

# 柿果实采后软化中 PG 酶活性及其基因 *DkPGI* 的表达

姜妮娜, 饶景萍\*, 付润山, 索江涛

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 为了进一步探索多聚半乳糖醛酸酶 (PG) 在柿 (*Diospyros kaki* L.) 采后软化中的分子调控机制, 应用实时荧光定量 PCR 技术和 DNS 比色法检测常温下丙烯和 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理 ‘富平尖柿’ 果实中 PG 基因 *DkPGI* 的表达量和 PG 酶活性的变化。结果显示, 随着柿果实成熟软化, *DkPGI* 基因转录水平呈先上升后下降的趋势, 其中丙烯处理 4 d 出现表达高峰, 比对照提前 12 d 且峰值极显著高于对照, 而 1-MCP 处理的果实中的表达高峰出现在处理后 28 d, 比对照推迟 12 d 峰值极显著低于对照。丙烯处理果实 PG 酶活性迅速增加, 活性峰与 *DkPGI* 表达高峰出现在同一天, 1-MCP 处理的果实 PG 酶活性明显降低, 活性峰出现在 *DkPGI* 表达高峰前 4 d。此外, 对不同处理下乙烯释放量和果胶组分变化分析的结果显示 *DkPGI* 基因的表达受乙烯调控, 进而影响果胶组分代谢。

**关键词:** 柿; 丙烯; 1-甲基环丙烯; 多聚半乳糖醛酸酶; 实时荧光定量 PCR

**中图分类号:** S 665.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2010) 09-1507-06

## Effects of Propylene and 1-Methylcyclopropene on PG Activities and Expression of *DkPGI* Gene During Persimmon Softening Process

JIANG Ni-na, RAO Jing-ping\*, FU Run-shan, and SUO Jiang-tao

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

**Abstract:** In order to further explore the molecular regulation mechanism of PG during ‘Fuping Jianshi’ persimmon (*Diospyros kaki* L.) postharvest softening with different treatments, and to improve the persimmon ripening and softening process, the responses of *DkPGI* gene and PG activities in persimmon fruit to propylene and 1-MCP at the room temperature were investigated by real-time quantitative PCR (RT-qPCR) approach and DNS method. The results showed that accompanying with fruit ripening, the expressions of *DkPGI* gene in fruits with different treatments had the same trend on the transcript level that it first steadily increased to the maximum and then decreased. After 4 days of propylene treatment, the expression of *DkPGI* gene increased to the maximum which was dramatically higher than the control, and it appeared 12 days ahead of the control; The expression peak of *DkPGI* gene in fruits treated with 1-MCP appeared at 28 days, 12 days later than the control, which was significantly lower than the control. The activity of PG in fruits treated with propylene rapidly increased, and the activity peak appeared at the same

收稿日期: 2010-04-30; 修回日期: 2010-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771756); 农业部西北园艺种质资源与遗传改良重点开放实验室项目

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: dqr0723@163.com)

day *DkPG1* gene expression peak appeared; 1-MCP treatment made the activity peak of PG decrease and appear 4 days earlier than its *DkPG1* expression peak. Besides, the results about the analyze of ethylene release rate and pectin component showed the expressions of *DkPG1* gene were regulated by ethylene, and then affected the pectin component metabolism.

**Key words:** *Diospyros kaki* L.; propylene; 1-MCP; polygalacturonase; real-time PCR

柿 (*Diospyros kaki* L.) 属呼吸跃变型果实, 采后极易软化。近年来用乙烯作用抑制剂 1-MCP、乙烯类似物丙烯对柿果实采后软化的调控作用方面已有一些研究(朱东兴 等, 2004; 罗自生, 2004; 田长河 等, 2005; 赵博和饶景萍, 2006; Besada et al., 2008), 但是相关调控作用机制的研究报道尚未见到。

