

外源 ABA 和 GA₃ 对红肉脐橙果皮主要色素含量变化和果实着色的影响

王贵元, 夏仁学*, 周开兵

(华中农业大学园艺林学院, 武汉 430070)

摘要: 测定了红肉脐橙(*Citrus sinensis* Osbesk cv. Cara Cara)果实发育期间和果实转色前用不同浓度的外源ABA和GA₃处理后果皮叶绿素和类胡萝卜素的动态含量, 并测定了外源ABA和GA₃处理后成熟红肉脐橙果皮色泽的表现。结果表明: 红肉脐橙果皮叶绿素含量于9月20日出现最大值, 为0.1469 mg·g⁻¹FW; 类胡萝卜素含量于12月20日达到最大值, 为0.0321 mg·g⁻¹FW; 果实转色前, 用外源ABA处理后加速了果皮叶绿素的降解, 但也抑制了果皮类胡萝卜素的积累, 用GA₃处理后延缓了果皮叶绿素的降解, 同样抑制了果皮类胡萝卜素的积累, 严重阻碍了果皮类胡萝卜素的合成; 外源ABA或GA₃处理均不利于果实色泽品质的提高。

关键词: 红肉脐橙; 叶绿素; 类胡萝卜素; ABA; GA₃; 着色

中图分类号: S666.4; Q945.6⁺⁵

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2004)03-0273-04

Effects on Changes of Dominating Pigment Contents in Peel of Cara Cara (*Citrus sinensis* Osbesk) and Fruit Colouring after Exogenous ABA and GA₃ Treatments

WANG Gui-Yuan, XIA Ren-Xue*, ZHOU Kai-Bing

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

Abstract: The dynamic contents of chlorophyll and carotenoid during fruit development and after exogenous ABA and GA₃ treatments before the beginning of colour changing in peel of *Citrus Sinensis* Osbesk cv. Cara Cara were determined, and the colour and luster appearance of mature peel of Cara Cara after ABA and GA₃ treatments were also determined. The results showed that contents of chlorophyll and carotenoid in the peel of Cara Cara reached maximum on September, 20 and December, 20, which are 0.1469 mg·g⁻¹FW and 0.0321 mg·g⁻¹FW, respectively; exogenous ABA accelerated the degradation of chlorophyll and restrained the accumulation of carotenoid; exogenous GA₃ delayed the degradation of chlorophyll and also restrained the accumulation of carotenoid and prohibited the synthesis of carotenoid seriously; both of exogenous ABA or GA₃ treatment didn't benefit the colour and luster quality of Cara Cara fruit.

Key words: *Citrus sinensis* (L) Osbesk cv. Cara Cara; Chlorophyll; Carotenoid; ABA; GA₃; Colouring

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, 叶绿素消褪和类胡萝卜素发育的程度直接关系到果品的色泽品质。本研究以红肉脐橙(*Citrus sinensis* (L) Osbesk cv. Cara Cara)果实发育期间

收稿日期: 2003-09-22, 修回日期: 2004-01-08。

基金项目: 国家科技部三峡移民科技开发专项(S200216)。

作者简介: 王贵元(1978-), 男, 博士研究生。主要从事有关柑橘品质生理的研究。

* 通讯作者。

叶绿素和类胡萝卜素含量的动态变化为基础, 分析转色前外源 ABA 和 GA₃ 处理对红肉脐橙果实成熟过程中果皮叶绿素和类胡萝卜素含量变化的影响, 并对果实成熟时果皮的色泽进行测定, 旨在探讨外源激素在脐橙果皮色泽发育过程中的作用机理, 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。

1 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, 红肉脐橙于 1999 年春季高接于枳 (*Poncirus trifoliata* Raf) 为砧木的罗伯逊脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck 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, 于果实转色前(9月 20 日), 将外源激素 GA₃ 或 ABA 涂抹于红肉脐橙果实表面。GA₃ 设 4 个处理水平: 50、100、200 和 400 mg·L⁻¹; ABA 也设 4 个处理水平: 5、20、50 和 100 mg·L⁻¹。均为单株小区, 3 次重复。另将 3 棵树上的果实用清水涂抹作为共同对照。

除处理外, 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 19 日和 12 月 20 日对未处理果实取样(果皮), 外源激素处理后分别于 9 月 25 日、10 月 5 日、10 月 20 日、11 月 19 日和 12 月 20 日(成熟期)取样。所有样品均用液氮速冻后带回实验室, 贮存于 -40℃ 冰箱中备用。

