

苹果果实质地软化过程中碳水化合物代谢及其关键酶基因表达的变化

齐秀东¹, 魏建梅^{2,*}, 李永红³

(¹河北科技师范学院, 河北秦皇岛 066004; ²中国环境管理干部学院生态学系, 河北秦皇岛 066004; ³河北省农林科学院昌黎果树研究所, 河北昌黎 066600)

摘 要: 以耐贮的富士苹果和不耐贮的金冠苹果果实为试材, 研究果实发育和采后软化过程中糖和淀粉含量及其代谢相关酶活性变化, 并分析其关键酶基因表达的变化。结果表明, 淀粉含量和淀粉酶(AM)活性与果实硬度变化显著相关, 且在富士和金冠果实间差异显著。随果实软化, 金冠果实 AM 活性显著升高, 而富士果实维持在较低水平, 与金冠果实淀粉含量下降而富士淀粉含量低且稳定的变化规律相吻合; *MdAM* 基因在金冠贮藏期的表达量迅速增加, 显著高于富士。苹果果实蔗糖、果糖和葡萄糖含量均与成熟期果实硬度变化显著相关, 贮藏期金冠果实蔗糖含量与硬度变化显著负相关, 且 SPS 活性与硬度下降显著负相关, *MdSPS* 基因大量表达, 与此期 SPS 活性升高及蔗糖积累相一致。由此认为, 淀粉降解参与了苹果果实软化, 并与果实耐贮性关系密切, 而且 SPS 在苹果果实蔗糖代谢和果实软化中起着重要作用, 也与果实贮藏品质存在一定的相关性。

关键词: 苹果; 果实; 发育; 质地软化; 糖; 淀粉; 代谢; 基因表达

中图分类号: S 661.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 03-0409-09

Carbohydrate Metabolism and the Key Gene Expression in Apple During Fruit Texture Softening

QI Xiu-dong¹, WEI Jian-mei^{2,*}, and LI Yong-hong³

(¹Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao, Hebei 066004, China; ²Department of Ecology, Environmental Management College of China, Qinhuangdao, Hebei 066004, China; ³Changli Fruit Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Changli, Hebei 066600, China)

Abstract: The fruits of ‘Fuji’ and ‘Golden Delicious’ apple were taken as materials to investigate the changes of the soluble sugars and starch contents and metabolism-related enzymes activities, and analyzed the expression level of the *MdSPS* and *MdAM* genes during fruit development and softening. The results indicated that the changes of starch content and amylase (AM) activity had significant correlation with firmness loss and show significant differences between ‘Fuji’ and ‘Golden Delicious’ fruits. AM activity significantly increased in ‘Golden Delicious’ with fruit softening, while it remained a relatively low activity in ‘Fuji’ fruit. These phenomena were consistent with the decrease of starch content in ‘Golden

收稿日期: 2014 - 10 - 31; **修回日期:** 2015 - 01 - 29

基金项目: 河北省科技支撑计划项目 (12226806); 河北省博士专项基金项目 (2010055006)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: xbwjdm@126.com)

致谢: 西北农林科技大学园艺学院马锋旺教授给本文提供了相关指导和部分实验条件, 特此感谢。

Delicious’ and the low content of starch in ‘Fuji’ fruit. In addition, the expression level of *MdAM* gene increased rapidly in ‘Golden Delicious’ fruit during storage, being compared to that in ‘Fuji’ fruit. We also found that the changes of sucrose, fructose and glucose content were significantly correlated with the loss of fruit firmness during maturity, which excepted that the changes of sucrose content in ‘Golden Delicious’ fruit showed significantly negative correlation with fruit softening during storage. Sucrose Phosphate Synthase (SPS) activity was significantly correlated with firmness in ‘Golden Delicious’, being accompanied with its higher expression level of *MdSPS* gene. Taken together, we concluded that starch degradation involved in fruit softening and had a close correlation with fruit storability, and SPS may play more important roles in sucrose metabolism during fruit softening in apple fruits and was also correlated with fruit storable characteristics.

Key words: apple; fruit; development; texture softening; sugar; starch; metabolism; gene expression

许多苹果品种的果实易于发酥变绵, 质地软化, 品质劣变。果实质地软化特性是制约苹果贮藏期的重要因子。苹果果实软化一般分 3 个阶段, 即 (I) 硬度缓慢下降、(II) 迅速下降和 (III) 缓慢下降。第 I 阶段与苹果果实贮藏期密切相关, 但第 II 阶段一旦启动, 软化进程将难以控制 (Prange et al., 1993), 所以探讨前期软化的关键调控因子, 有助于采取行之有效的贮藏保鲜技术来延长其贮藏寿命。目前关于影响苹果质地软化因子的研究主要集中在果实采后贮藏阶段的细胞壁降解、保护酶类及膜脂过氧化等方面, 而关于糖和淀粉等碳水化合物代谢与果实质地软化的关系鲜见报道。

