

外源脱落酸和赤霉素对红肉脐橙果肉糖含量的影响*

王贵元^{1,2} 夏仁学^{1**} 曾祥国¹ 吴强盛²

(¹ 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070; ² 长江大学园艺园林学院, 湖北荆州 434025)

摘要 在红肉脐橙幼果期和着色前分2次喷施不同浓度的外源 ABA 和 GA₃, 研究其对红肉脐橙果肉糖含量的影响. 结果表明: 10 mg · L⁻¹ ABA 处理显著或极显著提高了果实成熟时的葡萄糖、果糖和总糖含量, 50 mg · L⁻¹ ABA 处理极显著提高了果实蔗糖含量, 而 100 mg · L⁻¹ ABA 处理极显著降低了果实葡萄糖含量; 中低浓度的 GA₃ (10、50 和 250 mg · L⁻¹) 极显著提高了果实蔗糖含量, 10 mg · L⁻¹ GA₃ 处理对果实葡萄糖和果糖含量无明显影响, 但极显著提高了果实总糖含量, 50、250 和 500 mg · L⁻¹ GA₃ 处理极显著降低了果实葡萄糖、果糖和总糖含量. 表明着色前较低浓度的外源 ABA 处理 (10 和 50 mg · L⁻¹) 可提高果实中一种或几种糖的含量, 而较高浓度的 GA₃ 处理 (250 和 500 mg · L⁻¹) 则严重阻碍了果肉中糖的积累.

关键词 红肉脐橙 ABA GA₃ 葡萄糖 果糖 蔗糖 总糖

文章编号 1001-9332(2007)11-2451-05 中图分类号 S666 文献标识码 A

Effects of exogenous ABA and GA₃ on sugar concentration in flesh of Cara Cara Navel Orange. WANG Gui-yuan^{1,2}, XIA Ren-xue¹, ZENG Xiang-guo¹, WU Qiang-sheng² (¹ College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; ² College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, Hubei, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2007, 18(11): 2451-2455.

Abstract: The concentration of glucose, fructose, sucrose and total sugar were determined after exogenous ABA and GA₃ treatment during young period of fruit and before fruit coloring in flesh of Cara Cara Navel Orange. The results showed that 10 mg · L⁻¹ ABA treatment improved glucose, fructose and total sugar concentration significantly or very significantly, 50 mg · L⁻¹ ABA treatment improved sucrose concentration very significantly, but 100 mg · L⁻¹ ABA treatment reduced glucose concentration very significantly. GA₃ treatment of lower and middle concentrations (10, 50 and 250 mg · L⁻¹) improved sucrose concentration very significantly, 10 mg · L⁻¹ GA₃ treatment had no remarkable effect on glucose and fructose concentration but improved total sugar concentration very significantly, GA₃ treatment of 50, 250 and 500 mg · L⁻¹ decreased glucose, fructose and total sugar concentration very significantly. Therefore, ABA treatment of lower concentration could improve one or several kinds of sugar concentration, but GA₃ treatment of higher concentration (250 and 500 mg · L⁻¹) prohibited sugar accumulation in flesh of Cara Cara Navel Orange seriously.

Key words: Cara Cara Navel Orange; ABA; GA₃; glucose; fructose; sucrose; total sugar.

1 引 言

糖含量及其构成对柑橘果实的风味、色泽和其它营养成分有重要影响. 蔗糖、葡萄糖和果糖是柑橘

果实中主要的可溶性糖, 其含量对果实品质有重要作用. 不同柑橘种类与品种的果实糖分积累类型存在差异. 温州蜜柑、本地早以积累蔗糖为主^[14], 而甜来檬、香柠檬则以积累己糖为主^[6], 甜橙果实也以积累蔗糖为主^[23].

在柑橘果实发育过程中, 蔗糖与葡萄糖和果糖的变化是不一致的, 果实不同部位糖积累也不同. 温州蜜柑果实汁囊中蔗糖的积累速度始终高于果糖和

* 国家科技部三峡移民科技开发项目(2004EP090019)和长江大学博士科研启动基金资助项目(0354).

** 通讯作者. E-mail: renxuexia@webmail.hzau.edu.cn

2006-09-05 收稿, 2007-08-13 接受.

