

# 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 $GA_3$ 对其的影响

王贵元 夏仁学\*

(华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070)

**摘要:** 用高效液相色谱法测定了红肉脐橙果实发育期间果肉中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量的变化, 并对果实转色期用不同浓度的外源 ABA 和  $GA_3$  处理后主要色素的含量进行了测定。结果表明: 果肉中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的含量在果实成熟期 (12月 21日) 达到最大值 (分别为 26.79 和 9.21  $\mu g \cdot g^{-1}$  FM), 分别在果实膨大期和果实成熟期迅速积累,  $\beta$ -胡萝卜素的合成较番茄红素滞后; 外源 ABA 处理促进番茄红素的积累, 但不一定促进  $\beta$ -胡萝卜素的积累; 较高浓度的  $GA_3$  在一定程度上抑制番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的积累, 但低浓度的  $GA_3$  (如 50  $mg \cdot L^{-1}$ ), 则能明显促进果肉中番茄红素的积累。

**关键词:** 柑橘; 番茄红素;  $\beta$ -胡萝卜素; ABA;  $GA_3$

**中图分类号:** S 666 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2005) 02-0207-05

## Lycopene and Beta-carotene Content in Flesh of Cara Cara Orange and Effects of Exogenous ABA and $GA_3$ on Their Content Changes

Wang Guiyuan and Xia Renxue\*

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

**Abstract:** The content of lycopene and beta-carotene during fruit development and following exogenous ABA and  $GA_3$  treatments at the color break period in flesh of Cara Cara orange (*Citrus sinensis* Osbeck) was determined by HPLC. The results showed that content of lycopene and beta-carotene in the flesh of Cara Cara orange reached maximum (26.79 and 9.21  $\mu g \cdot g^{-1}$  FM, respectively) during fruit maturation; lycopene and beta-carotene accumulated rapidly from August 17 to October 20 and from October 20 to December 21, respectively. Exogenous ABA facilitated the accumulation of lycopene but not always facilitated the accumulation of beta-carotene. Exogenous  $GA_3$  of high concentration restrained the accumulation of lycopene and beta-carotene to a certain extent while low concentration remarkably facilitated the accumulation of lycopene.

**Key words:** *Citrus*; Lycopene; Beta-carotene; ABA;  $GA_3$

红肉脐橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck 'Cara Cara'] 原产于委内瑞拉, 为华盛顿脐橙 [*C. sinensis* (L.) Osbeck 'Washington'] 的芽变, 是迄今为止甜橙中唯一果肉呈红色且着色均匀的品种。20世纪 90年代后期引种至中国三峡库区等地栽培, 并于 2001年 3月 1日通过湖北省农作物品种审定委员会审(认)定<sup>[1]</sup>。初步研究发现, 红肉脐橙果肉中的主要色素为番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素<sup>[2]</sup>, 但影响红肉脐橙果肉中主要类胡萝卜素的研究少见报道。在植物类异戊二烯的生物合成途径中, 番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素、 $GA_3$  及 ABA 均由类胡萝卜素生物合成中的第 1 个直接前体物质 GGPP (= 牛儿基-牛儿基焦磷酸) 转化而来, 该途径中各产物的合成和转化受不同的基因所调控<sup>[3]</sup>。本试验以红肉脐橙果实发育过程中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量的动态变化为基础, 在果实转色期用外源 ABA 和  $GA_3$  对红肉脐橙果实进行处理, 探讨脐橙果肉中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的变化规律以及植物生长

收稿日期: 2004 - 09 - 14; 修回日期: 2004 - 12 - 27

基金项目: 科技部三峡移民科技开发专项资助项目 (S200110)

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

调节剂处理对其主要色素合成过程的影响, 为提高红肉脐橙果肉的着色提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

红肉脐橙采自湖北省秭归县柑橘良种示范场, 1999年春季将该品种上年生秋梢高接于以枳 (*Poncirus trifoliata* Raf) 为基础的 13年生罗伯逊脐橙 (*C. sinensis* Osbeck 'Robertson') 上, 梯田栽植, 株行距 1.5 m × 2.0 m, 高接后 2000年始果, 2001年进入盛果期。试验地为红黄壤土。树体进行常规栽培管理。2002年红肉脐橙主要物候期为: 盛花期 4月 25~29日, 幼果期 5月上旬~7月上旬, 果实膨大期 7月中旬~9月下旬, 果实转色期 10月上旬~11月中旬, 果实成熟期 11月下旬~12月下旬。

