

# 红肉脐橙果实发育过程中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素、糖、GA、ABA含量的变化

王贵元 夏仁学\*

(华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070)

**摘 要:** 研究了红肉脐橙果实发育过程中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素、糖分及内源 GA 和 ABA 含量的变化, 结果表明: 番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量均于果实膨大期迅速积累, 且于果实着色期 (11月 12日) 达到最大值, 成熟时有一定程度的下降; 蔗糖含量于果实着色前迅速增长, 果实成熟期缓慢积累, 葡萄糖和果糖于果实着色前缓慢积累, 成熟期迅速积累; GA 含量在果实膨大期迅速下降, 并于果实转色前 (10月 10日) 下降到最低值, 以后维持较低水平; ABA 含量经过 2次迅速上升于果实转色前 (10月 10日) 达到最大, 进入着色期, ABA 含量迅速下降, 成熟期维持在较高水平。

**关键词:** 红肉脐橙; 番茄红素;  $\beta$ -胡萝卜素; 葡萄糖; 果糖; 蔗糖; ABA; GA

**中图分类号:** S 666.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2005) 03-0482-04

## Changes in the Contents of Lycopene, Beta-carotene, Sugar and Endogenous GA and ABA in Flesh during the Fruit Development of 'Cara Cara' Orange

Wang Guiyuan and Xia Renxue\*

(College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The changes in contents of lycopene, beta-carotene, sugar and endogenous GA and ABA during the fruit development of 'Cara Cara' orange were studied. The results showed that contents of lycopene and beta-carotene in the flesh of Cara Cara accumulated rapidly during fruit expanding period and reached maximum at fruit coloring period (November, 12) and both fell a little during fruit maturation. The content of sucrose increased rapidly before fruit coloring and accumulated slowly during fruit maturation. The contents of glucose and fructose accumulated slowly before fruit coloring and increased rapidly during fruit maturation. The content of GA decreased rapidly during fruit expanding period and decreased minimum before fruit coloring (October, 10), after that maintained a lower level. The content of ABA reached maximum before fruit coloring through two rapidly accumulated courses, and decreased rapidly during fruit coloring and maintained a high level during fruit maturation.

**Key words:** Cara Cara; Lycopene; Beta-carotene; Glucose; Fructose; Sucrose; ABA; GA

### 1 目的、材料与方法

番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素、GA<sub>3</sub>及 ABA均由植物类异戊二烯途径中的第一个直接前体物质 GGPP (= 牛儿基 = 牛儿基焦磷酸) 转化而来<sup>[1]</sup>, 而 GGPP则由光合作用的直接产物葡萄糖分子转化而来<sup>[2]</sup>, 糖分的积累和类胡萝卜素的生物合成均受到内源激素调控<sup>[3,4]</sup>, GGPP在何时具体向哪种物质转化, 是个值得深入探讨的问题。前人已做过红肉脐橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck 'Cara Cara'] 果实发育过程中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的变化研究<sup>[5,6]</sup>, 但对其糖分、内源 GA 和 ABA 含量的变化

收稿日期: 2004 - 08 - 12; 修回日期: 2004 - 12 - 02

基金项目: 科技部三峡移民科技开发专项 (S200110)

\*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: renxuexia@mail.hzau.edu.cn)

却未见报道。本试验研究红肉脐橙果实发育过程中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素、糖分及内源 GA 和 ABA 含量的变化, 为进一步研究红肉脐橙果肉的着色机制奠定基础。

红肉脐橙采自湖北省秭归县柑橘良种示范场, 1999 年春季高接于基础为枳 (*Poncirus trifoliata* Raf) 的罗伯逊脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck 'Robertson') 上。试验地处于南坡, 红黄壤土。常规栽培管理。分别于 2003 年 7 月 13 日、8 月 13 日、9 月 12 日、10 月 10 日、11 月 12 日和 12 月 22 日取样 (果肉), 所有样品均用液氮速冻后带回实验室, 贮存于  $-40^{\circ}\text{C}$  冰箱中备用。

色素的提取和测定参照王贵元等<sup>[6]</sup>的方法, 内源 GA 和 ABA 的提取与测定参考谈锋<sup>[7]</sup>、陈雪梅等<sup>[8]</sup>的方法。