葡萄糖,而在果皮组织中3种糖的含量一直比较接近,至成熟时其汁囊中的蔗糖、果糖和葡萄糖含量分别占可溶性糖的65%、20%和14%^[14]。脐橙在幼果期蔗糖含量高于己糖,而在果实膨大后期己糖积累速度超过蔗糖,至成熟期以积累蔗糖为主^[5, 23, 28]。

植物激素在调控果实糖的积累中起着重要作用^[2]。生产中可用植物生长调节剂来提高果实糖含量,以提高果实品质。樊会敏等^[7]对草莓喷施云大-120(油菜素内酯)的试验表明,稀释3 000和4 000倍的云大-120均显著提高了草莓果实的可溶性糖含量,党云萍等^[4]用50~150 mg·L⁻¹的GA₃溶液喷施桃树试验表明,各浓度处理均显著促进了果实可溶性糖含量。关于生长调节剂对果实糖含量的影响在苹果、梨、李和葡萄上均有报道^[8, 25-26, 29]。前人虽已对柑橘果实糖分的组成和含量进行了大量研究,但植物生长调节剂对红肉脐橙果实糖含量的影响研究还未见报道。本文研究了植物生长调节剂ABA和GA₃对红肉脐橙果实发育过程中果肉糖含量的影响,以期生产中提高红肉脐橙果实糖含量提供参考。

2 材料与方法

2.1 供试材料

红肉脐橙(*Citrus sinensis* (L.) Dsbeck cv. Cara Cara)。采自湖北省秭归县柑橘良种示范场,该品种于1999年春季高接于以枳(*Poncirus trifoliata* Raf.)为基础的罗伯逊脐橙(*Citrus sinensis* Osbeck cv. Robertson)上,2000年始果,2001年进入盛果期。选取生长健壮,长势一致的植株作试验样树。常规管理。

2.2 试验设计

采用单因素试验设计,分别于2004年6月25日(幼果期)和9月26日(转色前)用外源GA₃或ABA均匀喷施红肉脐橙树体。GA₃设4个浓度水平:10、50、250和500 mg·L⁻¹;ABA设3个浓度水平:10、50和100 mg·L⁻¹。每小区3株样树,每处理3次重复,以清水处理为对照,分别于7月25日、8月26日、9月26日、10月10日、10月25日、11月10日、11月25日和12月25日取红肉脐橙果实样品(果肉),所有果实样品均取自树冠中部外围,每处理取大小基本一致的果实2~5个,将果肉混合后放入液氮速冻,带回实验室,贮存于-40℃冰箱。

2.3 研究方法

葡萄糖、果糖和蔗糖的提取和测定参照王贵元等^[22]的方法,总糖含量以葡萄糖、果糖和蔗糖之和

计算。应用SAS软件中的ANOVA过程进行差异显著性分析,并用LSD法进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 外源ABA对红肉脐橙果肉糖含量的影响

由表1可知,幼果期第1次用ABA处理后的7月25日,各浓度处理的各种糖含量均高于对照(10和50 mg·L⁻¹处理均达到极显著水平),且ABA处理浓度越低,糖含量越高。果实着色前再次用ABA处理均能明显加快各种糖的积累,处理后15 d(10月10日)除10 mg·L⁻¹处理的蔗糖含量与对照相比无显著差异外,10和50 mg·L⁻¹ABA处理的各种糖含量均极显著高于对照,100 mg·L⁻¹ABA处理的各种糖含量与对照相比无显著差异。各处理葡萄糖、果糖、蔗糖和总糖含量随时间变化的总趋势与对照基本相同。果实成熟时(12月25日),10 mg·L⁻¹ABA处理的葡萄糖和果糖含量极显著高于对照,总糖含量显著高于对照,蔗糖含量与对照相比无显著差异,50 mg·L⁻¹ABA处理的蔗糖含量极显著高于对照,葡萄糖、果糖和总糖含量与对照相比无显著性差异,100 mg·L⁻¹ABA处理的葡萄糖含量极显著低于对照,果糖、蔗糖和总糖含量与对照相比无显著差异。