果实生长发育状况直接影响果实品质的形成, 进而影响采后果实的贮藏特性, 探讨采前果实质地发育状况对其采后贮藏的影响, 将是果实软化机理研究的有益补充。糖和淀粉作为果实细胞的主要内含物质, 其含量和比例的改变不仅影响果实风味品质, 而且会显著影响果实细胞的膨压, 进而通过影响果实细胞的张力而参与果实的软化进程 (Itai & Tanahashi, 2008)。目前对发育期果实碳水化合物代谢的研究很多 (陈俊伟 等, 2004), 但其主要目的是为了弄清其与果实品质形成的关系, 而很少提及其与果实质地软化的关系。本试验中选取耐贮性差异显著的富士和金冠苹果, 分析果实质地发育、糖和淀粉代谢及其关键酶基因表达的差异, 探讨碳水化合物代谢与果实质地软化的关系, 以期对果实品质改良和贮藏保鲜技术的改进提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2012—2013 年在河北省燕山苹果产区进行。以耐贮藏的富士苹果和不耐贮藏的金冠苹果为试材, 设单株小区, 重复 5 次。从花后 14 d 开始采样, 每 14 d 采样 1 次, 直至果实成熟。依据果实成熟期, 富士和金冠果实分别于花后 170 d 和 140 d 采收, 散掉田间热后于常温 (20 ± 1) °C 和相对湿度 90% 的环境下贮藏。

采收当天测定相关指标, 贮藏期间定期取样, 用于硬度、糖与淀粉含量、酶活性和关键酶基因表达变化的测定。选取幼果期 (I)、细胞分裂期 (II)、细胞膨大期 (III)、内含物质积累期 (IV) 和成熟期 (V) 的果实用于酶基因表达分析, 其中, I、II、III、IV 和 V 分别为富士花后 28、56、98、126 和 154 d, 金冠花后 28、56、84、98 和 126 d。

1.2 果实硬度与糖和淀粉含量的测定

果实硬度采用 GY-4 型数显硬度计测定, 重复 10 次。参照赵智中等 (2001) 的方法, 分别称取 2.0 g 冷冻果肉, 研磨, 用 80%乙醇 80 ℃下水浴 20 min, 重复提取 3 次, 集中上清液, 蒸去乙醇, 2 mL ddH₂O 溶解, 0.25 μm 微孔滤膜过滤, 所得可溶性糖采用日本岛津高效液相色谱仪测定。色谱条件: CLC-NH₂ 色谱柱和 RID-10A 示差折光检测器, 柱温 40 ℃, 流速 1.0 mL · min⁻¹, 流动相为 85% 乙腈, 进样量 10 μL。根据蔗糖、果糖和葡萄糖标准曲线和样品峰面积计算糖含量。将上述提取可溶性糖的残余物用高氯酸法提取淀粉, 蒽酮比色法测定生成的葡萄糖含量, 根据葡萄糖标准曲线计算淀粉含量。重复 3 次。

1.3 碳水化合物代谢相关酶活性的测定

酶液提取和活性测定参照 Merlo 和 Passera (1991)、Itai 和 Tanahashi (2008) 的方法。称取 2.0 g 冷冻果肉于冰浴中研磨, 加 6 mL HEPES 缓冲液 (pH 7.5, 内含 50 mmol · L⁻¹ HEPES, 10 mmol · L⁻¹ MgCl₂, 1 mmol · L⁻¹ EDTA, 2.5 mmol · L⁻¹ DTT, 0.05%Tritonx-100 和 0.1%BSA), 匀浆, 过滤, 4 ℃下 12 000 r · min⁻¹ 离心, 上清液于 4 ℃下透析 12 h 后用于酶活性测定。蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性测定以 F-6-P 和 UDPG 为底物, 37 ℃反应 30 min, 1 mol · L⁻¹ NaOH 终止, 沸水浴 5 min, 冷却, 加浓 HCl 和 12%间苯二酚于 80 ℃保温 10 min, 冷却, 测定 OD₅₂₀ 值。蔗糖合成酶 (SS) 活性测定以 UDPG 和果糖为底物, 37 ℃反应 40 min, 1 mol · L⁻¹ NaOH 终止, 沸水浴 5 min, 冷却, 加浓 HCl 和 12%间苯二酚于 80 ℃保温 8 min, 冷却, 测定 OD₅₂₀ 值。酸性转化酶 (AI) 活性测定以蔗糖为底物, 37 ℃反应 40 min, 加 3,5 - 二硝基水杨酸终止反应, 煮沸 5 min, 冷却, 12 000 r · min⁻¹ 离心, 上清液用于测定 OD₅₂₀ 值。淀粉酶 (AM) 活性测定以可溶性淀粉为底物, 37 ℃反应 20 min, 用 3,5 - 二硝基水杨酸终止反应, 煮沸 5 min, 冷却, 测定 OD₅₂₀ 值。以上均以煮死酶液作空白, 分别以蔗糖和还原糖标准曲线计算酶活性。重复 3 次。