### 1.2 方法

采用单因素设计, 于果实转色期 (10月 20日) 将  $GA_3$  (浙江钱江生物化学股份有限公司, 含量 80%) 或 ABA (江苏双沟酒业集团, S型 ABA 含量 98%) 粉末放入羊毛脂中搅匀, 用毛笔将其均匀涂抹于果实表面。 $GA_3$  设 4个处理水平: 50、100、200和 400  $mg \cdot L^{-1}$ 。ABA 也设 4个处理水平: 5、20、50和 100  $mg \cdot L^{-1}$ 。单株小区, 3次重复, 以涂抹不含  $GA_3$  或 ABA 的羊毛脂为对照。

分别于 2002年 6月 17日、7月 15日、8月 17日、9月 20日取对照树果实 (果肉); 10月 20、25日, 11月 3、20日及 12月 21日 (成熟期) 取对照果实, 同时取  $GA_3$  和 ABA 处理树的果实。所有样品均用液氮速冻后带回实验室, 贮存于 -40 °C 冰箱中备用。

色素的提取参照王强等<sup>[4]</sup>和徐娟等<sup>[2]</sup>的方法, 并稍作改变。称取 1g左右的红肉脐橙果肉, 加少许无水  $Na_2CO_3$  粉末后用丙酮/石油醚混合液 (1:1, 含 0.1%BHT) 研磨匀浆, 6 000  $r \cdot min^{-1}$  离心 10 min, 取上清液, 残渣再提取 1次, 合并上清液, 用 10% 的 NaCl 水溶液洗丙酮和其它杂质, 取上清液, 水相再用石油醚 (沸程 30~60 °C) 萃取 1~2次至上层近无色, 合并有机相, 加少量无水  $Na_2SO_4$  脱水, 37 °C 左右减压蒸干, 1 mL 石油醚 (沸程 60~90 °C) 溶解残留物, 10 000  $r \cdot min^{-1}$  离心 10 min, 取上清液, 采用高效液相色谱法进行番茄红素与  $\beta$ -胡萝卜素含量的测定。

高效液相色谱分析参照徐娟等<sup>[2]</sup>的方法, 并稍作改变。高效液相色谱仪 (美国 Varian 公司) 包括 P410自动进样器, P230三元梯度泵, UV310紫外可见检测器, 色谱工作站为 Star Chromatography Workstation。Micro C18柱, 柱长 150 mm, 内径 4.6 mm, 粒度 5  $\mu m$ 。流动相为乙腈/二氯甲烷/甲醇 = 70/25/5, 流速 1  $mL \cdot min^{-1}$ , 柱温 25 °C, 进样量 10  $\mu L$ , 检测波长 450 nm。

## 2 结果与分析

### 2.1 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

从图 1中可以看出, 8月 17日~10月 20日是番茄红素积累的关键时期, 果肉内大量合成番茄红素; 10月 20日~11月 20日番茄红素含量出现一个先迅速下降后迅速上升的过程; 果实进入成熟期, 番茄红素含量缓慢上升, 到成熟时 (12月 21日) 果肉中的番茄红素含量达到最大值 (26.79  $\mu g \cdot g^{-1}$  FM)。 $\beta$ -胡萝卜素的含量在 9月 20日以前含量较低, 9月下旬以后开始大量合成, 10月 20~25日有所下降此后迅速上升, 至成熟时 (12月 21日) 达到最大值 9.21  $\mu g \cdot g^{-1}$  FM。

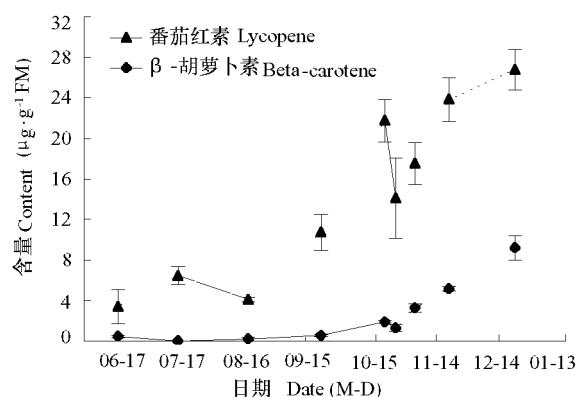


图 1 红肉脐橙果肉中番茄红素与  $\beta$ -胡萝卜素含量的变化 (2002)