3.2 外源GA₃对红肉脐橙果肉糖含量的影响

由表2可知,幼果期第1次用GA₃处理后的7月25日,低浓度的GA₃处理(10和50 mg·L⁻¹)能明显加快果肉葡萄糖的积累,但高浓度的GA₃处理(250和500 mg·L⁻¹)则极显著降低了葡萄糖含量。果实着色前再次用GA₃处理后15 d(9月26日),各处理和对照葡萄糖含量均有所上升,但10和500 mg·L⁻¹的GA₃处理上升较慢,处理后30 d(10月10日),对照果肉葡萄糖含量迅速上升,并于10月25日达到最大值,但各GA₃处理则以较慢速度增加(100和500 mg·L⁻¹)或有所下降(10和50 mg·L⁻¹),10月25日时各处理的葡萄糖含量均极显著低于对照,其含量仅为对照的54%~71%。此后15 d(11月10日),对照果实葡萄糖含量迅速下降,果实成熟期缓慢上升,各处理果实葡萄糖含量于果实成熟期缓慢或迅速上升,果实成熟时除10 mg·L⁻¹GA₃处理的葡萄糖含量与对照相比无显著差异外,其它处理的葡萄糖含量均极显著低于对照,表明高浓度的GA₃处理能抑制果肉葡萄糖的积累。

表 1 外源 ABA 处理后红肉脐橙果肉中葡萄糖、果糖、蔗糖及总糖含量的变化

Tab.1 Changes of glucose, fructose, sucrose and total sugar concentrations in flesh of Cara Cara Navel Orange after ABA treatment (mean \pm SD, mg \cdot g⁻¹ FM)

糖类 Sugar type	ABA 浓度 ABA concentration (mg \cdot L ⁻¹)	日期 Date							
		7. 25	8. 26	9. 26	10. 10	10. 25	11. 10	11. 25	12. 25
葡萄糖 Glucose	CK	4.56 \pm 0.69C	4.60 \pm 0.24A	8.64 \pm 0.91B	10.83 \pm 0.81B	18.02 \pm 0.41A	14.93 \pm 0.50B	15.41 \pm 0.51B	17.03 \pm 0.96B
	10	9.04 \pm 0.02A	4.33 \pm 0.58A	7.37 \pm 0.96B	16.93 \pm 1.09A	17.30 \pm 0.14A	18.82 \pm 1.31A	23.27 \pm 1.24A	22.32 \pm 0.70A
	50	6.87 \pm 0.58B	2.31 \pm 0.46C	12.82 \pm 0.81A	15.89 \pm 0.81A	18.06 \pm 0.36A	18.31 \pm 0.67A	15.16 \pm 0.09B	16.85 \pm 0.30B
	100	4.52 \pm 0.77C	3.60 \pm 0.25B	8.60 \pm 0.25B	11.14 \pm 0.58B	11.34 \pm 2.22B	11.35 \pm 0.04C	14.60 \pm 0.27B	14.46 \pm 0.74C
果糖 Fructose	CK	5.76 \pm 1.80C	9.09 \pm 0.23A	13.04 \pm 1.00B	12.57 \pm 0.69B	18.21 \pm 0.42B	21.53 \pm 0.68B	21.83 \pm 0.33BC	22.07 \pm 0.87BC
	10	10.42 \pm 0.14A	9.81 \pm 0.69A	12.34 \pm 0.20B	18.11 \pm 0.83A	18.38 \pm 0.34AB	24.56 \pm 0.69A	28.89 \pm 0.84A	27.98 \pm 0.57A
	50	8.48 \pm 0.31B	6.93 \pm 0.58C	17.04 \pm 1.15A	17.79 \pm 0.48A	18.74 \pm 0.07A	23.78 \pm 0.79A	22.35 \pm 0.42B	22.49 \pm 0.44B
	100	7.30 \pm 0.80BC	8.20 \pm 0.32B	12.23 \pm 1.41B	12.99 \pm 0.29B	14.43 \pm 0.04C	17.22 \pm 0.02C	21.03 \pm 0.46C	20.58 \pm 1.53C
蔗糖 Sucrose	CK	15.62 \pm 0.44C	23.17 \pm 1.11B	36.82 \pm 0.89B	39.71 \pm 1.43B	39.37 \pm 1.04C	47.33 \pm 2.12B	45.59 \pm 2.08B	44.57 \pm 1.76BC
	10	19.79 \pm 0.32A	21.98 \pm 1.15BC	37.00 \pm 0.36B	41.29 \pm 0.66B	47.64 \pm 0.51A	45.45 \pm 0.25BC	53.24 \pm 0.59A	41.64 \pm 1.11C
	50	16.88 \pm 0.09B	26.88 \pm 1.15A	44.71 \pm 1.62A	45.48 \pm 2.73A	41.22 \pm 1.32B	50.53 \pm 3.03A	43.23 \pm 1.16C	49.08 \pm 0.42A
	100	17.10 \pm 1.43B	20.86 \pm 0.54C	34.72 \pm 1.48C	40.29 \pm 1.35B	38.06 \pm 0.91C	42.84 \pm 0.24C	53.11 \pm 0.04A	48.25 \pm 4.19AB
总糖 Total sugar	CK	25.92 \pm 2.93C	36.86 \pm 1.59a	58.50 \pm 2.81B	63.10 \pm 2.93B	75.59 \pm 0.21B	83.79 \pm 3.30B	82.83 \pm 2.93C	83.66 \pm 3.59b
	10	39.25 \pm 0.48A	36.12 \pm 1.73a	56.70 \pm 1.52B	76.32 \pm 2.57A	83.32 \pm 0.02A	88.83 \pm 1.76A	105.40 \pm 1.49A	91.93 \pm 0.16a
	50	32.23 \pm 0.99B	36.12 \pm 2.31a	74.57 \pm 2.42A	79.17 \pm 4.02A	78.01 \pm 1.75B	92.62 \pm 4.50A	80.73 \pm 1.67C	88.42 \pm 0.28ab
	100	28.91 \pm 3.00BC	32.66 \pm 1.12b	55.55 \pm 0.19B	64.42 \pm 2.21B	63.83 \pm 3.09C	71.40 \pm 0.25C	88.73 \pm 0.68B	83.29 \pm 6.46b