1.4 MdSPS 和 MdAM 的表达量分析

果实总 RNA 的提取采用改良 CTAB 法。紫外分光光度计 (UV-1700) 下测定 A₂₆₀、A₂₈₀、A₂₃₀ 以及进行 0.8%琼脂糖凝胶电泳检测 RNA 质量和完整性。蔗糖磷酸合成酶基因 *MdSPS* 和淀粉酶基因 *MdAM* 的定量引物设计采用 Premier 5.0 软件进行 (表 1)。用 TaKaRa 逆转录试剂盒进行 cDNA 第一链合成 (RNA 模板量 500 ng)。采用 iQTM5 多重 Real-time 荧光定量 PCR 仪检测基因的定量表达情况。反应总体积 20.0 μL, 包括 cDNA 模板 1.0 μL, SYBR[®] Premix Ex TaqTM (2×) 10.0 μL, 特异引物 0.5 μL。采用三步法, 即 94 ℃ 5 min, 94 ℃ 5 s, 55 ~ 60 ℃ 10 s, 72 ℃ 10 s (荧光检测), 设 40 个循环。每次 PCR 均以内参基因 *18S* 为阴性对照。将采收时 (0 d) 的基因表达量设为 1.0, 数据分析用 2^{-ΔΔCT} 方法进行。每次设平行管重复 3 次。

表 1 苹果果实 *MdSPS* 和 *MdAM* 基因定量 PCR 引物序列
Table 1 Primers for the qPCR amplification of *MdSPS* and *MdAM* gene in apple fruit

基因名称 Gene name	引物序列 Primer sequence	
<i>MdSPS</i>	S5' TATCAACGCAACCTACAAGA 3'	A5' AGGCAACTAACTCCACGAC 3'
<i>MdAM</i>	S5' ACGAACATCAGCCACAGGAC 3'	A5' CCGAACAAACTCAGAAAACG 3'
<i>18S</i>	S5' CCATTGGAGGGCAAGTCT 3'	A5' GGTTCTCACGTACACGA 3'

1.5 数据统计分析

采用 Excel 软件进行数据计算和绘图, 用 DPS 软件进行数据的 Duncan's 多重检测。

2 结果与分析

2.1 苹果成熟软化期间果实硬度变化

由图 1 可知, 随果实成熟, 两品种果实硬度均逐渐降低, 但品种间存在显著差异。富士果实采收前 56 d 至采收时硬度由 17.1 降至 12.8 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 下降 4.3 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 金冠果实则由 16.2 降至 11.1 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 下降 5.1 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。富士果实贮藏 70 d 硬度仍为 9.2 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 果实质地硬脆, 贮藏品质良好; 而金冠果实硬度下降较快, 贮藏 42 d 即降至 5.3 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 果肉汁液减少, 质地疏松、发绵, 品质下降。

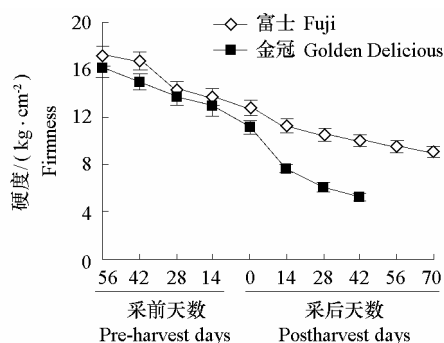


图 1 苹果果实质地软化过程中的硬度变化

Fig. 1 Changes of flesh firmness with fruit texture softening in apple

2.2 果实可溶性糖与淀粉含量的变化

富士和金冠果实发育期间蔗糖、葡萄糖和果糖含量均表现相似的增加趋势 (图 2, A、B、C), 其中, 果糖含量最高, 葡萄糖次之, 蔗糖所占比例最低。然而, 在贮藏期间, 两品种果实蔗糖含量变化的差异最显著, 即富士蔗糖含量的积累速率显著超过金冠 (图 2, A), 而葡萄糖和果糖的变化趋势在品种间相似 (图 2, B、C)。

