

## 外源 ABA 和 GA<sub>3</sub> 对红肉脐橙果皮色素含量的影响

王贵元 夏仁学\*

华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070

**提要** 测定红肉脐橙果实发育期间和果实转色期间施用外源 ABA 和 GA<sub>3</sub> 的果皮中叶绿素和总类胡萝卜素含量变化的结果表明: 红肉脐橙果皮中叶绿素总量于 9 月 20 日出现最大值, 为 0.1469 mg·g<sup>-1</sup>(FW); 类胡萝卜素总量于 12 月 21 日达到最大值, 为 0.0321 mg·g<sup>-1</sup>(FW); 转色期用外源 ABA 处理后果皮叶绿素降解加速, 而类胡萝卜素积累受抑; 转色期施用 GA<sub>3</sub> 并不能延缓果皮叶绿素的降解, 但能抑制类胡萝卜素的积累, 因而阻碍了果皮类胡萝卜素的合成。

**关键词** 红肉脐橙; 叶绿素; 类胡萝卜素; ABA; GA<sub>3</sub>

## Effects of Exogenous ABA and GA<sub>3</sub> on Dominant Pigment Contents in Peel of Sweet Orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbesk cv. Cara Cara]

WANG Gui-Yuan, XIA Ren-Xue\*

College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070

**Abstract** The dynamic chlorophyll and carotenoid contents during fruit development and after exogenous ABA and GA<sub>3</sub> treatments during fruit coloring in peel of sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbesk cv. Cara Cara] were determined. The results showed that chlorophyll and carotenoid contents in the peel of Cara Cara reached maximum on September 20 and December 21 respectively, which was 0.1469 and 0.0321 mg·g<sup>-1</sup>(FW) respectively; exogenous ABA accelerated the degradation of chlorophyll and restrained the accumulation of carotenoid; exogenous GA<sub>3</sub> didn't delay the degradation of chlorophyll and restrained the accumulation of carotenoid and prohibited the synthesis of carotenoid.

**Key words** sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbesk cv. Cara Cara]; chlorophyll; carotenoid; ABA; GA<sub>3</sub>

果实着色好坏是影响果品价格和市场竞争力的重要因素, 也是衡量外观品质的重要指标。柑橘果实色泽的显现是果皮叶绿素降解和类胡萝卜素发育的结果, 叶绿素消退和类胡萝卜素发育的程度直接关系到果品的色泽品质<sup>[1]</sup>。本文以红肉脐橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbesk cv. Cara Cara] 果实发育期间叶绿素和类胡萝卜素含量的动态变化为基础, 测定转色期间施用外源 ABA 和 GA<sub>3</sub> 后红肉脐橙果实成熟过程中果皮叶绿素和类胡萝卜素的含量变化, 探讨外源激素在脐橙果皮色泽发育过程中的作用机制, 为进一步调控柑橘果实的着色及提早或延迟果实的成熟提供参考。

### 材料与方法

试验于 2002 年在湖北省秭归县柑橘良种示范场进行。红肉脐橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbesk cv. Cara Cara] 于 1999 年春季高接于以枳 (*Poncirus trifoliata* Raf) 为基础的罗伯逊脐橙 (*C. sinensis* Osbesk cv. Robertson) 成年树上, 2000 年始果, 2001 年进入盛果期。选取生长健壮、树体无不良表现、

长势一致的试验树若干。试验采用单因素设计。于果实转色期 (10 月 20 日), 将外源激素 GA<sub>3</sub> 或 ABA 涂抹于红肉脐橙果实表面。GA<sub>3</sub> 设 4 个处理: 50、100、200 和 400 mg·L<sup>-1</sup>; ABA 也设 4 个处理水平: 5、20、50 和 100 mg·L<sup>-1</sup>。均为单株小区, 重复 3 次。另将 3 棵树上的果实用清水涂抹作为共同对照。常规管理。红肉脐橙主要物候期为: 盛花期 4 月 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, 完熟期 11 月下旬~12 月下旬。分别于 6 月 17 日、7 月 15 日、8 月 17 日、9 月 20 日、10 月 20 日、11 月 20 日和 12 月 21 日对未处理果实取样 (果皮), 外源激素处理后分别于 10 月 25 日、11 月 3 日、11 月 20 日和 12 月 21 日 (成熟期) 取样。所有样品均用液氮速冻后带回实验室, 贮