表中不同字母表示处理间差异达 1% 显著水平 Different letters meant significant difference at 1% level. 下同 The same below.

表 2 外源 GA₃ 处理后红肉脐橙果肉中葡萄糖、果糖、蔗糖及总糖含量的变化 (Mean \pm SD)Tab.2 Changes of glucose, fructose, sucrose and total sugar concentrations in flesh of Cara Cara Navel Orange after GA₃ treatment (mg \cdot g⁻¹ FM)

糖类 Sugar type	GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration (mg \cdot L ⁻¹)	日期 Date							
		7. 25	8. 26	9. 26	10. 10	10. 25	11. 10	11. 25	12. 25
葡萄糖 Glucose	CK	4.56 \pm 0.69B	4.60 \pm 0.24A	8.64 \pm 0.91B	10.83 \pm 0.81A	18.02 \pm 0.41A	14.93 \pm 0.50A	15.41 \pm 0.51A	17.03 \pm 0.96A
	10	6.08 \pm 1.13A	3.82 \pm 0.50A	10.63 \pm 0.46A	11.60 \pm 0.25A	9.73 \pm 0.58D	9.03 \pm 0.36C	12.29 \pm 0.43B	17.01 \pm 0.48A
	50	5.16 \pm 0.53AB	4.14 \pm 2.42A	5.77 \pm 0.66D	10.82 \pm 0.80A	9.75 \pm 0.10D	10.89 \pm 0.44B	12.44 \pm 0.25B	12.39 \pm 0.14C
	250	2.68 \pm 0.23C	4.16 \pm 0.25A	8.38 \pm 0.59B	11.40 \pm 0.74A	12.80 \pm 0.06B	10.95 \pm 0.21B	9.11 \pm 0.10C	10.87 \pm 0.58D
	500	3.15 \pm 0.53C	4.00 \pm 0.03A	7.17 \pm 0.15C	7.27 \pm 0.10B	10.34 \pm 0.10C	7.68 \pm 0.59D	8.45 \pm 0.69C	13.58 \pm 1.13B
果糖 Fructose	CK	5.76 \pm 1.80B	9.09 \pm 0.23A	13.04 \pm 1.00B	12.57 \pm 0.69C	18.21 \pm 0.42A	21.53 \pm 0.68A	21.83 \pm 0.33A	22.07 \pm 0.87A
	10	7.60 \pm 0.48A	8.32 \pm 0.33AB	15.10 \pm 0.84A	13.25 \pm 0.08B	15.36 \pm 0.36B	15.70 \pm 0.39C	18.48 \pm 0.28C	22.86 \pm 0.20A
	50	7.85 \pm 0.62A	7.84 \pm 1.20BC	11.11 \pm 0.02C	13.14 \pm 0.10BC	14.57 \pm 0.51C	16.84 \pm 0.20B	19.41 \pm 0.12B	18.20 \pm 0.54C
	250	3.62 \pm 0.35C	8.51 \pm 0.33AB	13.10 \pm 0.21B	13.98 \pm 0.49A	14.03 \pm 0.23C	17.31 \pm 0.44B	14.71 \pm 0.21D	17.26 \pm 0.47C