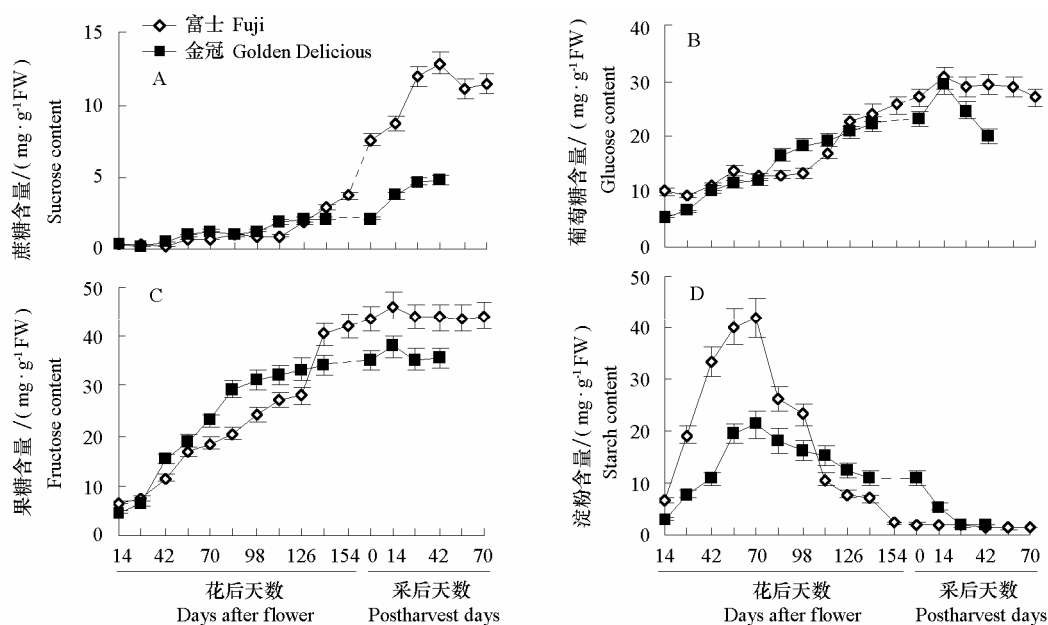


图 2 苹果果实发育和软化过程可溶性糖和淀粉含量的变化

Fig. 2 Changes of soluble sugars and starch contents in apple fruit during development and softening

图 2, D 显示, 富士果实发育前期 (花后 14 ~ 70 d) 淀粉积累较快, 最高达 $42.01 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 之后又迅速降解, 采收时仅为 $1.87 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 且贮藏期间基本不变; 金冠果实淀粉含量的变化趋势与富士一致, 即发育初期呈积累趋势, 之后不断降解, 采收时显著高于富士, 为 $6.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 进入贮藏期淀粉含量显著下降, 至贮藏后期不再降低。

果实成熟期, 两品种果实硬度变化与蔗糖、果糖和葡萄糖含量显著负相关, 贮藏期间只与金冠蔗糖含量显著负相关; 两品种果实硬度均与淀粉含量变化显著正相关, 在金冠上的相关性大于富士 (表 2)。

表 2 苹果果实硬度与糖和淀粉含量的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between fruit firmness and the contents of soluble sugar and starch

品种 Cultivar	时期 Stage	葡萄糖 Glucose	果糖 Fructose	蔗糖 Sucrose	淀粉 Starch
富士 Fuji	成熟期 Maturation	- 0.969**	- 0.724*	- 0.977**	0.813**
	贮藏期 Storage	0.413	0.078	- 0.361	0.749*
金冠 Golden Delicious	成熟期 Maturation	- 0.965**	- 0.991**	- 0.875**	0.868**
	贮藏期 Storage	0.991	0.707	- 0.849**	0.781*

注: *显著线性相关, **极显著线性相关。

Note: * and ** indicate significant linear correlation of 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 果实蔗糖代谢相关酶和淀粉酶活性的变化

富士果实发育前期蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性低且稳定, 进入果实膨大期 (花后 70 ~ 112 d) 后明显上升, 成熟期和贮藏期维持在较高水平; 金冠果实发育前期 SPS 活性变化与富士相似, 花后 56 d 达高峰后表现明显下降的趋势, 进入成熟期呈增加趋势, 贮藏期间显著增加 (图 3, A)。