多聚半乳糖醛酸酶 (polygalacturonase, PG) 是导致细胞壁、果胶降解的主要因素 (Crookers & Grierson, 1983; 余叔文和汤章城, 1992; Redondo et al., 2001), 在果实成熟软化过程中起重要作用。但也有报道 (Smith et al., 1990; Figueroa et al., 2008) 认为 PG 的作用并非如此。由于 PG 基因在果实成熟软化中的作用还不是很清楚, 所以 PG 基因的研究倍受国内外学者的关注。目前, 柿果实 PG 基因的 3 个全长 cDNA (分别命名为 *DkPG1*、*DkPG2*、*DkPG3*) 已被作者所在课题组成功地分离克隆, 与已报道的其他植物 PG 基因具有 74%~78% 的相似性 (刘乐 等, 2009)。

作者在前人研究的基础上, 以中国涩柿的优良品种‘富平尖柿’为试材, 从分子水平上分析丙烯、1-MCP 处理下柿果实采后软化中 PG 基因 *DkPG1* 的表达及其与 PG 酶活性、乙烯释放量的关系, 为进一步探讨 PG 酶在柿果实成熟软化中的作用提供理论依据, 并将为通过生物技术调控柿及其他果实成熟衰老过程提供新思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理

供试‘富平尖柿’于 2008 年 10 月 4 号采自陕西省富平县, 采收时果实处于转色期。采后当天运回实验室, 从中挑选大小均匀、无病虫害及机械损伤、成熟度相对一致的果实, 随机分成 3 组, 每组设 3 个重复, 每个重复 10 kg 果实。一组用  $5\,000\ \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  的丙烯密闭熏蒸 24 h; 一组用  $1.0\ \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  的 1-MCP 密闭熏蒸 24 h; 一组在空气中密闭 24 h (对照)。处理后通风 0.5 h, 立即用 0.02 mm 厚的聚乙烯保鲜袋包装, 放入纸箱中, 置常温下贮藏。每 4 d 测定各项生理指标, 并将果实去皮, 切成  $0.5 \sim 0.8\ \text{cm}^3$  的小块, 液氮速冻, 置于  $-80^\circ\text{C}$  超低温冰箱中保存, 用于酶活性测定及 RNA 的提取。

### 1.2 生理指标测定

乙烯释放量按照董晓庆等 (2009) 的方法测定; PG 酶活性的测定参考徐昌杰等 (1997) 的方法: 粗酶液 1 mL, 加入 1 mL 0.1% 果胶溶液, 反应 1 h, 用 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 测定产生的还原糖量 (以葡萄糖  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  表示酶活性), 重复测定 3 次, 取平均值。原果胶含量的测定按照韩雅珊 (1996) 的方法。

### 1.3 *DkPG1* 基因表达量实时荧光定量 PCR 检测

果肉组织总 RNA 的提取及 cDNA 的合成均参照童斌等 (2005) 的方法 (在反转录的第一步, 根据测得的 OD 值各管加入不同体积的总 RNA, 确保  $10\ \mu\text{L}$  体系中含有 1 ng 的总 RNA)。

使用 iCycler iQ5 实时定量 PCR 仪器 (Bio-Rad, 美国) 开展 RT-PCR 检测, 反应体系为  $20.0\ \mu\text{L}$ ,

含有 10.0  $\mu\text{L}$  SYBR Premix Ex *Taq*<sup>TM</sup> II (TaKaRa), 1.0  $\mu\text{L}$  cDNA, 8.2  $\mu\text{L}$  ddH<sub>2</sub>O, 上下游引物各 0.4  $\mu\text{L}$  (引物浓度 10  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )。运行程序为: 95 预变性 3 min, 95 变性 20 s, 58 退火 20 s, 72 延伸 20 s, 40 次循环。每个样品 3 次重复。