	500	6.56 \pm 0.24AB	7.11 \pm 0.21C	11.02 \pm 0.16C	9.80 \pm 0.07D	11.35 \pm 0.06D	12.80 \pm 0.56D	14.35 \pm 0.61D	19.96 \pm 0.87B
蔗糖 Sucrose	CK	15.62 \pm 0.44A	23.17 \pm 1.11B	36.82 \pm 0.89B	39.71 \pm 1.43B	39.37 \pm 1.04C	47.33 \pm 2.12B	45.59 \pm 2.08B	44.57 \pm 1.76D
	10	16.58 \pm 1.59A	22.58 \pm 0.27B	41.19 \pm 1.13A	43.76 \pm 1.66A	42.95 \pm 1.21B	51.74 \pm 0.09A	50.27 \pm 1.17A	58.95 \pm 1.17A
	50	16.57 \pm 0.44A	25.05 \pm 0.20A	41.94 \pm 0.88A	40.74 \pm 0.39B	42.24 \pm 0.80B	50.03 \pm 0.07A	48.96 \pm 1.43A	53.01 \pm 0.00B
	250	12.20 \pm 0.58B	22.10 \pm 0.97B	42.56 \pm 1.22A	40.89 \pm 1.41B	44.99 \pm 1.59A	43.22 \pm 2.59C	49.48 \pm 1.24A	50.46 \pm 0.68C
	500	12.49 \pm 0.60B	17.76 \pm 0.53C	33.04 \pm 0.95C	35.88 \pm 1.17C	37.60 \pm 0.84C	36.84 \pm 0.55D	42.23 \pm 1.36C	43.70 \pm 0.56D
总糖 Total sugar	CK	25.92 \pm 2.93B	36.86 \pm 1.59A	58.50 \pm 2.81C	63.10 \pm 2.93C	75.59 \pm 0.21A	83.79 \pm 3.30A	82.83 \pm 2.93A	83.66 \pm 3.59B
	10	30.25 \pm 0.95A	34.71 \pm 0.57A	66.92 \pm 2.42A	69.61 \pm 0.16A	68.03 \pm 0.27C	76.48 \pm 0.85B	81.03 \pm 0.46A	98.81 \pm 0.49A
	50	29.58 \pm 1.60A	37.02 \pm 3.42A	58.82 \pm 1.56C	64.70 \pm 1.29BC	66.55 \pm 0.19D	77.76 \pm 0.71B	80.80 \pm 1.29A	83.60 \pm 0.68B
	250	18.50 \pm 1.15D	34.76 \pm 1.05A	64.02 \pm 0.42B	66.25 \pm 2.64B	71.82 \pm 1.31B	71.47 \pm 3.25C	73.30 \pm 1.55B	78.58 \pm 0.37C
	500	22.20 \pm 1.37C	28.87 \pm 0.77B	51.22 \pm 0.65D	52.94 \pm 1.35D	59.29 \pm 0.69E	57.31 \pm 1.71D	65.03 \pm 2.66C	77.23 \pm 2.56C

幼果期第 1 次用 GA₃ 处理后的 7 月 25 日,低浓度的 GA₃ 处理(10 和 50 mg \cdot L⁻¹)同样能明显加快果肉果糖的积累,而高浓度的 GA₃ 处理(250 和 500 mg \cdot L⁻¹)则极显著降低了果糖含量或没有显著差异。9 月 26 日第 2 次用 GA₃ 处理后 15 d,10 和 500 mg \cdot L⁻¹ GA₃ 处理和对照果实果糖含量有所下降,50 和 100 mg \cdot L⁻¹ GA₃ 处理的果糖含量有所上升;