蔗糖合成酶 (SS) 尽管一直表现较高活性, 但在果实成熟期和贮藏期略有下降, 且两品种间的差异不显著 (图 3, B)。

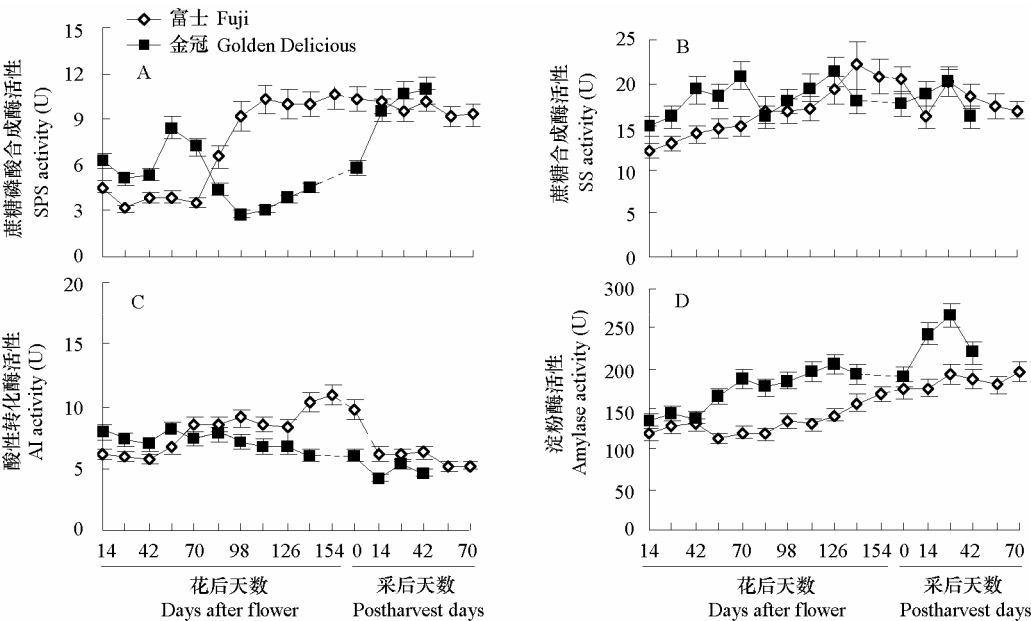


图 3 苹果果实发育和软化过程蔗糖代谢相关酶和淀粉酶活性的变化

Fig. 3 Changes of SPS, SS, AI and AM activities in apple fruit during development and softening

酸性转化酶 (AI) 活性在富士果实发育期渐趋升高, 而在金冠上则呈缓慢下降趋势, 贮藏期富士果实 AI 活性下降, 其下降幅度超过金冠 (图 3, C)。

果实淀粉酶 (AM) 活性变化在富士和金冠间表现显著差异, 富士果实在果实发育后期至贮藏期间呈增加趋势但上升幅度较小, 而金冠果实 AM 活性在发育期就较高且不断上升, 贮藏期间仍呈显著增加, 后期下降 (图 3, D)。

相关性分析 (表 3) 表明, 金冠果实硬度与 SPS 活性变化在贮藏期呈极显著负相关关系 ($r = -0.884^{**}$), 而富士果实不存在相关关系, 表明 SPS 参与了苹果果实软化, 并与其耐贮特性存在一定的相关性。

贮藏期间硬度变化与 SS 活性表现正相关性, 其是否参与果实软化有待于探讨。

尽管富士和金冠果实硬度与 AM 活性均呈显著负相关, 但不耐贮的金冠的相关性大于富士, 表明苹果果实软化和贮藏特性与 AM 关系较为密切。

表 3 苹果果实硬度与蔗糖代谢酶和淀粉酶活性间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between fruit firmness and the activity of sugar-related enzymes and amylase

品种 Cultivar	时期 Stage	蔗糖磷酸合成酶 SPS	蔗糖合成酶 SS	酸性转化酶 AI	淀粉酶 AM
富士 Fuji	成熟期 Maturation	0.159	0.647	0.478	-0.636*
	贮藏期 Storage	0.338	0.981**	0.695	-0.768*
金冠 Golden Delicious	成熟期 Maturation	-0.546*	-0.045	0.956**	-0.778*
	贮藏期 Storage	-0.884**	0.756**	-0.295	-0.949**

注: *显著线性相关, **极显著线性相关。

Note: * and ** indicate significant linear correlation of 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.4 果实 *MdSPS* 和 *MdAM* 基因表达的变化

图 4 表明, 在幼果期 (I, 花后 28 d) 和细胞分裂期 (II, 花后 56 d), 富士和金冠果实 *MdSPS* 基因的表达量较低; 到细胞膨大期 (III, 富士花后 98 d, 金冠花后 84 d) 和内含物质积累期 (IV, 富士花后 126 d, 金冠花后 98 d), 富士果实 *MdSPS* 基因的表达量迅速增加, 显著高于金冠; 随果实

