

果实的成熟软化被认为是发生在果实发育后期一系列复杂生理生化反应过程,不同树种及同一树种不同品种(基因型)间的软化机理存在明显差异。因此,进一步探讨同一树种不同品种果实成熟软化差异的生理和分子机制,对果实质地品质调控具有重要意义。魏建梅(2009)研究发现,在常温下贮藏 70 d 后,耐贮苹果品种‘富士’果实硬度的下降幅度仅为 25%,果实硬脆,而不耐贮的‘金冠’品种果实硬度下降幅度高达 59.1%,果实已软化变绵;两品种 *PG*、 $\beta$ -*Gal* 及  $\alpha$ -*L-Af* 等细胞壁酶基因的表达量总体均呈逐渐增加的趋势,但‘金冠’均明显高于‘富士’;1-MCP 处理后,‘金冠’果实的硬度基本恒定,极显著地抑制了果实软化,而‘富士’与其对照无明显变化,果实硬度一直保持在 78.6 N;1-MCP 显著抑制了‘金冠’果实 *PG*、 $\beta$ -*Gal* 及  $\alpha$ -*L-Af* 等细胞壁酶基因的表达,而在‘富士’上没有明显变化。上述研究结果表明,不耐贮的‘金冠’品种对乙烯的敏感性远大于耐贮品种‘富士’。进一步比较不同细胞壁酶的作用效果发现, $\beta$ -*Gal* 及  $\alpha$ -*L-Af* 促使果实软化的作用强于 *PG*、*PME*,而 *PME* 作用强于 *PG*。刘超超等(2011)研究发现,‘泰山早霞’苹果果实发育期间的果实硬度呈下降趋势,在花后 70~75 d 硬度快速下降,而乙烯释放和 *PG* 酶活性呈缓慢上升趋势,在花后 75 d 分别出现乙烯释放高峰和 *PG* 酶活性高峰,认为果实发育后期乙烯释放高峰的出现有可能是导致‘泰山早霞’*PG* 酶活性上升及硬度快速下降的关键原因。

本研究中发现,在采后短期的贮藏期间,‘泰山早霞’对照果实硬度、*PG*、 $\beta$ -*Gal*、 $\alpha$ -*L-Af* 与 *AM* 等细胞壁酶基因表达量以及乙烯释放速率均呈下降趋势,这实际上是果实发育后期乙烯释放高峰过后各项生理指标下降的延续,是早衰的特征。与‘金冠’和‘富士’细胞壁酶基因表达量总体均呈逐渐增加的趋势明显不同;1-MCP 处理后,乙烯释放、*PG*、*PME*、 $\beta$ -*Gal*、 $\alpha$ -*L-Af* 及 *LOX* 等细胞

壁酶基因的表达均被明显抑制, 乙烯释放速率及各基因表达量在整个试验期内均有明显下降, 尤其是在处理后 1 d, 乙烯释放速率、*PG*、*PME*、 $\beta$ -*Gal*、 $\alpha$ -*L-Af* 及 *LOX* 等基因表达量就分别比各自的对照下降了 72.0%、72.1%、87.5%、81.8%、90.2%和 16.7%, 而 1-MCP 对 *AM* 和 *XET* 基因的表达没有明显作用。由于乙烯释放及细胞壁酶基因的表达被明显抑制, 1-MCP 处理虽然没有改变果实硬度下降的趋势, 但 1-MCP 处理的果实每个时期的果实硬度均明显高于对照, 说明 1-MCP 能够有效抑制果实软化, 延长了果实的货架期。上述结果表明, 一方面 ‘泰山早霞’ 苹果品种对乙烯的敏感性高于 ‘金冠’ 和 ‘富士’, 属乙烯极敏感型, 另一方面 ‘泰山早霞’ 苹果果实的软化可能是 *PG*、*PME*、 $\beta$ -*Gal*、 $\alpha$ -*L-Af* 及 *LOX* 等多种基因同步、协同作用的结果。因此, 进一步探讨 ‘泰山早霞’ 苹果乙烯信号传递及其对细胞壁酶基因的调控网络, 是今后研究的重点和切入点。