10 月 10 日低浓度 GA₃ 处理(10 和 250 mg \cdot L⁻¹)的果糖含量极显著高于对照,而高浓度处理(500 mg \cdot L⁻¹)极显著低于对照。果实进入着色期(10 月 10 日至 11 月 10 日),对照果实果糖含量迅速上升,而各 GA₃ 处理上升较缓慢,10 月 25 日至 11 月 25 日各 GA₃ 处理的果糖含量均极显著低于对照。果实进入成熟期,对照果实果糖含量缓慢上升并保持在比

较稳定的水平,而各 GA_3 处理中,除 $50\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的果糖含量有所下降外,其它处理均以较快的速度增加,果实成熟时除 $10\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} GA_3$ 处理的果糖含量略高于对照外(未达到显著性差异),其它处理的果糖含量均极显著低于对照,表明外源 GA_3 处理抑制了果肉果糖的积累。

外源 GA_3 处理对果肉蔗糖含量的变化也有明显影响。幼果期第 1 次处理后的 7 月 25 日,低浓度 GA_3 处理(10 和 $50\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的蔗糖含量略高于对照,但均未达到显著差异,而高浓度处理(250 和 $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)则极显著低于对照;8 月 26 日, $50\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} GA_3$ 处理的蔗糖含量极显著高于对照,而 $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} GA_3$ 处理极显著低于对照,其它处理与对照相比无显著差异;果实膨大后期的 9 月 26 日,除高浓度 GA_3 处理($500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的蔗糖含量仍极显著低于对照外,其它处理均极显著高于对照;果实着色期(10 月 10 日至 11 月 25 日),除 $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} GA_3$ 处理的蔗糖含量极显著低于对照外,其它处理均极显著高于对照。果实成熟时除 $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 GA_3 处理蔗糖含量比对照略低外(未达到显著差异),其它处理的蔗糖含量均极显著高于对照,且处理浓度越高,蔗糖含量越低,表明较低浓度的 GA_3 处理能促进果实中蔗糖的积累。

GA_3 处理后果肉总糖含量的变化趋势与蔗糖类似。果实成熟时,除 $10\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} GA_3$ 处理的总糖含量极显著高于对照外,其它处理均低于对照。其中, 250 和 $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} GA_3$ 处理的总糖含量极显著低于对照,且处理浓度越高,总糖含量越低。表明低浓度的 GA_3 处理能促进红肉脐橙果肉总糖的积累,但高浓度的 GA_3 处理则抑制果肉中总糖的积累。

4 讨 论

4.1 外源 ABA 对红肉脐橙果实糖含量的影响

研究表明,柑橘果实发育过程中汁囊的糖含量和 ABA 含量变化呈极显著正相关,并且果实成熟时糖含量增加与转化酶活性下降有关^[27]。Kobashi 等^[11]研究表明,对桃喷施外源 ABA 增加了果实中糖的积累,并提高了山梨醇氧化酶(SOX)的活性。Kenji 等^[10]对水分胁迫下桃的研究也表明,适度水分胁迫可诱导内源 ABA 含量的增加,ABA 含量增加使得 SOX 活性增强,从而促进糖的积累。Ofosu-Anim 等^[17]的试验表明,将甜瓜果实圆片加入 ABA 进行培养后果实中葡萄糖、果糖和蔗糖含量增加。Kobashi 等^[12]的研究还表明,外源 ABA 均可促进桃

果肉胞内和胞外糖的积累,并认为这与 ABA 提高了载体运转的液泡膜和原生质膜通道有关。关于外源 ABA 提高果实含糖量的研究在柑橘和鳄梨中也有报道^[6,13,20]。本研究结果表明,较低浓度的外源 ABA 处理($10\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)有利于红肉脐橙果肉中己糖(葡萄糖和果糖)和总糖的积累,中等浓度的外源 ABA 处理($50\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)有利于蔗糖的积累,但较高浓度的外源 ABA 处理($100\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)不利于葡萄糖的积累,这与前人研究结果基本一致。John 等^[9]对草莓的研究也表明,ABA 能促进果肉中糖的积累。非呼吸跃变型果实(如柑橘、草莓、葡萄和樱桃等)的成熟通常伴随着 ABA 含量的增加^[16],ABA 可激活细胞膜 ATP 酶活性^[18]、提高膜的通透性^[16],从而有利于同化产物的跨膜运输;同时,ABA 还可以强化库活力,促进光合产物在库组织中的积累^[21,24]。本试验用外源 ABA 处理柑橘果实后必然增加其内源 ABA 含量,从而促进果肉糖含量的增加。