收稿 2004-10-08 修定 2004-12-27

资助 国家科技部三峡移民科技开发专项 (S200216)。

\*通讯作者 (E-mail: renxuexia@mail.hzau.edu.cn, Tel: 027-87281637)。

存于  $-40^{\circ}\text{C}$  冰箱中备用。

叶绿素和类胡萝卜素的提取及测定参考文献2的方法。应用 SAS 软件中的 ANOVA 过程作处理差异显著性测定, 并用 LSD 法作多重比较分析。

## 实验结果

### 1 果实发育过程中果皮中主要色素含量的变化

由图1可以看出, 红肉脐橙果皮中的叶绿素含量在幼果期和果实膨大期(6月17日~9月20日)均较高, 6月17日~8月17日, 含量缓慢下降, 8月17日~9月20日, 含量迅速上升, 并于9月20日达到最大值, 为  $0.1469 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$ , 9月20日~11月19日, 果皮组织叶绿素含量迅速下降至  $0.006 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$ , 下降幅度达 24.5 倍, 11月19日过后, 叶绿素含量缓慢下降至 0; 果皮类胡萝卜素含量在整个果实发育期间变化不太明显, 各时期果皮的类胡萝卜素含量没有显著性差异。转色期过后(11月20日), 果皮叶绿素含量下降直到低于类胡萝卜素的含量, 果实进入完熟期。

### 2 外源 ABA 处理后果皮叶绿素和类胡萝卜素含量的变化

从表1可以看出, 转色期以 ABA 处理后 5 d, 处理与否的果皮中叶绿素含量均迅速下降, 但处理的叶绿素总量下降更多; 10月25日, 除  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的 ABA 处理外, 其它 ABA 处理的叶绿素总量极显著低于未处理的; 至 11月3日, 除 5 和  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA 处理的叶绿素总量与未处理的无显著差异外, 其余 2 个处理极显著低于未处理的; 此后, 果实进入成熟期, ABA 处理与否的叶绿素总量无显著差异, 变化趋势基本一致。由表2可知, ABA 处理后 5 d, 各 ABA 处理对果皮的类胡萝卜素含量无显著影响; 至 11月3日, 较高浓度(50 和  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ABA 处理的类胡萝卜素含量显著低于未处理

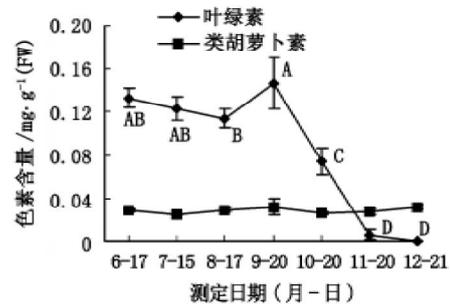


图1 红肉脐橙果皮叶绿素和类胡萝卜素含量的变化  
Fig. 1 Changes in chlorophyll and carotenoid contents in peel of Cara Cara sweet orange  
曲线上的大写字母表示 1% 的差异显著水平。

的, 而较低浓度(5 和  $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ABA 处理比未处理的略低, 但未达到显著性差异; 果实进入成熟期(11月20日和12月21日), 各 ABA 处理的类胡萝卜素含量均极显著低于未处理的, 说明外源 ABA 抑制果皮类胡萝卜素的合成。

### 3 外源 $\text{GA}_3$ 处理后果皮中叶绿素和类胡萝卜素含量的变化

从表1中还可以看出,  $\text{GA}_3$  处理后 5 d, 50 和  $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{GA}_3$  处理的叶绿素总量极显著低于未处理的, 其它 2 个处理与未处理的无显著差异; 此后的各个时期,  $\text{GA}_3$  处理的叶绿素总量与未处理的相当或略低, 但均未表现出显著性差异, 说明转色期外源  $\text{GA}_3$  不影响红肉脐橙果皮的着色和延缓果皮的褪绿。表2显示, 转色期  $\text{GA}_3$  处理后, 处理与否的类胡萝卜素含量的变化趋势基本一致。处理后 5 d, 各  $\text{GA}_3$  处理和未处理的类胡萝卜素含量无显著差异; 至 11月3日, 除 50 和  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{GA}_3$  处理的类胡萝卜素含量与未处理的无显著差异外, 其它  $\text{GA}_3$  处理的类胡萝卜素含量显著低于未处理的; 果实进入成熟期(11月20日