## References

- Ben Arie R, Kisler N, Frenkel C. 1993. Degradation and solubilization of pectin by  $\beta$ -galactosidases purified from avocadosocarp. *Plant Physiol*, 87: 279 – 285.
- Brummell D A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33: 103 – 119.
- Brummell D A, Dalcin V, Crisosto C H, Labavitch J M. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2029 – 2039.
- Chang S, Puryear J, Cairney J. 1993. A simple and sufficient method for isolating RNA from pine trees. *Plant Molecular Biology Reporter*, 11: 113 – 116.
- Chen Xue-sen, Xin Pei-gang, Zhang Tai-yan, Zhang Yan-min, Peng Fu-tian, Zhou Chao-hua, Jiang Yuan-mao, Chen Xiao-liu, Wang Hai-bo. 2008. A new very early-ripening apple cultivar ‘Taishan Zaoxia’. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (1): 148. (in Chinese)
- 陈学森, 辛培刚, 张太岩, 张艳敏, 彭福田, 周朝华, 姜远茂, 陈晓流, 王海波. 2008. 极早熟苹果新品种 ‘泰山早霞’. *园艺学报*, 35 (1): 148.
- Jin Chang-hai, Mizuno Masashi, Kan Juan, Suo Biao, Wang Zhi-jun, Tsuchida Hironobu. 2006a. Degradation of cell wall polysaccharides during postharvest fruit ripening and softening of different apple varieties. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 32 (6): 617 – 626 (in Chinese)
- 金昌海, 水野雅史, 阚娟, 索标, 汪志君, 土田广信. 2006a. 不同品种苹果采后后熟软化过程中细胞壁多糖的降解. *植物生理与分子生物学报*, 32 (6): 617 – 626.
- Jin Chang-hai, Kan Juan, Suo Biao, Wang Zhi-jun, Lu Zhao-xin, Yu Zhi-fang. 2006b. Changes of  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase activity and relevant factors of ethylene biosynthesis during peach ripening and softening. *Food Sci*, 27 (1): 61 – 64. (in Chinese)
- 金昌海, 阚娟, 索标, 汪志君, 陆兆新, 郁志芳. 2006b. 桃果实成熟软化过程中  $\alpha$ -L-阿拉伯呋喃糖苷酶活性和乙烯合成相关因子的变化. *食品科学*, 27 (1): 61 – 64.
- Livak J, Schmitt T D. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta CT}$  method. *Methods*, 25: 402 – 408.
- Liu Chao-chao, Wei Jing-li, Xu Yu-ting, Jiao Qi-qing, Sun Hai-bing, Wang Chuan-zeng, Chen Xue-shen. 2011. Preliminary study on firmness and related physiological indices of three early-ripening apple cultivar during late development of the fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (1): 133 – 138. (in Chinese)
- 刘超超, 魏景利, 徐玉亭, 焦其庆, 孙海兵, 王传增, 陈学森. 2011. 苹果 3 个早熟品种果实发育后期硬度及其相关生理指标的初步研究. *园艺学报*, 38 (1): 133 – 138.
- Ma Qing-hua, Wang Gui-xi, Liang Li-song. 2011. Establishment of the detecting method on the fruit texture of Dongzao by puncture test. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (6): 1210 – 1217. (in Chinese)
- 马庆华, 王贵禧, 梁丽宋. 2011. 质构仪穿刺实验检测冬枣质地品质方法的建立. *中国农业科学*, 44 (6): 1210 – 1217.
- Ranwala A P, Suematsu C, Masuda H. 1992. The role of  $\beta$ -galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. *Plant Physiol*, 100: 1318 – 1325.