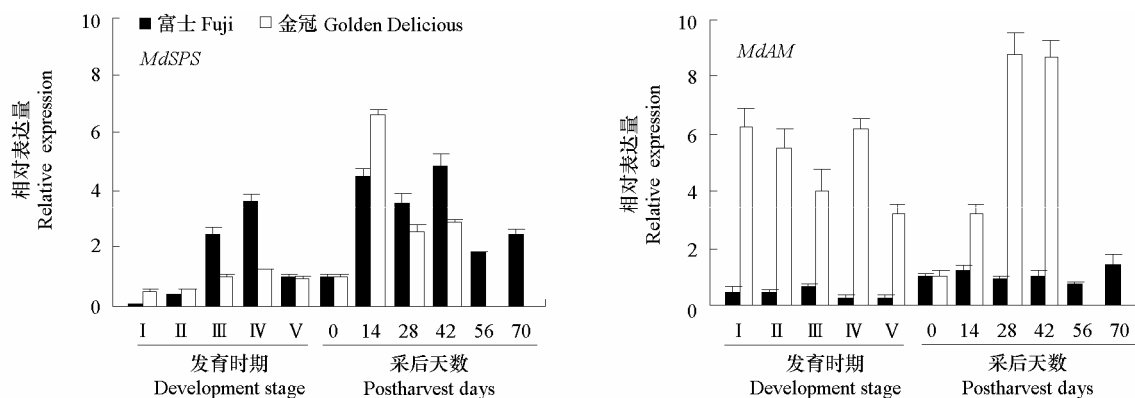


图 4 苹果果实发育和软化过程中 *MdSPS* 和 *MdAM* 基因的表达变化

I: 幼果期; II: 细胞分裂期; III: 细胞膨大期; IV: 内含物质积累期; V: 成熟期。

Fig. 4 Changes of *MdSPS* and *MdAM* genes expression in apple fruit during development and softening

I, II, III, IV and V identified the sampling date at young fruit stage, cell division stage, cell enlargement stage, fruit dry material accumulation stage and fruit maturation stage, respectively.

成熟 (V, 富士花后 154 d, 金冠花后 126 d), 两品种果实的 *MdSPS* 基因表达量下降; 进入贮藏期, 两品种 *MdSPS* 基因的表达量又迅速增加, 但在贮藏初期金冠果实 *MdSPS* 基因的表达量显著超过富士, 之后降低, 表明了 SPS 在果实软化中的作用差异可能表现在贮藏初期。

富士和金冠果实 *MdAM* 基因的表达强度和变化有显著差异。在果实发育、成熟和及软化过程中, 金冠果实 *MdAM* 基因的 mRNA 表达丰度很高, 显著超过富士, 而富士果实的表达较稳定, 贮藏期略高于发育期 (图 4), 进一步说明 AM 与果实软化和贮藏特性存在密切关系。

3 讨论

多年来人们一直偏重于从果实细胞壁代谢、相关保护酶类变化及膜脂过氧化等方面探讨果实的软化和衰老, 而关于细胞内含物质, 如糖和淀粉等与果实软化关系的研究报道很少。可溶性糖含量及其比例决定果实内在品质, 淀粉作为果实积累的光合产物, 有维持细胞膨压的作用, 对细胞起支撑作用 (张永平等, 2008; Yang et al., 2013)。淀粉可被淀粉酶水解成葡萄糖, 葡萄糖又在异构酶催化下转成果糖, 通过蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 将生成的果糖和葡萄糖合成蔗糖, 蔗糖在转化酶催化下分解成果糖和葡萄糖, 细胞内淀粉与糖之间的相互转化形成动态平衡, 维持细胞膨压, 进而影响细胞壁的抗张能力 (John & Elspeth, 2003), 表明糖和淀粉的积累与降解不仅与果实品质形成有关, 而且一定程度参与了果实的软化过程。

在苹果果实发育成熟软化过程中发现, 耐贮的富士和不耐贮的金冠的淀粉含量和 AM 活性变化差异显著, 且与硬度变化显著相关, 即随果实软化金冠的 AM 活性显著升高, 而富士中则维持较低的水平, 这与金冠果实发育后期和贮藏期间淀粉含量下降和富士淀粉含量低且稳定的变化规律相吻合, 并且金冠果实 *MdAM* 基因在贮藏期表达量迅速增加, 显著高于富士, 表明淀粉降解与苹果果实软化和贮藏特性存在较为密切的关系, 这与在猕猴桃 (王贵禧等, 1994; 张玉等, 2004) 和桃 (彭丽桃等, 2002; Wang et al., 2013) 上的结论相似。研究表明, 淀粉酶是不耐贮藏果实软化阶段的关键酶 (余芳等, 2014)。周国忠和刁太清 (1997) 发现不耐藏品种的猕猴桃果实淀粉酶活性高于耐藏品种, 认为猕猴桃果实淀粉含量的下降速率与品种的耐藏特性相关。Macrae 和 Redgwell (1992) 发现果实呼吸跃变前有淀粉水解和细胞壁成分变化; 枣成熟时也有淀粉水解现象, 认为淀粉水解与细胞壁代谢共同导致了枣果实软化 (梁小娥等, 1998); 果胶和半纤维素及淀粉的降解是香蕉软化的主要原因 (李雯等, 2006), 这些都表明淀粉降解在果实软化中的重要作用, 佐证了本研究中淀粉降解参与了苹果果实软化并与果实耐贮特性存在密切关系的结论。

