

# ‘红富士’苹果果实蔗糖代谢与酸性转化酶和蔗糖合酶关系的研究

王永章 张大鹏\*

(中国农业大学果树分子发育生物学实验室, 北京 100094)

**摘要:** ‘红富士’苹果果实生长发育过程中糖积累和糖代谢相关酶活性的变化规律表明, 发育前期, 可溶性酸性转化酶和细胞壁结合酸性转化酶活性与此阶段果实中可溶性糖的积累量呈显著的负相关; 发育后期, 蔗糖合酶与蔗糖的积累水平呈显著的正相关。据此认为, 红富士苹果果实蔗糖代谢可能主要受到酸性转化酶和蔗糖合酶的调控。

**关键词:** 苹果; 果实; 糖代谢; 转化酶; 蔗糖合酶

**中图分类号:** S 661.1; Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2001) 03-0259-03

## 1 目的、材料与方法

苹果果实所积累糖的种类、含量及比率是决定果实品质和商品价值的要素之一<sup>[1,2]</sup>。现有研究表明, 苹果果实中糖的积累受果实库强、韧皮部卸载、跨膜运输、碳水化合物代谢及相关酶活性等方面的调控<sup>[1~3]</sup>。作为苹果碳水化合物主要运输形式的山梨醇, 经韧皮部卸载, 在果实中被山梨醇脱氢酶 (SDH) 和山梨醇氧化酶 (SOX) 迅速转化成果糖和葡萄糖, 参与果实的生长发育和品质形成<sup>[2,3]</sup>。而蔗糖是苹果果实中糖卸载的另一种重要形式, 并在品质形成有关的代谢中起着重要作用<sup>[1~3]</sup>。但对苹果果实蔗糖积累的机制, 尤其与代谢有关酶的关系尚缺乏研究。本研究以 ‘红富士’ 苹果果实为试材, 对此进行了分析。

试验于 1999 ~ 2000 年 (两年) 在中国农业大学进行, 试材为 10 年生红富士/海棠 (*Malus domestica* Borkh cv. Red Fuji/ *Malus micromalus*), 从花后 (4 月 26 日) 开始每隔 15 d 取样 1 次, 每次随机取 15 个果实, 称其单果质量, 依据果实相对生长率 (relative growth rate) =  $(\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$  计算其值, 分别测定果实的可溶性糖含量和可溶性酸性转化酶 (soluble acid invertase, SAI)、可溶性中性转化酶 (soluble neutral invertase, SNI)、细胞壁结合酸性转化酶 (cell wall-bound acid invertase, CBAI)、蔗糖合酶 (sucrose synthase, SS) 及蔗糖磷酸合酶 (sucrose phosphate synthase, SPS) 的活性<sup>[1]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 果实生长动态及糖累积规律** 从图 1 可以看出, 红富士苹果果实质量积累生长基本符合 S 型生长曲线。从开花到花后 30 d, 果实的相对生长率增加最快, 此阶段主要是细胞分裂期; 而后相对生长率逐渐降低并保持相对稳定, 一直持续到果实采收。在果实的发育早期, 几乎没有蔗糖的积累, 果糖含量也较低, 而葡萄糖含量相对较高; 随果实的发育,

收稿日期: 2000 - 12 - 18; 修回日期: 2001 - 03 - 15

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (39730340)

\*通讯作者。

果糖增加显著且持续到果实成熟,成为主要的可溶性糖;葡萄糖在花后 45~75 d 略有下降,发育后期又有所增加;而发育后期(花后 90~180 d)是蔗糖的主要累积期,此阶段蔗糖积累增加显著。

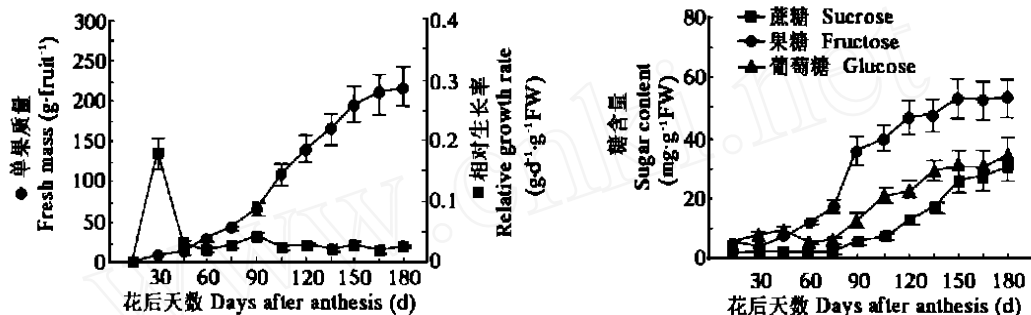


图 1 红富士苹果果实生长动态及糖积累曲线

Fig. 1 Growth curve and sugar accumulation of 'Red Fuji' apple during fruit development

2.2 果实糖代谢相关酶变化规律 在发育早期(图 2),红富士苹果果实的 SAI 活性最高, CBAI 活性次之。随着果实的发育,二者活性逐渐降低,从花后 75 d 至果实成熟,二者均维持较低活性。SNI 在整个发育周期活性变幅较小且活性较低。SS 在发育前期活性较高;发育中期活性略有下降(花后 75 d 活性最低);发育后期,SS 活性再次升高且显著高于前期活性;而 SPS 在整个发育周期与可溶性中性转化酶活性变化规律相类似,活性变化较小。