葡萄糖、果糖、蔗糖的提取参考毛多斌等<sup>[9]</sup>的方法, 并加以改进。称果肉鲜样 1.00 g 左右, 用咪唑-盐酸缓冲液 (含 80% 甲醇, pH 7) 研磨匀浆, 过滤并加 1 mL 内标 (甲基- $\beta$ -D-葡萄糖苷, 2.5 g 溶于 100 mL 重蒸水, 少量乙醇助溶) 定容至 25 mL, 取 5 mL 溶液  $10\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 10 min, 取上层液 0.5 mL 冻干, 存放于干燥器内, 用 0.5 mL 无水吡啶超声溶解, 依次加 0.2 mL 六甲基二硅氮烷和 0.1 mL 三甲基氯硅烷, 30 振荡 3 h, 在冰浴中加正己烷 0.6 mL 和重蒸水 0.5 mL, 静置分层, 取上层液进样。气相色谱条件参考 Francesco Bartolozzi 等<sup>[10]</sup>的方法, 并加以改进。FD 检测器, 进样口温度  $250^{\circ}\text{C}$ , 检测器温度  $270^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{H}_2$  流量  $40\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $\text{N}_2$  流量  $25\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , 空气流量  $400\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , 柱头压 10 335 Pa, 进样量 1  $\mu\text{L}$ , 分流比 60:1, 升温程序为:  $130^{\circ}\text{C}$  保温 1 min,  $8^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至  $152^{\circ}\text{C}$ ,  $12^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至  $176^{\circ}\text{C}$ ,  $16^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至  $198^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至  $238^{\circ}\text{C}$ ,  $24^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至  $280^{\circ}\text{C}$ , 最后在  $290^{\circ}\text{C}$  保持 2 min。

## 2 结果与分析

### 2.1 番茄红素和 $\beta$ -胡萝卜素含量的变化

从图 1 可以看出, 番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的含量基本随着果实的生长发育而上升, 与我们 2002 年试验结果所不同的是, 两色素含量均在着色期 (11 月 12 日) 达到最大值, 在果实成熟期有所下降。

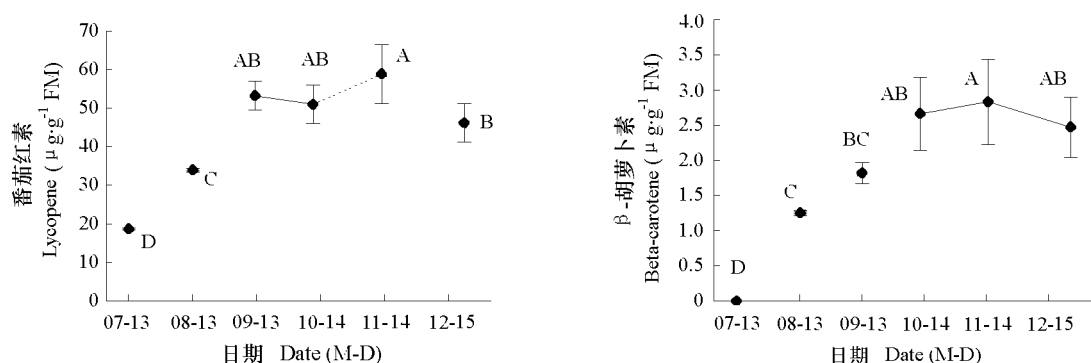


图 1 红肉脐橙果实发育过程中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量的变化 (2003)

Fig. 1 Changes of lycopene and beta-carotene content during the fruit development of Cara Cara (2003)

### 2.2 GA 和 ABA 含量的变化

由图 2 可见, 红肉脐橙果实中的 GA 含量于果实膨大期 (7 月 13 日至 10 月 10 日) 迅速下降, 并于果实转色前 (10 月 10 日) 下降到最低值, 此后于果实着色期出现一个小高峰, 果实成熟期 GA 含量维持在较低的水平; ABA 含量的变化在整个果实发育期间为一单峰曲线, 并于果实转色前 (10 月 10 日) 达到最大值, 之后迅速下降, 果实进入成熟期, ABA 含量稳定而缓慢下降, 并维持在较高的水平 ( $4.25\sim4.43\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ FM}$ )。