叶绿素和类胡萝卜素的测定采用 Lichten-thaler-Arnon 法^[2], 用美国产 CR-300 色彩色差计测定成熟红肉脐橙果实的色泽品质。

表 1 果实转色前外源 ABA 和 GA₃ 处理后叶绿素含量的变化

Table 1 Changes of chlorophyll content in Cara Cara peel after ABA and GA₃ treatment before fruit colour break

日期 Date(d/m)	CK	ABA 处理 ABA treatment				GA ₃ 处理 GA ₃ treatment			
		5 mg·L ⁻¹	20 mg·L ⁻¹	50 mg·L ⁻¹	100 mg·L ⁻¹	50 mg·L ⁻¹	100 mg·L ⁻¹	200 mg·L ⁻¹	400 mg·L ⁻¹
25/09	0.1004CD	0.0945D	0.0494E	0.0576E	0.0524E	0.1097BC	0.0972CD	0.1381A	0.1198B
05/10	0.1055A	0.0502C	0.0251D	0.0282D	0.0233D	0.0612B	0.0479C	0.0578B	0.0622B
20/10	0.0739AB	0.0491D	0.0139F	0.0300E	0.0184F	0.0487D	0.0756A	0.0624C	0.0666BC
19/11	0.0060CD	0.0059CD	0.0063CD	0.0035CD	0.0028D	0.0089BC	0.0137B	0.0255A	0.0240A
20/12	0	0.0022	0.0031	0.0020	0	0	0.0015	0.0025	0.0033

注: 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 $P \leq 0.01$ (以下与此同)。

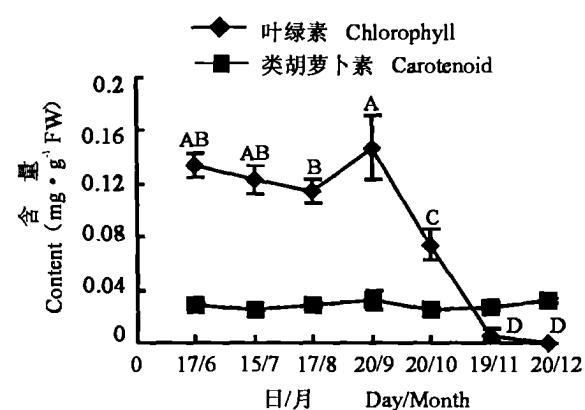
Notes: Values followed by the same letter are insignificantly different, and that by different letter are significantly different. The capital letters show $P \leq 0.01$ (So are all the next).

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。

2 结果与分析

2.1 果实发育过程中果皮主要色素含量的变化

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(图 1), 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 $0.1469 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ FW, 9月 20 日~11月 19 日, 果皮组织叶绿素含量迅速下降至 $0.006 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 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到低于类胡萝卜素的含量, 果实进入完熟期。



曲线上的大写字母表示 1% 的差异显著水平
Capital letters on the curves indicate 1% significant level

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 of chlorophyll and carotenoid content in Cara Cara peel

2.2 外源 ABA 处理后果皮色素含量的变化

从表 1 可以看出, 转色前外源 ABA 处理后 5 d,

果皮叶绿素含量迅速下降,处理浓度越高,果皮叶绿素含量下降越快,除5 mg·L⁻¹的ABA处理与对照无显著差异外,20、50和100 mg·L⁻¹的ABA处理后的叶绿素含量极显著地低于对照。果实进入转色期后,ABA处理的果皮叶绿素下降更快,10月5日和10月20日处理果皮的叶绿素含量均极显著地低于对照,且ABA处理的浓度与叶绿素的含量均呈负相关(分别为 $r=-0.6711$ 和 $r=-0.5116$)。至11月20日,处理与对照的叶绿素含量无显著差异,均极低。这表明外源ABA能明显促进叶绿素的降解,使果皮提前转色,在一定程度上能促进果实的成熟。

由表2可知,转色前ABA处理后5 d,对照与处理果皮的类胡萝卜素含量均呈迅速下降的趋势,除5 mg·L⁻¹ABA处理的果皮类胡萝卜素含量极显著高于对照外,其余ABA处理浓度均显著低于对