以柿 *Actin* 基因(登录号为 AB219402)作为内参, 参照 *DkPGI* 基因(登录号为 EU816197)设计特异性引物。引物对为 *DkPGI*-F: 5'-GCCCCATTGTCCTTGAATCAGAGA-3', *DkPGI*-R: 5'-GCGTCATAACCAGCCTTCTATTTTGTG-3'; *Act*-F: 5'-TGCTCTTCCAGCCATCACTCATT-3', *Act*-R: 5'-ATTTCCCTTGCTCATCCGGTCAG-3'。采用 Livak 和 Schmittgen (2001) 的  $2^{-CT}$  公式计算基因相对表达量, 其中  $CT = (CT, \text{Target} - CT, \text{Actin}) \text{Time}_x - (CT, \text{Target} - CT, \text{Actin}) \text{Time}_0$ 。CT, Target 和 CT, Actin 分别是目标基因和内参基因的 CT 值;  $\text{Time}_x$  和  $\text{Time}_0$  分别指留样不同时间点 (丙烯处理的 4、8、12 d; 1-MCP 处理 4、8、12、16、20、24、28、32 d; 对照处理 4、8、12、16、20 d) 和刚采收回来未进行任何处理 (丙烯、1-MCP 处理 0 d, 对照处理 0 d)。以采收点没进行任何处理的样本为参照, 将其值转换成 1, 将其他时间点样品与之比较, 即获得相对表达值。

## 2 结果与分析

### 2.1 丙烯处理下果实 *DkPGI* 基因表达水平及 PG 酶活性的变化

由图 1 可见, 丙烯处理下的柿果实 *DkPGI* 表达水平先上升后降低, 采后 4 d 时达到高峰, 是刚采收时的 12.5 倍, 极显著高于对照, 从第 8 天时开始 *DkPGI* 表达水平逐渐减弱。丙烯处理下各时间点的表达量差异均达到极显著水平。

丙烯处理引起柿果实 PG 酶活性急剧增加, 也表现为先上升后下降 (图 1)。丙烯处理的果实在采后 4 d 时, PG 酶活性达到高峰 (1.59  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 为对照 (12 d) 的 1.51 倍, 然后又逐渐降至 0.87  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  (12 d)。丙烯处理下果实各不同时间点 PG 酶活性差异极显著。随着果实中 *DkPGI* 基因相对表达量的上升 (0~4 d), PG 酶活性也上升 (0~4 d), 两峰值出现在同一天 (4 d)。

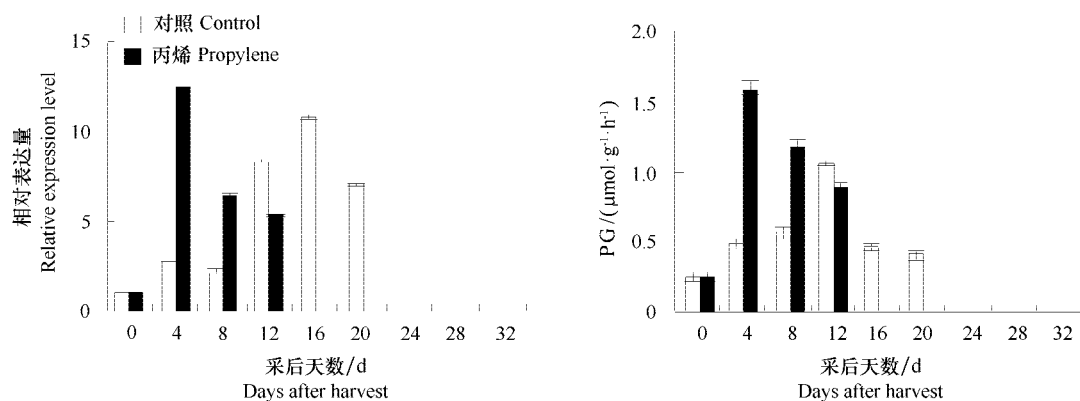


图 1 丙烯处理下柿果实 *DkPGI* 表达水平和 PG 酶活性的变化

Fig. 1 Expression level of *DkPGI* and PG activities in fruits of persimmon treated with propylene

### 2.2 1-MCP处理下果实 *DkPGI* 基因表达水平及 PG 酶活性的变化

图 2 表明, 1-MCP 处理下果实 *DkPGI* 基因的表达总体也呈先上升后下降的趋势。1-MCP 处理的 4~20 d, *DkPGI* 基因表达水平缓慢上升, 第 16 天上升到刚采收的 2.37 倍, 第 28 天达到最大值 (为刚采收的 10.33 倍), 极显著低于对照 (16 d), 然后又在第 32 天降至刚采收时的 4.81 倍。 *DkPGI* 基因的表达量在 0 d 和 8 d 差异不显著, 其他时间点的差异均达极显著水平。