Fig. 1 Changes of lycopene and beta-carotene in flesh of Cara Cara orange

从图 1 中还可看出，番茄红素与β-胡萝卜素的含量基本随着果实的生长发育而上升，在果实膨大期以前（8 月中、下旬），番茄红素，尤其是β-胡萝卜素的含量都较低，此后两色素的含量分别迅速积累。相关分析表明，两色素含量在整个果实发育期间呈显著正相关（ $r=0.85$ ， $P<0.05$ ），只是番茄红素在果实膨大期后便开始迅速合成，而β-胡萝卜素在果实进入成熟期（果实转色期后）才迅速合成，即β-胡萝卜素的合成较番茄红素滞后。

2.2 ABA 处理后番茄红素和β-胡萝卜素含量的变化

从表 1 中可以看出，ABA 处理后 5 d，处理与对照的番茄红素含量均下降，且处理浓度越高，下降越慢（50 mg·L<sup>-1</sup>除外），各处理与对照之间的番茄红素含量差异不显著；处理 15 d 后，5 mg·L<sup>-1</sup>的与对照的番茄红素含量同处于上升趋势，而高浓度（50 mg·L<sup>-1</sup>）的处理仍处于下降状态或者略有上升；至 11 月 20 日，ABA 50 mg·L<sup>-1</sup>处理的番茄红素含量达到 31.94 μg·g<sup>-1</sup> FM，极显著高于 ABA 5、20 和 100 mg·L<sup>-1</sup>的处理及对照，而 ABA 5、20 和 100 mg·L<sup>-1</sup>的处理与对照之间没有显著差异；此后，随着果实的逐渐成熟，处理与对照的番茄红素含量都上升，但各处理均比对照上升快，且浓度越高，上升越快，至果实成熟时，ABA 50 和 100 mg·L<sup>-1</sup>处理的番茄红素含量极显著高于对照，5 和 20 mg·L<sup>-1</sup>的 ABA 处理则与对照差异不显著。

由表 1 还可看出，ABA 处理后 5 d，除 20 mg·L<sup>-1</sup> ABA 处理的β-胡萝卜素含量极显著高于对照和其它处理外，其它处理和对照之间差异不显著。但 ABA 处理后β-胡萝卜素的变化规律不太明显，50 mg·L<sup>-1</sup> ABA 处理的β-胡萝卜素含量在 11 月 20 日有一异常高峰，其它处理与对照一直处于上升的趋势，至果实成熟时，各 ABA 处理的β-胡萝卜素含量极显著低于对照或与对照近似。

表 1 果实转色期外源 ABA 处理后番茄红素和β-胡萝卜素含量的变化

Table 1 Changes of lycopene and beta-carotene in Cara Cara orange after ABA treatment during fruit colour break

ABA (mg·L <sup>-1</sup> )	番茄红素 Lycopene(μg·g <sup>-1</sup> FM)					β-胡萝卜素 Beta-carotene(μg·g <sup>-1</sup> FM)				
	10 - 20	10 - 25	11 - 03	11 - 20	12 - 21	10 - 20	10 - 25	11 - 03	11 - 20	12 - 21
0 (对照 Control)	21.76	14.10	17.54AB	23.82B	26.79B	1.89	1.28B	3.27AB	5.15B	9.21A
5	22.12	13.95	21.14A	21.53B	28.86B	1.82	1.27B	3.11AB	5.59B	7.93AB
20	21.84	16.91	12.42C	23.20B	33.28B	1.84	2.36A	2.27B	4.92B	9.60A
50	21.20	12.05	13.58BC	31.94A	45.24A	1.88	1.58B	3.39A	9.35A	4.50C
100	21.65	18.15	12.33C	21.62B	42.25A	1.86	1.65B	2.44AB	4.06B	4.23C