- Ross G S, Wegrzyn T F, MacRae E A, Redgwell R J. 1994. Apple  $\beta$ -galactosidases: Activity against cell wall polysaccharides and characterization of a related cDNA clone. *Plant Physiol*, 106: 521 - 528.
- Sozzi G O, Frascina A A, Navarro A A, Cascone O, Greve L C, Labavitch J M. 2002.  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase activity during development and ripening of normal and ACC synthase antisense tomato fruit. *HortScience*, 37: 564 - 566.
- Tateishi A, Mori H, Watari J, Nagashima K, Yamaki S, Inoue H. 2005. Isolation, characterization, and cloning of alpha-L-arabinofuranosidase expressed during fruit ripening of Japanese pear. *Plant Physiol*, 38 (3): 1653 - 1664.
- Wang Gui-xi, Han Ya-shan, Yu Liang. 1994. The relationship between amylase activity and softening of kiwifruit after harvest. *Acta Horticulturae Sinica*, 21 (4): 329 - 333. (in Chinese)
- 王贵禧, 韩雅珊, 于 梁. 1994. 猕猴桃总淀粉酶活性与果实软化的关系. *园艺学报*, 21 (4): 329 - 333.
- Wang Hai-bo, Chen Xue-sen, Xin Pei-gang, Feng Tao, Shi Jun, Ci Zhi-juan. 2007a. GC-MS analysis of volatile components in several early apple cultivars. *Journal of Fruit Science*, 24 (1): 11 - 15. (in Chinese)
- 王海波, 陈学森, 辛培刚, 冯 涛, 石 俊, 慈志娟. 2007a. 几个早熟苹果品种香气成分的 GC-MS 分析. *果树学报*, 24 (1): 11 - 15.
- Wang Hai-bo, Chen Xue-sen, Xin Pei-gang, Zhang Xiao-yan, Ci Zhi-juan, Shi Jun, Zhang Hong. 2007b. Study on sugar and acid constituents in several early apple cultivars and evaluation of their flavor quality. *Journal of Fruit Science*, 24 (4): 513 - 516. (in Chinese)
- 王海波, 陈学森, 辛培刚, 张小燕, 慈志娟, 石 俊, 张 红. 2007b. 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价. *果树学报*, 24 (4): 513 - 516.
- Wei Jian-mei. 2009. Study on physiological and molecular mechanism of fruit texture development and post-harvest regulation of apple (*Malus domestica* Borkh.) [Ph. D. Dissertation]. Yangling: Northwest Agricultural and Forest University. (in Chinese)
- 魏建梅. 2009. 苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 果实质地品质发育及采后调控的生理和分子基础[学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.

## 征 订

# 《新编拉汉英植物名称》

本书收集具有经济价值和学术价值或通俗常见的种子植物、蕨类植物、苔藓植物、藻类植物、真菌、地衣名称 55 800 条。每种植物名称有拉、汉、英三种文字对照,按拉丁文字母顺序排列。书后附有英文俗名和汉名索引。本书可供农、林、医药、环境保护等学科的管理机构、科研单位、大学中的科技人员以及生物工程、植物检疫、花卉园艺、新闻出版、旅游、外贸等专业的技术人员使用,也是各类图书馆典藏的重要工具书。定价:185 元(含邮费)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编 100081。

# 《中国蔬菜品种志》

本书由中国农业科学院蔬菜花卉研究所主编,已于 2002 年 9 月出版发行。全书分上、下卷,1 ~ 6 章为上卷,包括根菜类、白菜类、芥菜类、甘蓝类、绿叶菜类及葱蒜类,计 2 263 个品种,1 347 页;7 ~ 12 章为下卷,包括瓜类、茄果类、豆类、薯芋类、水生蔬菜类和多年生蔬菜类,计 2 550 个品种,1 177 页。入志的品种中,地方品种占 90%以上,少量在全国栽培时间较长、种植面积较大的一代杂种也选入其中。本书较全面系统而又有重点地反映了中国丰富的蔬菜品种资源概貌、研究成果及育种水平,可供蔬菜科研、教学、生产及种子公司、农业行政单位的人员参考。本书出版后受到读者普遍好评,现尚有少量存书,特以优惠价格 490 元(上、下卷)提供给读者(原价 980 元)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编 100081。