1-MCP 处理下果实 PG 酶活性表现为先上升后降低, 从 0 d 的  $0.24 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  缓慢上升至第 24 天时的最大值  $0.72 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 为对照峰值(12 d)的 68%, 然后又逐渐降至  $0.38 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  (32 d)。随着果实中 *DkPGI* 基因表达水平的上升, 其 PG 酶活性也逐渐上升, 并于第 24 天达到最大值。1-MCP (包括对照) 处理下, PG 酶活性峰早于 *DkPGI* 基因表达高峰 4 d 出现 (图 2)。

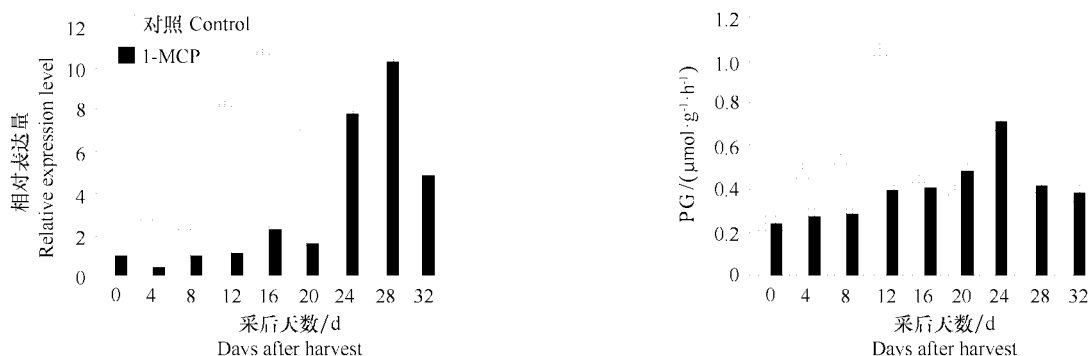


图 2 1-MCP 处理下柿果实 *DkPGI* 表达水平和 PG 酶活性的变化

Fig. 2 Expression level of *DkPGI* and PG activities in fruits of persimmon treated with 1-MCP

### 2.3 丙烯和 1-MCP 处理下果实乙烯释放量和原果胶含量的变化

由图 3 可知, 随着果实的成熟衰老, 果实乙烯释放量呈先上升后下降的趋势。丙烯处理的果实在采后 4 d 出现明显的乙烯跃变峰( 与其 *DkPGI* 基因表达高峰的时间一致, 见图 1 ), 峰值达到  $2.11 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 是对照的 1.77 倍, 极显著高于对照 ( $P < 0.01$ ), 之后迅速下降。1-MCP 处理的果实乙烯跃变峰出现在采后 20 d ( 峰值仅为对照的 76.5% ), 比其 *DkPGI* 基因表达高峰提前 8 d。

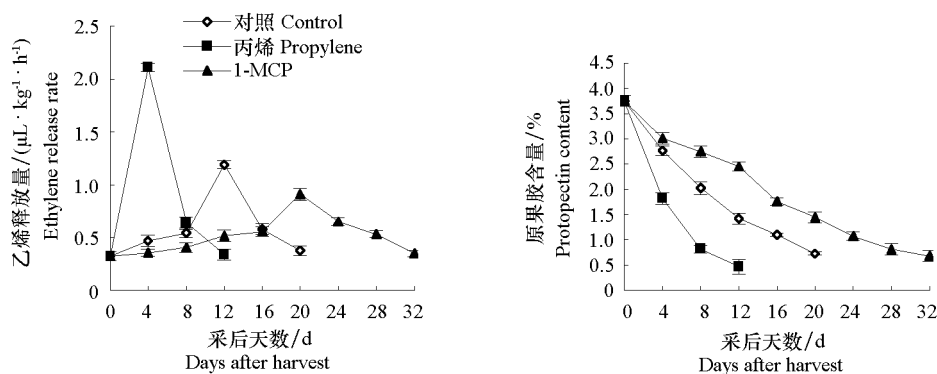


图 3 丙烯和 1-MCP 处理下柿果实乙烯释放量和原果胶含量的变化

Fig. 3 Changes of ethylene release rate and protopectin content in fruits of persimmon treated with propylene and 1-MCP