在蔗糖代谢中发现, 苹果果实蔗糖、果糖和葡萄糖含量均与成熟期硬度变化显著相关, 但贮藏期间仅金冠果实蔗糖含量与硬度变化显著负相关, 此期金冠果实 SPS 活性变化与硬度显著负相关, 且 *MdSPS* 基因在其果实后熟软化期大量表达, 这与后熟软化期 SPS 活性升高及蔗糖积累相一致, 表明蔗糖积累与采后果实软化相关, SPS 在采后苹果软化过程中通过调节蔗糖代谢而参与果实软化。研究表明, SPS 在采后猕猴桃果实的糖代谢和果实软化过程中起着核心作用 (张玉等, 2004); 在香蕉上 SPS 活性变化与果实软化和蔗糖积累密切相关 (李雯等, 2006), 随着香蕉果实软化 SPS 活性不断增加, 在其活性达最大值后蔗糖开始积累并伴随淀粉的降解, 且 SPS mRNA 积累先于 SPS 活性提高 (Agopian et al., 2011); 荔枝上果实快速软化伴随 SPS 活性增加, 蔗糖积累, 果实软化后期 SPS 活性降低, 蔗糖含量下降 (王惠聪等, 2003); 在柑橘上 *CitSPS1* 和 *CitSPS2* 在未熟果实中表达量很低或者不表达, 而在成熟果实中水平很高, 与 SPS 活性变化一致 (Akira et al., 1996)。上

述分析均表明了果实蔗糖代谢和 SPS 与果实软化关系密切, 支持了本研究的结论。而贮藏期两品种的 SS 活性差异不大, 且呈降低趋势, 与硬度变化正相关, 但其是否与苹果果实贮藏性相关或者参与果实软化的作用如何, 尚不能确证, 还需进一步探讨。

果实软化存在许多非常复杂的生理生化过程, 碳水化合物代谢与果实软化的关系仅是果实软化机理的部分内容。而且, 蔗糖代谢、淀粉降解等参与果实软化的结论在不同种类和品种的果实上所得结论也不尽一致。此外, 糖作为信号分子, 与激素、N 等信号联成网络来调节糖代谢与基因表达 (John & Elspeth, 2003; 陈俊伟 等, 2004), 其协同作用尚需系统研究。

References

- Agopian R G D, Peroni -Okita F H G, Soares C A. 2011. Low temperature induced changes in activity and protein levels of the enzymes associated to conversion of starch to sucrose in banana fruit. *Postharvest Biol Technol*, 62 (2): 133 – 140.
- Akira K, Yuko T M, Omoya A. 1996. Cloning and molecular analysis of cDNAs encoding three sucrose phosphate synthase informs from a citrus (*Citrus unshiu* Marc.) . *Mol Gen Gent*, 252: 346 – 351.
- Chen Jun-wei, Zhang Shang-long, Zhang Liang-cheng. 2004. Sugar transport, metabolism, accumulation and their regulation in fruits. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 30 (1): 1 – 10. (in Chinese)
- 陈俊伟, 张上隆, 张良诚. 2004. 果实中糖的运输、代谢与积累及其调控. *植物生理与分子生物学学报*, 30 (1): 1 – 10.
- Itai A, Tanahashi T. 2008. Inhibition of sucrose loss during cold storage in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) by 1-MCP. *Postharvest Biol Technol*, 48 (3): 355 – 363.
- John E L, Elspeth M. 2003. New complexities in the synthesis of sucrose. *Plant Science*, 165 (1): 9 – 21.
- Li Wen, Shao Yuan-zhi, Zhuang Jun-ping. 2006. Relationships between the sucrose phosphate synthase and ripening, senescence of banana fruits. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (5): 1087 – 1089. (in Chinese)
- 李 雯, 邵远志, 庄军平. 2006. 蔗糖磷酸合成酶与香蕉果实成熟、衰老的关系. *园艺学报*, 33 (5): 1087 – 1089.
- Liang Xiao-e, Wang San-bao, Zhao Ying-li. 1998. The biochemical property and change of fruit ultra-structure in postharvest jujube. *Acta Horticulturae Sinica*, 25 (4): 333 – 337. (in Chinese)
- 梁小娥, 王三宝, 赵迎丽. 1998. 枣采后果肉软化的生化和细胞超微结构的变化. *园艺学报*, 25 (4): 333 – 337.
- Macrae E, Redgwell R. 1992. Softening in kiwifruit. *Postharvest News and Information*, 3 (3): 49 – 52.
- Merlo L, Passera C. 1991. Changes in carbohydrate and enzyme levels during development of leaves of *Prunus persica*, a sorbitol synthesizing species. *Plant Physiol*, 83: 621 – 626.
- Peng Li-tao, Yang Shu-zhen, Ren Xiao-lin, Rao Jing-ping, Wang Jun-ning. 2002. Changes in softening-related enzymes in melting and non-melting-flesh nectarines after harvest. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 10 (2): 171 – 176. (in Chinese)
- 彭丽桃, 杨书珍, 任小林, 饶景萍, 王俊宁. 2002. 采后两种不同果肉类型油桃软化相关酶活性的变化. *热带亚热带植物学报*, 10 (2): 171 – 176.
- Prange R K, Meheriuk M, Loughheed E C. 1993. Harvest and storage//Embree C G. Producing apples in Eastern and Central Canada. Quebec: Agriculture Canada: 64 – 69.
- 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 Hui-cong, Huang Hui-bai, Huang Xu-ming. 2003. Sugar accumulation and related enzyme activities in the litchi fruit of ‘Nuomici’ and ‘Feizixiao’. *Acta Horticulturae Sinica*, 30 (1): 1 – 5. (in Chinese)
- 王惠聪, 黄辉白, 黄旭明. 2003. 荔枝果实的糖积累与相关酶活性. *园艺学报*, 30 (1): 1 – 5.
- Wang K, Shao X, Gong Y. 2013. The metabolism of soluble carbohydrates related to chilling injury in peach fruit exposed to cold stress. *Postharvest Biol Technol*, 86: 53 – 61.