4.2 外源 GA_3 对红肉脐橙果实糖含量的影响

研究表明,外源 GA_3 处理可以抑制仙人掌^[1]、梨^[3]和甜樱桃果实^[15]中糖含量的增加。 GA_3 是靠阻碍 ABA 含量的增加来延迟果实成熟,从而使糖的积累受阻^[15]。本研究结果表明,外源 GA_3 处理基本上抑制了红肉脐橙果肉糖的积累,与前人研究结论一致。但 Perez 等^[19]的研究表明,葡萄果实应用 GA_3 后促进了己糖含量和转化酶活性的增加,且果实大小、转化酶活性和己糖含量呈正相关,而越橘果实应用 GA_3 后,糖代谢酶活性和糖含量均不受外源 GA_3 的影响,这可能与所用试验材料不同有关。

参考文献

- [1] Barrera DL, Nobel PS. 2004. Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, including effects of drought and gibberellic acid. *Journal of Experimental Botany*, **55**: 719-729
- [2] Chen J-W (陈俊伟), Xie M (谢鸣), Qin Q-P (秦巧平). 2005. Connections of sugar and hormone signaling in plants. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), **41**(3): 279-285 (in Chinese)
- [3] Chun JP, Tamura F, Tanabe K, et al. 2003. Physiological and chemical changes associated with watercore development induced by GA in Japanese pear 'Akiba' and 'Housui'. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, **72**: 378-384
- [4] Dang Y-P (党云萍), Wang Y-F (王延峰), Chang H-F (常海飞), et al. 2002. Effects of various concentration GA_3 on fruit development of the peach of 'Xinongzaomi'. *Journal of Yan'an University* (Natural Science) (延安大学学报·自然科学版), **21**(4): 65-66 (in Chinese)