从图 3 可以看出, 柿果实中原果胶含量在贮藏过程中逐渐下降。丙烯处理下降幅度明显大于对照和 1-MCP 处理, 处理 12 d 时下降至采收时的 12.4%, 对照下降至采收时的 37.7%, 与丙烯处理差异极显著 ( $P < 0.01$ )。这说明丙烯处理的果实 PG 酶活性增加, 从而使原果胶降解的更彻底。1-MCP 处理果实前 12 d 原果胶含量下降缓慢, 贮藏至 12 d 时为刚采收的 65.4%, 极显著高于对照 ( $P < 0.01$ ), 之后迅速下降, 这与 1-MCP 在后期作用减弱, PG 酶活性逐渐升高有关。

### 3 讨论

Figueroa 等 (2008) 研究发现智利草莓在硬果期和转色期 *PG* 基因大量表达, 认为智利草莓更快软化的原因可能是由于 *PG* 基因高水平的表达。本研究表明丙烯处理的柿果实在贮藏过程中, 伴随着果实的成熟软化, *DkPG1* 基因大量表达, *PG* 酶活性增强, 加快了原果胶降解为可溶性果胶的速度, 从而引起果实软化。Jeong 等 (2002) 发现 1-MCP 可延缓鳄梨 *PG* 酶活性增加, 阻碍果实果胶等细胞壁多糖的降解, 从而延缓果实的软化。本试验中 1-MCP 处理明显抑制了柿果实 *DkPG1* 基因表达量的上升, 推迟了 *PG* 酶活性峰, 降低了原果胶的降解速度, 从而延缓了柿果实的软化。

研究表明乙烯能诱导一些与成熟有关的 mRNA 的转录, 包括 *PG* 特有的 mRNA 转录 (Grierson et al., 1986)。Wei 等 (2010) 研究发现乙烯利处理金冠苹果 28 d, *PG* 基因表达量显著增加, 且峰值极显著高于对照。Hiwasa 等 (2003) 发现丙烯能促进梨果实乙烯的产生、*PG* 基因大量的表达及果实的软化。本研究中发现 *DkPG1* 基因与梨 *PG* 基因相似, 都对丙烯处理反应迅速, 经丙烯处理的柿果实乙烯释放高峰增大且提前, *DkPG1* 基因表达量与对照相比大幅增加, 且高峰提前出现, 这些结果表明柿果实中 *DkPG1* 基因受丙烯诱导上调表达。Wei 等 (2010) 研究发现 1-MCP 处理的果实 *PG* 基因表达则被明显抑制, 开始阶段转录水平保持很低, 贮藏后期稍有增大, 然后下降。Sitrit 和 Bennett (1998) 发现乙烯可调节番茄 *PG* 的 mRNA 积累, 认为 1-MCP 对果实软化的抑制作用是由 1-MCP 高度抑制了乙烯释放量的结果。本试验研究发现 1-MCP 处理的柿果实与对照相比, 乙烯释放量明显降低且被推迟, 前期 *DkPG1* 基因表达量很低, 表达峰值显著低于对照, 出现的时间也被推迟, 这些结果表明 *DkPG1* 基因间接受到 1-MCP 的影响而下调表达。但值得注意的是, 对照和 1-MCP 处理的柿果实 *PG* 酶活性达到峰值时, 其对应的 *DkPG1* 基因表达量却没有达到最大, 推测这是因为柿果实中 *PG* 基因还存在 *DkPG2*、*DkPG3* 两个基因家族成员, 它们可能分别调节柿果实 *PG* 酶不同时空的表达, 表达时期早于 *DkPG1* 基因, 且表达总量大于 *DkPG1* 基因, 这有待于进一步研究探讨。