### 2.3 糖含量的变化

由图 3 可知, 红肉脐橙果实中的糖含量整体上呈上升趋势。果实迅速膨大期 (7 月 13 日至 8 月

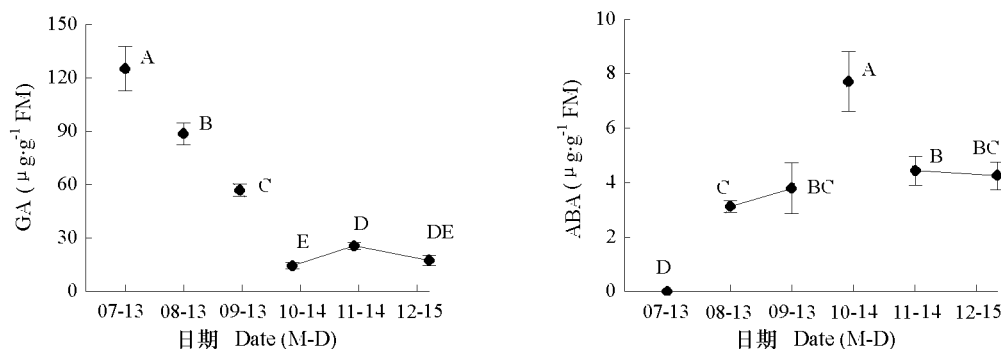


图 2 红肉脐橙果实发育过程中 GA 和 ABA 含量的变化

Fig. 2 Changes of GA and ABA content during the fruit development of Cara Cara

13日), 葡萄糖和果糖的含量略有下降, 果实着色前蔗糖的积累快于果糖和葡萄糖; 葡萄糖和果糖于果实成熟期迅速上升, 而蔗糖于果实成熟期缓慢上升, 果实成熟期以积累葡萄糖和果糖为主; 葡萄糖、果糖和蔗糖含量均于果实成熟时达到最大值, 分别为  $16.70 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FM}$ 、 $20.87 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FM}$  和  $37.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FM}$ 。

红肉脐橙果实中的糖含量基本随果实的生长发育而增加, 但不同的糖在各时期积累有差异 (图 3)。果实中蔗糖含量在果实膨大期开始就高于葡萄糖和果糖, 采样时分别占总糖含量的 42.48%、57.72%、52.90%、60.86%、60.77%、49.71% (总糖含量以葡萄糖、果糖和蔗糖之和计), 表明红肉脐橙是以蔗糖积累为主的果实, 与其它脐橙及温州蜜柑等的糖分组类似<sup>[11]</sup>。

## 2.4 小结

随着糖分的积累, 果实中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量同步增加, 但果实成熟期番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量有所下降, 一方面可能与成熟时番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素转化为下游产物有关<sup>[12]</sup>, 另一方面可能由于湖北秭归此期的阴雨气候导致, 因番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的合成受光照和温度的影响明显<sup>[13, 14]</sup>。

番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的积累伴随着 GA 含量的下降和 ABA 含量的上升, 表明内源 GA 和 ABA 对番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的积累分别具有负调控和正调控的效应。Gaynor<sup>[15]</sup>等对不同脐橙品种果实着色期内源 ABA 含量和色泽发育关系的研究结果表明, 所有品种均在果皮转色时内源 ABA 含量达到高峰, 此后随着果皮颜色的显现, 内源 ABA 的含量下降。我们对红肉脐橙果肉的研究结果与其一致, 只不过内源 ABA 的高峰出现于转色前 (10月 10日), 果实进入转色期 (11月 12日) 后 ABA 含量迅速下降, 而此期番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量达到最大值。这表明转色期较低含量的内源 ABA 有利于红肉脐橙果肉番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的积累。

## 参考文献:

- 1 刘 涤, 胡之璧. 植物类异戊二烯生物合成途径的调节. 植物生理学通讯, 1998, 34: 1~9  
Liu D, Hu ZB. Regulation of biosynthetic pathway of isoprenoids in plants. Plant Physiology Communications, 1998, 34: 1~9 (in Chinese)
- 2 Benedict C R, Rosenfield C L, Mahan J R, Madhavan S, Yokoyama H. The chemical regulation of carotenoid in citrus. Plant Science, 1985, 41: 169~173

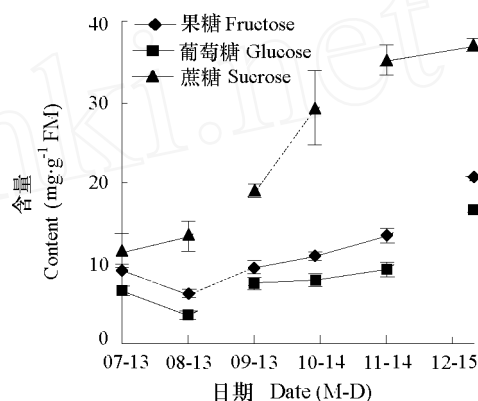


图 3 红肉脐橙果实发育过程中葡萄糖、果糖和蔗糖的变化

Fig. 3 Changes of glucose, fructose and sucrose during the fruit development of Cara Cara