表1 果实转色期外源 ABA 和  $\text{GA}_3$  处理后叶绿素含量的变化

Table 1 Changes in chlorophyll content in peel of Cara Cara sweet orange after ABA and  $\text{GA}_3$  treatments during fruit colour break  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

测定日期 (月-日)	对照	ABA浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				$\text{GA}_3$ 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			
		5	20	50	100	50	100	200	400
10-25	0.0335 <sup>B</sup>	0.0359 <sup>B</sup>	0.0177 <sup>D</sup>	0.0265 <sup>C</sup>	0.0441 <sup>A</sup>	0.0246 <sup>C</sup>	0.0343 <sup>B</sup>	0.0375 <sup>AB</sup>	0.0248 <sup>C</sup>
11-03	0.0205 <sup>A</sup>	0.0202 <sup>A</sup>	0.0088 <sup>B</sup>	0.0164 <sup>A</sup>	0.0069 <sup>B</sup>	0.0141 <sup>AB</sup>	0.0196 <sup>A</sup>	0.0187 <sup>A</sup>	0.0127 <sup>AB</sup>
11-20	0.0060 <sup>A</sup>	0.0057 <sup>A</sup>	0.0019 <sup>A</sup>	0.0043 <sup>A</sup>	0.0085 <sup>A</sup>	0.0089 <sup>A</sup>	0.0049 <sup>A</sup>	0.0044 <sup>A</sup>	0.0054 <sup>A</sup>
12-21	0 <sup>A</sup>	0 <sup>A</sup>	0 <sup>A</sup>	0.0022 <sup>A</sup>	0.0017 <sup>A</sup>	0.0017 <sup>A</sup>	0.0012 <sup>A</sup>	0 <sup>A</sup>	0 <sup>A</sup>

字母相同表示差异不显著, 字母不同表示差异显著。大写字母表示  $P \leq 0.01$ , 小写字母表示  $P \leq 0.05$ 。表2 同此。

表2 果实转色期外源ABA和GA<sub>3</sub>处理后类胡萝卜素含量的变化Table 2 Changes in carotenoid content in peel of Cara Cara sweet orange after ABA and GA<sub>3</sub> treatments during fruit colour break mg·L<sup>-1</sup>

测定日期 (月-日)	对照	ABA浓度/ mg·L <sup>-1</sup>				GA <sub>3</sub> 浓度/ mg·L <sup>-1</sup>			
		5	20	50	100	50	100	200	400
10-25	0.0167 <sup>A</sup>	0.0136 <sup>A</sup>	0.0147 <sup>A</sup>	0.0133 <sup>A</sup>	0.0202 <sup>A</sup>	0.0176 <sup>A</sup>	0.0142 <sup>A</sup>	0.0159 <sup>A</sup>	0.0176 <sup>A</sup>
11-03	0.0159 <sup>ab</sup>	0.0139 <sup>bc</sup>	0.0148 <sup>abc</sup>	0.0128 <sup>c</sup>	0.0127 <sup>c</sup>	0.0162 <sup>a</sup>	0.0152 <sup>ab</sup>	0.0121 <sup>c</sup>	0.0126 <sup>c</sup>
11-20	0.0274 <sup>A</sup>	0.0141 <sup>D</sup>	0.0094 <sup>E</sup>	0.0199 <sup>B</sup>	0.0183 <sup>BC</sup>	0.0192 <sup>BC</sup>	0.0168 <sup>CD</sup>	0.0187 <sup>BC</sup>	0.0171 <sup>BC</sup>
12-21	0.0321 <sup>A</sup>	0.0227 <sup>DE</sup>	0.0184 <sup>E</sup>	0.0273 <sup>B</sup>	0.0264 <sup>BC</sup>	0.0256 <sup>BCD</sup>	0.0206 <sup>E</sup>	0.0234 <sup>CDE</sup>	0.0215 <sup>CD</sup>