- [5] Echeverria E , Burns JK. 1989. Vacuolar acid hydrolysis as a physiological mechanism for sucrose breakdown. *Plant Physiology* , **90** :530-533
- [6] Echeverria E , Gonzalez PC , Brune A. 1997. Characterization of proton and sugar transport at the tonoplast of sweet lime juice cells. *Annual Review of Plant Physiology* , **101** :291-300
- [7] Fan H-M (樊会敏) , Zhang X-H (张喜焕). 2002. Effect of spraying ' yunda-120 ' on strawberry. *Journal of Handan Agricultural College* (邯郸农业高等专科学校学报) , **19** (2) :12-13 (in Chinese)
- [8] Gong Y-M (宫永铭) , Pan Z-H (潘志海) , Cui C (崔椿) , et al. 2002. Effects of ' Kangkai ' on apple and pear tree. *Shandong Agricultural Sciences* (山东农业科学) , **1** :38-39 (in Chinese)
- [9] John OA , Yamaki S. 1994. Sugar content , compartmentation , and efflux in strawberry tissue. *Journal of American Society for Horticultural Science* , **119** :1024-1028
- [10] Kenji K , Hiroshi G , Shuichi I. 2000. Abscisic acid content and sugar metabolism of peaches grown under water stress. *Journal of American Society for Horticultural Science* , **125** :425-428
- [11] Kobashi K , Gemma H , Iwahori S. 1999. Sugar accumulation in peach fruit as affected by abscisic acid (ABA) treatment in relation to some sugar metabolizing enzymes. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* , **68** :465-470
- [12] Kobashi K , Sugaya S , Gemma H , et al. 2001. Effect of abscisic acid (ABA) on sugar accumulation in the flesh tissue of peach fruit at the start of the maturation stage. *Journal of Plant Growth Regulation* , **35** :215-223
- [13] Kojima K. 1995. Effects of abscisic acid on sugar and organic acid contents of citrus fruit. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* , **64** :17-21
- [14] Komatsu A , Moriguchi T , Koyama K. 2002. Analysis of sucrose synthase genes in citrus suggests different role and phylogenetic relationships. *Journal of Experimental Botany* , **53** :61-67
- [15] Kondo S , Danjo C. 2001. Cell wall polysaccharide metabolism during fruit development in sweet cherry ' Satohnishiki ' as affected by gibberellic acid. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* , **70** :178-184
- [16] Leshem YY , Halevy AH , Frenkel C. 1986. Processes and Control of Plant Senescence. Amsterdam : Elsevier Press.
- [17] Ofosu-Anim J , Kanayama Y , Yamaki S. 1996. Sugar uptake into strawberry fruit is stimulated by abscisic acid and indoleacetic acid. *Annual Review of Plant Physiology* , **97** :169-174
- [18] Peng Y-B (彭宜本). 2000. Studies on Cell Biology of Fruit Development of Apple : Emphasis on Cytology Mechanism of Sugar Uninstall in Fruit. Beijing : China Agricultural University Press. (in Chinese)
- [19] Perez FJ , Gomez M. 2000. Possible role of soluble invertase in the gibberellic acid berry-sizing effect in Sultan grape. *Journal of Plant Growth Regulation* , **30** :111-116
- [20] Riching EW , Cripps RF , Cowan AK. 2000. Factors affecting ' Hass ' avocado fruit size : Carbohydrate , abscisic acid and isoprenoid metabolism in normal and phenotypically small fruit. *Annual Review of Plant Physiology* , **109** :81-89
- [21] Talon M. 1990. Hormonal changes associated with fruit set and development in mandarins differing in their parthenocarpic ability. *Plant Physiology* , **79** :400-406
- [22] Wang G-Y (王贵元) , Xia R-X (夏仁学). 2005. Changes in the contents of lycopene , beta-carotene , sugar and endogenous GA and ABA in flesh during the fruit development of ' Cara Cara ' Orange. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报) , **32** (3) :482-485 (in Chinese)
- [23] Wang L-F (王利芬) , Xia R-X (夏仁学) , Zhou K-B (周开兵). 2004. Study on the sugar accumulation process of Newhall Navel Orange and changes of activities of sucrose-metabolizing enzymes. *Journal of Fruit Science* (果树学报) , **21** (3) :220-223 (in Chinese)
- [24] Weaver RJ , Johnson JO. 1985. Relation of hormones to nutrient mobilization and the internal environment of the plant : The supply of mineral nutrients and photosynthate// Pharis RP , Reid DM , eds. Encyclopedia of Plant Physiology (New Series). Vol. 11. Hormonal Regulation of Development. II , Role of Environmental Factors. Heidelberg : Springer-Verlag.
- [25] Xiao Y (肖艳) , Huang J-C (黄建昌) , Zhao C-X (赵春香) , et al. 2002. Effects of plant growth regulator on fruit yield and quality of ' Xiangjiao ' plum. *Journal of Zhongkai University of Agriculture and technology* (仲恺农业技术学院学报) , **15** (4) :34-38 (in Chinese)
- [26] Zhang S-Y (张树英) , Liu H (刘和) , Song Z-H (宋志辉) , et al. 2005. Effect of some plant growth regulators on fruit development in pear. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences* (山西农业科学) , **33** (3) :43-44 (in Chinese)
- [27] Zhao Z-Z (赵智中) , Zhang S-L (张上隆) , Chen J-W (陈俊伟) , et al. 2002. The physiological mechanism on the difference of sugar accumulation in citrus varieties. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学) , **35** (5) :541-545 (in Chinese)
- [28] Zhao Z-Z (赵智中) , Zhang S-L (张上隆) , Xu C-J (徐昌杰) , et al. 2001. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in Satsuma Mandarin fruit. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报) , **28** (2) :112-118 (in Chinese)
- [29] Zhou Y-S (周玉书) , Chou G-S (仇贵生) , Zhang P (张平) , et al. 2003. Effects of ' Homobrassinolide ' on grape. *China Fruits* (中国果树) , (5) :15-16 (in Chinese)

作者简介 王贵元,男,1978年生,博士,讲师。主要从事柑橘品质生理生态研究,已发表论文22篇。E-mail: guiyuanwang@163.com

责任编辑 张凤丽