- 3 Echeverria E, Pedro C, Gonzalez, Andreas Brune. Characterization of proton and sugar transport at the tonoplast of sweet lime (*Citrus limetoides*) juice cells. *Physiologia Plantarum*, 1997, 101: 291 ~ 300
- 4 赵智中, 张上隆, 陈俊伟, 陶俊, 吴延军. 柑橘品种间糖积累差异的生理基础. *中国农业科学*, 2002, 35 (5): 541 ~ 545  
Zhao Z Z, Zhang S L, Chen J W, Tao J, Wu Y J. The physiological mechanism on the difference of sugar accumulation in citrus varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (5): 541 ~ 545 (in Chinese)
- 5 徐娟, 邓秀新. 红肉脐橙果肉中主要色素的定性及色素含量的变化. *园艺学报*, 2002, 29 (3): 203 ~ 208  
Xu J, Deng X X. Identification of main pigments in red flesh navel orange (*Citrus sinensis* L.) and evaluation of their concentration changes during fruit development and storage. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29 (3): 203 ~ 208 (in Chinese)
- 6 王贵元, 夏仁学. 红肉脐橙果肉中番茄红素和 $\beta$ -胡萝卜素含量的变化及外源 ABA 和 GA<sub>3</sub> 对其的影响. *园艺学报*, 2005, 32 (2): 207 ~ 211  
Wang G Y, Xia R X. Lycopene and  $\beta$ -carotene in flesh of Cara Cara and effects of exogenous ABA and GA<sub>3</sub> on their contents changes. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32 (2): 207 ~ 211 (in Chinese)
- 7 谈锋. 植物激素的高效液相色谱. *植物生理学通讯*, 1986, 15 (5): 15 ~ 23  
Tan F. High-performance liquid chromatograph of plant hormones. *Plant Physiology Communications*, 1986, 15 (5): 15 ~ 23 (in Chinese)
- 8 陈雪梅, 王沙生. HPLC法定量分析植物组织中的 ABA、IAA 和 NAA. *植物生理学通讯*, 1992, 28 (5): 368 ~ 371  
Chen X M, Wang S S. Quantitative analysis of ABA, IAA and NAA in plant tissues by HPLC. *Plant Physiology Communications*, 1992, 28 (5): 368 ~ 371 (in Chinese)
- 9 毛多斌, 曲志刚, 张俊松, 田宁亚, 张文叶. 烟草中游离糖的毛细管气相色谱分析. *色谱*, 2003, 21 (4): 437  
Mao D B, Qu Z G, Zhang J S, Tian N Y, Zhang W Y. Capillary gas chromatography of dissociative sugar in tobacco. *Chinese Journal of Chromatography*, 2003, 21 (4): 437 (in Chinese)
- 10 Francesco Bartolozzi, Gianpaolo Bertazza, Daniele Bassi, Graziella Cristoferi. Simultaneous determination of soluble sugars and organic acids as their trimethylsilyl derivatives in apricot fruits by gas-liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1997, 758: 99 ~ 107
- 11 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 陈昆松, 刘拴桃. 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*, 2001, 28 (2): 112 ~ 118  
Zhao Z Z, Zhang S L, Xu C J, Chen K S, Liu S T. Roles of activities of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in satsuma mandarin fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28 (2): 112 ~ 118 (in Chinese)
- 12 Fruser P D, Triesdale M R, Bird C R, Schuch W, Bramley P M. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*, 1994, 105: 405 ~ 413
- 13 Meredith F I, Young R H. Effect of temperature on pigment development in Red Blush grapefruit and Ruby Blood oranges. *Proc. First Int Citrus Symp.*, 1969, 1: 271 ~ 276
- 14 Purcell A E, Young R H, Schultz E F, Meredith F I. The effect of artificial climate on the internal fruit color of Red Blush grapefruit. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 1968, 92: 170 ~ 178
- 15 Gaynor R, Richardson A K, Cowan. Absciseic acid content of *Citrus flavedo* in relation to colour development. *Journal of Horticultural Science*, 1995, 70 (5): 769 ~ 773

## 新书推荐

## 《英汉生物学词汇》(第二版)

本书是《英汉生物学词汇》1983年版的增修订本, 是一部综合生物学各分支学科词汇的大型工具书。收有动物学、植物学、人体解剖学、组织胚胎学、微生物学、遗传学、细胞学、生物化学、生物物理学、时间生物学、生物工程、分子生物学、生态学等学科以及医学、农学的词汇, 共约 130 000 条。定价: 99 元 (含邮费)。

## 《英汉园艺学词典》 章文才主编

该词典共收集专业词汇约两万条, 按照全、新、准、精的收词原则, 收录了园艺科学的基本词汇和与园艺科学有密切联系的基础科学和边缘科学词汇, 其中从现代外文书刊中摘录的拼合新词约 100 多条。为了便于检索, 本词典将主要的果树、蔬菜、花卉种名, 按植物属分类汇编。可供我国园艺界的教学、科研、生产方面的专业人员和广大园艺工作者参考使用。定价: 23 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。