Brummell 和 Harpster (2001) 认为果实软化与果胶、半纤维素、纤维素等的含量及其降解酶活性有关。本试验中发现柿果实采后贮藏过程中原果胶含量不断下降, 可溶性果胶不断增加, 但是在贮藏后期 *PG* 酶活性则呈下降趋势且活性较低, 所以认为柿果实软化的关键酶不仅仅是 *PG*。罗自生 (2004) 研究认为  $\beta$ -Gal 可能在柿果胶增溶和降解中起重要作用。作者所在课题组正在进一步研究。

综上所述, 室温下在经丙烯处理的果实中, 乙烯释放高峰增大且提前, *DkPG1* 基因表达量大幅增加, 高峰出现提前到了第 4 天, *PG* 酶活性也在当天到达最大值, 果胶组分代谢速度明显加快; 而在经 1-MCP 处理的果实中, 乙烯释放量明显降低且被推迟, *DkPG1* 基因表达量降低, 最高值推迟到了第 28 天, *PG* 酶活性峰出现在 *DkPG1* 基因表达高峰前 4 d, 果胶组分的代谢被延缓。因此, 笔者认为, 柿果实中 *DkPG1* 基因的表达受乙烯调控, 参与 *PG* 酶合成, 从而调控柿果实的成熟衰老。

### References

- Besada C, Arnal L, Salvador A. 2008. Improving storability of persimmon cv. Rojo Brillante by combined use of preharvest and postharvest treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 50 (2-3): 169-175.
- Brummell D A, Harpster M H. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Mol Biol*, 47: 311-340.
- Crookers P R, Grierson D U. 1983. Trastructure of tomato fruit ripening and the role polygalacturonase isoenzymes in cell wall degradation. *Plant Physiol*, 72 (4): 1088-1093.
- Dong Xiao-qing, Rao Jing-ping, Tian Gai-ni, Zhang Ju-yin, Liao Xiao-yue. 2009. Effects of oxalic acid compound cleaning agent on storage quality of fruits of 'Red Fuji'. *Acta Horticulture Sinica*, 36 (4): 577-582. (in Chinese)