和12月21日),各GA<sub>3</sub>处理的类胡萝卜素含量极显著低于未处理的,说明外源GA<sub>3</sub>不利于红肉脐橙果皮中类胡萝卜素积累。

## 讨 论

本文结果表明,果实转色期施用外源ABA和GA<sub>3</sub>均对果皮的色素代谢产生影响,在一定程度上可以调控红肉脐橙果皮叶绿素和类胡萝卜素的合成与代谢。其中,ABA能加快叶绿素的降解,果皮提前显示类胡萝卜素所具有的颜色,对果实催熟起一定作用,但同时也减少果皮类胡萝卜素的含量,不利于果实着色。Gaynor等<sup>[3]</sup>研究不同脐橙品种果实着色期内源ABA含量和色泽发育关系的结果表明,所有品种均在果皮转色期内源ABA的含量达到高峰,此后随着果皮颜色的显现,内源ABA含量下降。这表明转色过后较低含量的内源ABA有利于果皮类胡萝卜素的积累;反之,则阻碍其积累。本文结果与其基本一致。GA<sub>3</sub>并不能延缓果皮成熟时的褪绿,这与我们在红肉脐橙果实转色前施用外源GA<sub>3</sub><sup>[4]</sup>和陶俊等<sup>[5]</sup>在柑橘中的结果不一致,可能与处理时期不同有关。果实进入着色期后,乙烯的产生诱导叶绿体酶的活性从而促进果皮叶绿素降解<sup>[6]</sup>。但GA<sub>3</sub>同样可抑制果皮中类胡萝卜素积累。据郎杰<sup>[7]</sup>报道,外源GA<sub>3</sub>对大麦叶的保绿作用是以叶中内源ABA含量下降为前提的,较高含量的ABA抑制叶绿素合成。本文结果与此一致。

已知ABA、GA<sub>3</sub>、类胡萝卜素和叶绿素均通过植物类异戊二烯途径合成转化而来,它们有共同的前体物质——牻牛儿基牻牛儿基焦磷酸(GGPP)<sup>[8]</sup>,但GGPP具体在哪个时期向这4种物质中的哪类物质转变,何种因子可调控其转变,还有待研究。

从本文结果来看,转色期施用外源ABA和GA<sub>3</sub>均不利于红肉脐橙果实色泽品质的提高,若要在生产中使用,则应注意施用时期。Garcia-

Luis等<sup>[9]</sup>在温州蜜柑果皮叶绿素开始降解时喷施GA<sub>3</sub>可以使果实留在树上贮藏2个月;刘晓东等<sup>[10]</sup>的研究也表明,果实着色前连续喷2~3次GA或2,4-D,可以使果实成熟延迟1个月,并可留树保鲜2~3个月;我们在红肉脐橙果实转色前施用GA<sub>3</sub>的结果与上述一致<sup>[4]</sup>。因此我们认为,柑橘类果树在果实着色前喷施GA<sub>3</sub>可以达到延迟果实成熟和留树贮藏的目的。另外,可以考虑在果实着色前喷施ABA,以加速果皮叶绿素降解,促进果实成熟<sup>[4]</sup>,然后,通过打蜡技术,改善外观品质,使脐橙提早上市。柑橘等果实留在树上贮藏是目前柑橘生产中的一个新趋势,如何用适宜种类和浓度的外源激素(如GA<sub>3</sub>等)延迟果实成熟,以达到留树贮藏的目的,值得深入探讨。

## 参考文献

- 何天富. 柑桔学. 北京:中国农业出版社, 1999. 130~157
- 李合生主编. 植物生理生化实验原理和技术. 北京:高等教育出版社, 2000. 134~137
- Gaynor R, Richardson A, Cowan K. Abscisic acid content of citrus flavedo in relation to colour development. *J Horticult Sci*, 1995, 70(5): 769~773
- 王贵元, 夏仁学, 周开兵. 外源ABA和GA<sub>3</sub>对红肉脐橙果皮主要色素含量变化和果实着色的影响. *武汉植物学研究*, 2004, 22(3): 273~276
- 陶俊, 张上隆, 陈昆松等. 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
- Albert CP, Charles RB. Involvement of ethylene in chlorophyll degradation in peel of citrus fruits. *Plant Physiol*, 1981, 68: 854~856
- 郎杰. 光对GA<sub>3</sub>大麦叶段叶绿素含量的影响. *植物研究*, 1996, 16(2): 224~227
- 刘涤, 胡之壁. 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
- Garcia-Luis A, Agusti M, Almela V et al. Effect of gibberellic acid on ripening and peel puffing in 'Satsuma' mandarin. *Sci Horticult*, 1985, 27: 75~86
- 刘晓东, 沈兆敏, 王晓云等. 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