注：各处理的平均值作 Duncan's 多重检验，同一列中的平均数后面附有不同大写字母者差异极显著（ $P=0.01$ ）。下表同。  
Note: Mean difference of treatments identified by Duncan's multiple range test Means at the same line followed by different capital letters differ extremely significantly at  $P=0.01$ . So are the Table 2

2.3 GA<sub>3</sub> 处理后番茄红素和β-胡萝卜素含量的变化

从表 2 中可以看出，转色时 GA<sub>3</sub> 处理后 5 d，番茄红素的含量急剧上升，以 GA<sub>3</sub> 50 mg·L<sup>-1</sup> 处理的上升最快，且各处理番茄红素的含量均极显著高于对照，而对照果实番茄红素含量在这 5 d 内迅速下降；此后，对照的番茄红素含量一直处于上升的状态，而 GA<sub>3</sub> 处理后番茄红素的含量则出现一个先下降再上升的过程（100 mg·L<sup>-1</sup> 处理的一直处于缓慢下降的状态）；至果实成熟时，除 50 mg·L<sup>-1</sup>

表 2 果实转色期外源 GA<sub>3</sub> 处理后番茄红素和β-胡萝卜素含量的变化

Table 2 Changes of lycopene and beta-carotene in Cara Cara orange after GA<sub>3</sub> treatment during fruit colour break

GA <sub>3</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	番茄红素 Lycopene(μg·g <sup>-1</sup> FM)					β-胡萝卜素 Beta-carotene(μg·g <sup>-1</sup> FM)				
	10 - 20	10 - 25	11 - 03	11 - 20	12 - 21	10 - 20	10 - 25	11 - 03	11 - 20	12 - 21
0 (对照 Control)	21.76	14.10D	17.54B	23.82B	26.79B	1.89	1.28C	3.27A	5.15B	9.21A
50	21.58	33.65A	21.92A	34.31A	34.97A	1.85	3.37A	3.84A	11.25A	8.23A
100	22.86	25.63B	17.51B	16.38C	14.69D	1.91	2.93AB	3.17A	4.63B	3.11B
200	20.84	21.14C	15.65B	19.01BC	19.37CD	1.86	2.58B	1.92B	3.15B	1.81B
400	21.54	25.96B	12.06C	22.46BC	22.45BC	1.88	2.58B	2.39B	5.23B	1.94B

处理的番茄红素含量极显著高于对照外, 其它处理比对照极显著低或与对照相当。这说明较高浓度的外源  $GA_3$  处理抑制了果肉中番茄红素的积累。

由表 2 还可看出,  $GA_3$  处理后 5 d,  $\beta$ -胡萝卜素含量迅速上升, 处理浓度越低, 上升越快 ( $r=0.80$ ,  $P<0.05$ ), 且处理的  $\beta$ -胡萝卜素含量均极显著高于对照; 此后, 对照的  $\beta$ -胡萝卜素含量一直上升, 而  $GA_3$  处理的变化规律不太明显, 在 11月 20日出现  $\beta$ -胡萝卜素含量的最大值, 到果实成熟期又下降, 且成熟时各处理的  $\beta$ -胡萝卜素的含量均比对照低, 其中  $GA_3$  100、200和  $400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  处理的  $\beta$ -胡萝卜素含量极显著低于对照, 仅为对照的  $1/2\sim 1/4$ 。这说明高浓度的  $GA_3$  处理严重阻碍了  $\beta$ -胡萝卜素的合成。