- Yang X T, Song J, Campbell-Palmer L. 2013. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biol Technol*, 78: 55 - 66.
- Yu Fang, Shao Xing-feng, Xu Feng, Wang Hong-fei. 2014. Advances on sugar metabolism study in fruits stored at low temperatures. *Journal of Fruit Science*, 31 (1): 125 - 131. (in Chinese)
- 余 芳, 邵兴锋, 许 风, 王鸿飞. 2014. 果实低温贮藏期间糖代谢变化研究进展. *果树学报*, 31 (1): 125 - 131.
- Zhang Yong-ping, Qiao Yong-xu, Yu Jing-quan, Zhao Zhi-zhong. 2008. Progress of researches of sugar accumulation mechanism horticultural plant fruits. *Scientia Agricultura Sinica*, 41 (4): 1151 - 1157. (in Chinese)
- 张永平, 乔永旭, 喻景权, 赵智中. 2008. 园艺植物果实糖积累的研究进展. *中国农业科学*, 41 (4): 1151 - 1157.
- Zhang Yu, Chen Kun-song, Zhang Shang-long. 2004. Sugar metabolism and its regulation in postharvest ripening kiwifruit. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 30 (3): 317 - 324. (in Chinese)
- 张 玉, 陈昆松, 张上隆. 2004. 猕猴桃果实采后成熟过程中糖代谢及其调节. *植物生理与分子生物学报*, 30 (3): 317 - 324.
- Zhao Zhi-zhong, Zhang Shang-long, Xu Chang-jie. 2001. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in satsuma mandarin in fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 28 (2): 118 - 122. (in Chinese)
- 赵智中, 张上隆, 徐昌杰. 2001. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用. *园艺学报*, 28 (2) : 118 - 122.
- Zhou Guo-zhong, Diao Tai-qing. 1997. The relationship between starch content, change of amylase activity and fruit storability on kiwifruit. *Journal of Fruit Science*, 14 (1): 21 - 23. (in Chinese)
- 周国忠, 刁太清. 1997. 猕猴桃果实淀粉含量和淀粉酶活性变化与耐贮性的关系. *果树科学*, 14 (1): 21 - 23.

通 知

“中国园艺学会 2015 年学术年会”征文通知

“中国园艺学会 2015 年学术年会”即日起征集：①研究论文**摘要**，②有关园艺学进展的**综述**。经审查合格的**摘要**将收入《园艺学报》2015 年增刊，**综述**将收入 2015 年正刊（刊期待定），均于会前出版。

征文内容：有关果树、蔬菜、西瓜甜瓜、观赏园艺植物及其它园艺植物的种质资源、遗传育种、生物技术、栽培技术与生理、采后技术与生理等方面未曾发表过的研究论文摘要和文献综述。

投稿要求：摘要稿件需将电子文件发送至本刊电子邮箱（ivfyxb@caas.cn），综述稿件需登录本刊网站（<http://www.ahs.ac.cn>）在线投稿，同时均需将纸质稿件一式两份寄送到：北京中关村南大街 12 号《园艺学报》编辑部（邮编 100081），并请交纳审理费 320 元（邮局汇款地址：北京中关村南大街 12 号中国农业科学院蔬菜花卉研究所，邮编 100081，收款人《园艺学报》编辑部）。对于录用的稿件，将及时通知参会作者，未录用的稿件恕不退回。联系电话：010-62192388。

综述写作要求与《园艺学报》正刊相同。摘要写作要求：

每篇限 A4 纸 1 页（单倍行距，标准字间距），不写英文和参考文献，不用图表。

题目（黑体，2 号字）

作者姓名（仿宋，4 号字）

（作者单位，城市名 邮编）（宋体，小 5 号字）

内容包括目的与意义，材料与方法，研究结果（宋体，5 号字）

关键词：

基金项目：

E-mail：

Tel：

中国园艺学会