- 董晓庆, 饶景萍, 田改妮, 张举印, 廖小月. 2009. 草酸复合清洗剂对红富士苹果贮藏品质的影响. 园艺学报, 36 (4) : 577–582.
- Figueroa C R, Pimentel P, Gaete E C, Moya M, Herrera R, Caligari P D S, Moya L M A. 2008. Softening rate of the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit reflects the expression of polygalacturonase and pectate lyase genes. Postharvest Biology and Technology, 49 (2) : 210–220.
- Grierson D, Maunders M J, Slater A. 1986. Gene expression during tomato ripening. Philos Trans R Soc Lond-bio Sci, 314 : 399–410.
- Han Ya-shan. 1996. Food chemistry experiment guide. Beijing : China Agricultural University Press : 39–41. (in Chinese)
- 韩雅珊. 1996. 食品化学实验指导. 北京 : 中国农业大学出版社 : 39–41.
- Hiwasa K, Kinugasa Y, Amano S, Hashimoto A, Nakano R, Inaba A, Kubo Y. 2003. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. Journal of Experimental Botany, 54 (383) : 771–779.
- Jeong J, Huber D J, Steven A S. 2002. Influence of 1-methylcyclopropene on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. Postharvest Biol Technol, 25 (3) : 241–256.
- Liu Le, Rao Jing-ping, Chang Xiao-xiao. 2009. Cloning and sequencing full-length cDNA encoding PG gene from persimmon. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 29 (4) : 656–661. (in Chinese)
- 刘 乐, 饶景萍, 常晓晓. 2009. 柿果实多聚半乳糖醛酸酶基因克隆与序列分析. 西北植物学报, 29 (4) : 656–661.
- Livak J, Schmitt T D. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-CT}$  method. Methods, 25 : 402–408.
- Luo Zi-sheng. 2004. Effect of 1-methylcyclopropene on persimmon fruit ripening and pectin metabolism. Journal of Fruit Science, 21 (3) : 229–232. (in Chinese)
- 罗自生. 2004. 1-MCP 对柿果实软化及果胶物质代谢的影响. 果树学报, 21 (3) : 229–232.
- Redondo N E, Moyano N, Medina E J L, Caaballero, Munoz B. 2001. A fruit-specific and developmentally regulated endopolygalacturonase gene from strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Chandler). Journal of Experimental Botany, 52 (362) : 1941–1945.
- Sitrit Y, Bennett A B. 1998. Regulation of tomato fruit polygalacturonase mRNA accumulation by ethylene : A reexamination. Plant Physiol, 116 : 1145–1150.
- Smith C J, Watson C F, Morris P C, Bird C R, Seymour G B, Gray J E, Arnold C, Tucher G A, Schuch W, Harding S, Grierson D. 1990. Inhibition and effect on ripening of antisense polygalacturonase gene in transgenic tomato. Plant Molecular Biology, 14 (3) : 369–379.
- Tian Chang-he, Rao Jing-ping, Feng Wei. 2005. Influence of 1-MCP on postharvest physiological characteristics of persimmon fruits. Agricultural Research in the Arid Areas, 23 (5) : 122–126. (in Chinese)
- 田长河, 饶景萍, 冯 炜. 2005. 1-MCP 处理对柿果实采后生理效应的影响. 干旱地区农业研究, 23 (5) : 122–126.
- Tong Bin, Rao Jing-ping, Ren Xiao-lin, Li Jia-rui. 2005. Cloning and sequencing of expansin cDNA in the fruits of Chinese persimmon. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 25 (11) : 2168–2171. (in Chinese)
- 童 斌, 饶景萍, 任小林, 李嘉瑞. 2005. 中国柿果实扩展蛋白基因的 cDNA 克隆与序列分析. 西北植物学报, 25 (11) : 2168–2171.
- Wei J M, Ma F W, Shi S G, Qi X D, Zhu X Q, Yuan J W. 2010. Changes and postharvest regulation of activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation in ripening apple fruit. Postharvest Biology and Technology, 56 (2) : 147–154.
- Xu Chang-jie, Chen Kun-song, Zhang Shang-long. 1997. The interference of sucrose in determination of exo-cellulase and exo-polygalacturonase in abscission zone of citrus young fruit and the methods to exclude it. Plant Physiology Communications, 33 (1) : 43–46. (in Chinese)
- 徐昌杰, 陈昆松, 张上隆. 1997. 蔗糖酶对柑桔外切纤维素酶和外切多聚半乳糖醛酸酶活性测定的干扰及排除. 植物生理学通讯, 33 (1) : 43–46.
- Yu Shu-wen, Tang Zhang-cheng. 1992. Plant physiology and molecular biology. Beijing : Science Press : 322–332. (in Chinese)
- 余叔文, 汤章城. 1992. 植物生理与分子生物学. 北京 : 科学出版社 : 322–332.
- Zhao Bo, Rao Jing-ping. 2006. Effect of propylene on cell wall matter metabolism and some physiological indices of postharvest persimmon (*Diospyros kaki* L. cv. Fuping Jianshi) fruit. Plant Physiology Communications, 42 (2) : 195–198. (in Chinese)
- 赵 博, 饶景萍. 2006. 丙烯对柿果实采后细胞壁物质代谢和几种生理指标的影响. 植物生理学通讯, 42 (2) : 195–198.
- Zhu Dong-xing, Rao Jing-ping, Ren Xiao-lin, Pu Peng. 2004. Effects of postharvest treatment with 1-MCP on ripening and softening of persimmon fruits. Acta Horticulturae Sinica, 31 (1) : 87–89. (in Chinese)
- 朱东兴, 饶景萍, 任小林, 蒲 鹏. 2004. 柿果实 1-甲基环丙烯处理对成熟软化的影响. 园艺学报, 31 (1) : 87–89.