### 3 讨论

#### 3.1 果肉中番茄红素和 $\beta$ -胡萝卜素的积累

相关分析表明, 番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量在整个果实发育期间呈显著正相关, 但  $\beta$ -胡萝卜素在果肉中的合成较番茄红素相对滞后, 且前期  $\beta$ -胡萝卜素在果肉中的含量甚微, 可能是前期 LYC (番茄红素  $\beta$ -环化酶) 活性很低, 酶基因表达受到抑制。陶俊等<sup>[6]</sup>用 MPTA (番茄红素  $\beta$ -环化酶的抑制剂) 处理不含番茄红素的 '本地早' 后, 促进了上游前体物质葡萄糖向番茄红素的转化, 番茄红素的含量迅速增加。亦或前期生成的  $\beta$ -胡萝卜素迅速转变成为其下游的产物, 如紫黄质、新黄质和 ABA 等<sup>[7]</sup>。果实成熟期  $\beta$ -胡萝卜素大量积累的可能原因: (1) 底物 (番茄红素) 大量增加, 番茄红素  $\beta$ -环化酶的活性增强, 酶基因的表达增强<sup>[8]</sup>; (2)  $\beta$ -胡萝卜素的后续产物达到饱和状态,  $\beta$ -胡萝卜素向后续产物的转变减少; (3)  $\beta$ -胡萝卜素的另一条生物合成途径被启动<sup>[9,10]</sup>。但这些均需要进一步的研究证实。

#### 3.2 ABA 和 $GA_3$ 对番茄红素和 $\beta$ -胡萝卜素积累的影响

GGPP是所有高等植物中类胡萝卜素生物合成的直接前体物质, 高等植物中的 ABA 主要经植物类胡萝卜素途径合成, 同时  $GA_3$  也由 GGPP经贝壳杉烯和赤霉素转变而来<sup>[11]</sup>。ReyesCandau<sup>[12]</sup>对赤霉菌的突变体和其野生型进行培养发现, 随着类胡萝卜素的增加, 都伴随着  $GA$  含量的减少。对红肉脐橙在果实转色前进行外源  $GA_3$  和 ABA 处理, 对果实大小影响不大, 但在一定程度上减轻了 GGPP向  $GA_3$  和 ABA 的转化, 必然引起果实中间产物含量的增加, 其中 ABA 是果实成熟的启动因子, 可以首先刺激乙烯的生物合成, 间接地调节成熟<sup>[13]</sup>。本试验的研究结果与此基本一致。由于  $GA_3$  能延缓果实的褪绿, 延迟果实的成熟<sup>[14,15]</sup>, 所以它在果实中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的积累效应上是复杂的。陶俊等<sup>[16]</sup>用  $GA_3$  对 '红柿柑' 处理后的研究表明, 外源  $GA_3$  处理较对照提高了果皮  $GA_3$ 、ZT 的水平, 抑制了叶绿素下降和类胡萝卜素、 $\beta$ -隐黄质的合成与积累; 周玉婵等<sup>[17]</sup>对采后的 果用外源  $GA_3$  和 ABA 处理后的结果表明, ABA 显著加快了  $\beta$ -胡萝卜素和叶黄素的上升, 并提高了 PG 的活性, 而  $GA_3$  处理的则出现相反的结果。本试验中除  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $GA_3$  的处理其番茄红素含量比对照高外, 其余的  $GA_3$  处理均比对照低, 其结果也基本相同。

此外, 本研究结果中, 番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素在着色期 (10月 20~25日) 出现一个迅速下降的过程, 这可能与在此期间试验地点连续阴雨天气有关, 因番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素受环境影响明显<sup>[18]</sup>。