照;处理后15 d,对照果皮的类胡萝卜素含量迅速上升至较高的水平,而ABA处理继续下降或上升的幅度不大,且处理的类胡萝卜素含量均极显著地低于对照(10月5日);处理果皮的类胡萝卜素含量一直极显著地低于对照(10月20日和11月19日),对照与处理的果皮类胡萝卜素含量均于转色时(10月20日)先出现一个波谷后再上升;果实成熟时,对照果皮的类胡萝卜素含量达到最大值(0.0321 mg·g⁻¹ FW),而处理的果皮类胡萝卜素的含量均低于果实转色前未处理(9月20日)的水平,除5 mg·L⁻¹的ABA处理与对照相比无显著差异外,20、50和100 mg·L⁻¹的ABA处理后的类胡萝卜素含量极显著地低于对照(表2)。这表明外源ABA处理浓度在20 mg·L⁻¹以上时能明显抑制果皮类胡萝卜素的积累,可能是较高浓度的ABA处理抑制果皮类胡萝卜

表2 果实转色前外源ABA和GA₃处理后类胡萝卜素含量的变化

Table 2 Changes of carotenoid content in Cara Cara peel after ABA and GA₃ treatment before fruit colour break

日期 Date(d/m)	CK	ABA 处理				GA ₃ 处理			
		5 mg·L ⁻¹	20 mg·L ⁻¹	50 mg·L ⁻¹	100 mg·L ⁻¹	50 mg·L ⁻¹	100 mg·L ⁻¹	200 mg·L ⁻¹	400 mg·L ⁻¹
25/09	0.0226C	0.0268B	0.0134F	0.0155EF	0.0179DE	0.0247BC	0.0194D	0.0356A	0.0262B
05/10	0.0290A	0.0188C	0.0182CD	0.0179CD	0.0167CD	0.0152D	0.0225B	0.0169CD	0.0196BC
20/10	0.0257A	0.0168E	0.0188CD	0.0181DE	0.0148F	0.0188D	0.0207BC	0.0194CD	0.0214B
19/11	0.0274A	0.0240B	0.0191C	0.0146F	0.0150EF	0.0114G	0.0161DEF	0.0174CDE	0.0180CD
20/12	0.0321AB	0.0295BC	0.0270C	0.0268C	0.0235D	0.0343A	0.0192D	0.0201D	0.0187D

卜素的合成。

2.3 外源GA₃处理后果皮色素含量的变化

从表1可以看出,果实转色前用外源GA₃处理后5 d,处理比对照果皮的叶绿素下降要慢,其中高浓度(200和400 mg·L⁻¹)GA₃处理的叶绿素含量极显著高于对照;此后10 d,对照果皮的叶绿素含量略上升,但处理果皮的叶绿素含量迅速下降,处理果皮的叶绿素含量只有对照的50%左右,且各处理的叶绿素含量极显著地低于对照(表1);此后,对照果皮的叶绿素含量逐渐下降,而处理果皮的叶绿素含量则先于果实转色时(10月20日)出现一个小的波峰(200 mg·L⁻¹的处理除外)(图1),然后逐渐下降,10月20日,除100 mg·L⁻¹的处理与对照相比无显著差异外,其它处理的叶绿素含量极显著地低于对照;11月19日,除50 mg·L⁻¹的处理与对照相比无显著差异外,其它GA₃处理的叶绿素含量极显著地高于对照;至12月20日,各处理与对照的叶绿素微量或检测不到,且无显著差异。比较处理与对照果皮的叶绿素含量变化动态可看出,外源GA₃处理后在果实转色前期(10月20日及以前)在一定程度上促

进了红肉脐橙果皮的褪绿,但在果实转色后期及完熟前期(11月19日),处理果皮的叶绿素含量极显著高于对照(50 mg·L⁻¹的处理除外),说明较高浓度的GA₃处理在果实成熟后期延缓了果皮的褪绿,而低浓度GA₃处理(如50 mg·L⁻¹)则不然。

由表2可知,果实转色前外源GA₃处理后5 d,100 mg·L⁻¹GA₃处理的类胡萝卜素含量极显著地低于对照,50 mg·L⁻¹GA₃处理的类胡萝卜素含量与对照相比无显著差异,但200、400 mg·L⁻¹的GA₃处理极显著地高于对照;此后10 d,对照果皮的类胡萝卜素含量迅速上升,而处理果皮的类胡萝卜素含量仍然迅速下降(仅100 mg·L⁻¹的处理有一定程度的上升),对照果皮的类胡萝卜素含量显著高于处理,一直到果实成熟(50 mg·L⁻¹的处理在果实成熟前类胡萝卜素有一异常积累,成熟时含量稍高于对照)。这些结果表明,转色前外源GA₃处理后严重抑制了果皮类胡萝卜素的积累。