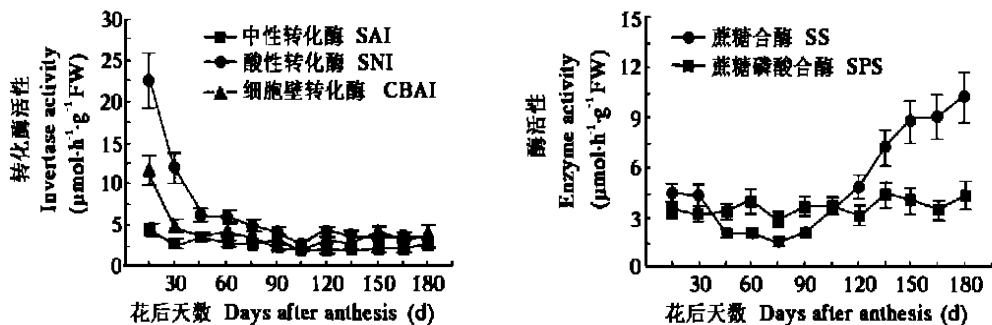


图 2 红富士苹果果实碳水化合物代谢相关酶活性的变化

Fig. 2 Changes of related enzyme activities in carbohydrate metabolism of 'Red Fuji' apple during fruit development

2.3 果实可溶性糖积累与代谢相关酶活性的关系 从表 1 可以看出,红富士苹果果实蔗糖代谢主要受酸性转化酶及蔗糖合酶的调控。发育早期,红富士苹果果实蔗糖积累较少的原因在于存在高活性的 SAI 及 CBAI,二者与蔗糖间均存在显著的相关性;而发育后期,果实蔗糖的显著增加主要与 SS 活性有关,经相关分析表明二者间存在极显著的相关性;纵观整个发育周期,果实蔗糖的积累主要受 SS 的调控,而与其它糖代谢相关酶(SPS、SAI、SNI 及 CBAI)均不存在显著的相关性。

表 1 还表明,红富士苹果果实葡萄糖、果糖的积累主要与 SAI 及 CBAI 有关。在果实发育早期,葡萄糖、果糖与 SAI 及 CBAI 之间均存在显著的相关性,从果实整个发育过程来看,红富士苹果果实果糖、葡萄糖的积累主要与 SAI 有关,另外,果糖与 SS,葡萄糖与

SS 之间也存在显著的相关性，但果糖和葡萄糖与 SNI、SPS 之间均不存在显著的相关性。

表 1 红富士苹果果实可溶性糖与糖代谢相关酶的相关性

Table 1 Correlation coefficients of soluble sugar and related enzyme activities in ‘Red Fuji’ apple fruit				
可溶性糖 Soluble sugar	糖代谢相关酶 Related enzymes in sugar metabolism	相关系数 Correlation coefficient		
		发育前期 Early stage (0 - 90 DAA *)	发育后期 Late stage (105 - 180 DAA *)	整个发育期 Full stage (0 - 180 DAA *)
蔗 糖 Sucrose	蔗糖合酶 Sucrose synthase	- 0.6555	0.9836 **	0.8404 *
	可溶性酸性转化酶 Soluble acid invertase	- 0.7566 *	- 0.1028	- 0.4882
	细胞壁结合转化酶 Cell wall-bound acid invertase	- 0.7618 *	0.4030	- 0.3774
果 糖 Fructose	蔗糖合酶 Sucrose synthase	- 0.6742	0.9338 **	0.5869 *
	可溶性酸性转化酶 Soluble acid invertase	- 0.7640 *	0.0506	- 0.6593 *
	细胞壁结合转化酶 Cell wall-bound acid invertase	- 0.7607 *	0.4748	- 0.5822
葡萄糖 Glucose	蔗糖合酶 Sucrose synthase	- 0.5902	0.9911 **	0.7652 *
	可溶性酸性转化酶 Soluble acid invertase	- 0.7817 *	- 0.1754	- 0.6111 *
	细胞壁结合转化酶 Cell wall-bound acid invertase	- 0.8844 *	0.2658	- 0.5484

\*DAA: 花后天数 Days after anthesis

参考文献：

1 王永章, 张大鹏. 乙烯对成熟期新红星苹果果实碳水化合物代谢的调控. 园艺学报, 2000, 27 (6): 391 ~ 395  
2 吕英民, 张大鹏. 果实发育过程中糖的积累. 植物生理学通讯, 2000, 27 (4): 258 ~ 265  
3 Beruter J, Studer Feusi M E, Ruedi P. Sorbitol and sucrose partitioning in the growing apple fruit. J. Plant Physiol., 1997, 151: 269 ~ 276  
4 Isla M I, Vattuone M A, Sanpietro A R. Essential group at the active site of *Frapaeolum* invertase. Phytochemistry, 1998, 47: 1189 ~ 1193

A Study on the Relationships between Acid Invertase, Sucrose Synthase and Sucrose Metabolism in ‘Red Fuji’ Apple Fruit

Wang Yongzhang and Zhang Dapeng

(Laboratory of Molecular Developmental Biology of Fruit Trees, China Agricultural University, Beijing 100094)

**Abstract:** The changes of sugar accumulation and related enzyme activities in sugar metabolism of ‘Red Fuji’ apple fruit showed that the activities of soluble and cell wall-bound acid invertase had significant negative correlation with soluble sugar contents in the early stage of fruit development. However, the activity of sucrose synthase showed a highly positive correlation with sucrose accumulation in the late development stage. It is concluded that the sucrose metabolism in apple fruit may be mainly mediated by acid invertase and sucrose synthase.

**Key words:** Apple; Fruit; Sugar metabolism; Invertase; Sucrose synthase