外源 ABA 和  $GA_3$  处理后势必要打破内源激素在体内的平衡, 进而影响到一些次生物质在体内的合成与代谢。有关内源激素对红肉脐橙果实中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素合成的影响, 有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- 1 卢开阳, 吴和明. 湖北省 2001 年审 (认) 定的果树新品种. 中国果树, 2001, (3): 48~49  
Lu K Y, Wu H M. Authorized (admissible) new fruit variety in Hubei Province in 2001. Chinese Fruits, 2001, (3): 48~49 (in Chinese)
- 2 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)
- 3 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 Z B. Regulation of biosynthetic pathway of isoprenoids in plants. *Plant Physiology Communications*, 1998, 34: 1 ~ 9 (in Chinese)
- 4 王 强, 韩雅珊, 戴蕴青, 癸田才之. 反相高效液相色谱法同时测定番茄中 5 种类胡萝卜素. *色谱*, 1997, 15 (2): 133 ~ 134  
Wang Q, Han Y S, Dai Y Q, Saishi H irota. Simultaneous determination of five carotenoids in tomato by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Chromatography*, 1997, 15 (2): 133 ~ 134 (in Chinese)
- 5 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
- 6 陶 俊, 张上隆, 张良诚, 徐昌杰, 陈俊伟. MPTA 对柑橘果皮类胡萝卜素形成的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 2002, 28 (1): 46 ~ 50  
Tao J, Zhang S L, Zhang L C, Xu C J, Chen J W. Effect of MPTA on carotenoid biosynthesis in peel of citrus (*Citrus succosa* Hort. ex Tanaka) fruit. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2002, 28 (1): 46 ~ 50 (in Chinese)
- 7 Fruser P D, Triesdale M R, Bird C R, Schuch W, Bramley P M. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiol*, 1994, 105: 405 ~ 413
- 8 Pecker I, Gabbay R, Cunningham J R, Hirschberg J. Cloning and characterization of the cDNA for lycopene  $\beta$ -cyclase from tomato reveals decrease in its expression during fruit ripening. *Plant Molecular Biology*, 1996, 30: 807 ~ 819
- 9 Bramley P M, Than A, Davies B H. Alternative pathways of carotene cyclization in *Phycomyces blakesleanus*. *Phytochemistry*, 1977, 16: 235 ~ 238
- 10 Shaish A, Ben-Amotz A, Avron M. Biosynthesis of  $\beta$ -carotene in *Dunaliella*. A Companion to Methods in Enzymology, 1992, 213: 439 ~ 444
- 11 王金祥, 李 玲, 潘瑞炽. 高等植物中赤霉素的生物合成及其调控. *植物生理学通讯*, 2002, 38 (1): 1 ~ 8  
Wang J X, Li L, Pan R C. Gibberellin biosynthesis and its regulation in higher plants. *Plant Physiology Communications*, 2002, 38 (1): 1 ~ 8 (in Chinese)
- 12 Reyes-Candau. Gibberellins and carotenoids in the wild type and mutants of *Gibberella fujikumi*. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 9: 3378 ~ 3382
- 13 尹金华, 高飞飞, 胡桂兵, 祝曙华. ABA 和乙烯对荔枝果实成熟和着色的调控. *园艺学报*, 2001, 28 (1): 65 ~ 67  
Yin J H, Gao F F, Hu G B, Zhu S H. Roles of abscisic acid and ethylene in the regulation of litchi ripening and coloration. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28 (1): 65 ~ 67 (in Chinese)
- 14 刘晓东, 沈兆敏, 王晓云, Gorini F, Damico M. 应用生长调节剂对锦橙留树保鲜的影响. *浙江农业大学学报*, 1991, 17 (1): 65 ~ 69  
Liu X D, Shen Z M, Wang X Y, Gorini F, Damico M. Study on applying growth regulator for Jincheng (*Citrus sinensis* Osbeck) fresh fruit on plant. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 1991, 17 (1): 65 ~ 69 (in Chinese)
- 15 李 献, 李效静. 红桔枯水机理及 GA<sub>3</sub> 处理效应的研究. *西南农业大学学报*, 1990, 12 (5): 516 ~ 520  
Li X, Li X J. Studies on the mechanism of *Citrus reticulata* Blanco peel puffing and the effect of GA<sub>3</sub> treatment. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1990, 12 (5): 516 ~ 520 (in Chinese)
- 16 陶 俊, 张上隆, 陈昆松, 赵智中, 陈俊伟. GA<sub>3</sub> 处理对柑橘果皮色素变化的影响. *园艺学报*, 2002, 29 (6): 566 ~ 568  
Tao J, Zhang S L, Chen K S, Zhao Z Z, Chen J W. Effect of GA<sub>3</sub> treatment on changes of pigments in peel of citrus fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29 (6): 566 ~ 568 (in Chinese)
- 17 周玉婵, 唐友林, 谭兴杰, 郭俊彦. 采后 ABA, GA<sub>3</sub> 对芒果细胞壁降解酶、类胡萝卜素含量的作用. *植物生理学报*, 1996, 22 (4): 421 ~ 426  
Zhou Y C, Tang Y L, Tan X J, Guo J Y. Effects of exogenous ABA, GA<sub>3</sub> and cell-wall-degrading enzyme activity, carotenoid content in ripening mango fruit. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1996, 22 (4): 421 ~ 426 (in Chinese)
- 18 Harding R W, Shopshire W J. Photocontrol of carotenoid biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiology*, 1980, 31: 217 ~ 238