2.4 外源ABA和GA₃处理后成熟红肉脐橙果皮色泽的表现

由表3可见,与对照相比,外源ABA处理均能

使红肉脐橙果皮的亮度减少,但只有 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理达到极显著差异;使果皮红色度和黄色度增加,但均未达到显著性差异。外源 GA_3 处理均能使红肉脐橙果皮的亮度增加,除 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理外,其它 GA_3 处理均达到极显著差异;使果皮的红色度减少,且均达到极显著差异;除 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理外,极显著增加了果皮的黄色度。果皮颜色与果皮色

素的种类和含量有关,亮度则与果皮油包大小和粗糙程度有关,由表 3 的数据综合说明,外源 ABA 处理能在一定程度上促进红肉脐橙果皮着色(红色度和黄色度),但使果皮略变粗糙;外源 GA_3 处理虽不利于果皮的着色(红色度均极显著减少),但增加了果皮的亮度。

表 3 外源 ABA 和 GA_3 处理后成熟果皮色泽的表现
Table 3 The peel colour of mature Cara Cara after ABA and GA_3 treatment

样品 Sample	CK	ABA 处理 ABA treatment				GA_3 处理 GA_3 treatment			
		$5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
亮度 Rind brightness	97.23CD	94.34DE	93.22E	95.73CDE	94.30DE	101.32AB	98.82BC	101.41AB	102.93A
红色度 Rind redness	-0.79A	2.59A	0.13A	-0.64A	1.50A	-11.19B	-17.42C	-15.39BC	-18.63C
黄色度 Rind yellowness	3.85C	4.62C	5.31BC	8.32ABC	6.46BC	12.87A	3.60C	8.74ABC	10.15AB

3 讨论

本试验结果表明,果实转色前外源 ABA 和 GA_3 处理均对果皮的主要色素代谢有重要影响,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。ABA 处理能加快叶绿素的降解,果皮提前转色,对果实的催熟起到一定作用,但同时也减少了果皮类胡萝卜素的含量,并使成熟果实的亮度降低,最终还是不利于果实着色。Gaynor^[3] 等对不同脐橙品种果实着色期内源 ABA 含量和色泽发育的关系研究表明,所有品种均在果皮转色时内源 ABA 的含量达到高峰,此后随着果皮颜色的显现,内源 ABA 的含量下降,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,本试验结果与其基本一致。较高浓度的 GA_3 处理延迟了果皮的后期褪绿,同样抑制了果皮类胡萝卜素的积累,在增加果实亮度和黄色度的同时,减少了果实的红色度,说明外源 GA_3 处理也并不一定有利于果实的色泽品质的提高^[4]。郎杰^[5]的研究发现,外源 GA_3 对大麦叶的保绿作用以叶片内源 ABA 含量的下降为前提,较高的 ABA 含量抑制叶绿素的合成。本试验与其也一致。

已知 ABA、 GA_3 、类胡萝卜素和叶绿素均由植物类异戊二烯途径合成转化而来,它们有着共同的前体物质 GGPP(牻牛儿基牻牛儿基焦磷酸)^[6],但

GGPP 具体在哪个时期倾向于向这 4 种物质中的哪类物质转变,以及何种因子在调控其转变,还有待于进一步研究。同时柑橘等果实留树贮藏是柑橘生产的一个新趋势,应用适宜种类和浓度的外源激素(如 GA_3 等)可延迟果实成熟^[7,8],达到留树贮藏的目的,本研究还需进一步深入。

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[J]. 中国果树,2001(3):48—49.
- [2] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.134—137.
- [3] Gaynor R Richardson, Cowan A K. Abscisic acid content of *Citrus flavedo* in relation to colour development[J]. *J Hort Sci*, 1995, **70**(5): 769—773.
- [4] 陶俊, 张上隆, 陈昆松, 赵智中, 陈俊伟. GA_3 处理对柑桔果皮色素变化的影响[J]. 园艺学报, 2002, **29**(6): 566—568.
- [5] 郎杰. 光对 GA_3 大麦叶段叶绿素含量的影响[J]. 植物研究, 1996, **16**(2): 224—227.
- [6] 刘涤, 胡之壁. 植物类异戊二烯生物合成途径的调节[J]. 植物生理学通讯, 1998, **34**: 1—9.
- [7] 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[J]. 浙江农业大学学报, 1991, **17**(1): 65—69.
- [8] 李献, 李效静. 红桔枯水机理及 GA_3 处理效应的研究[J]. 西南农业大学学报, 1990, **12**(5): 516—520.