

不同倍性西瓜内源激素与番茄红素积累的相关性研究

豆峻岭, 路绪强, 刘文革*, 赵胜杰, 何楠, 朱红菊, 高磊

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要: 以同基因型不同倍性 (2x、3x、4x) 的西瓜品种‘蜜枚’为材料, 采用分光光度计法和酶联免疫法对西瓜果实发育过程中果肉番茄红素含量以及 IAA、ABA、GA、ZR、BR 等 5 种激素含量进行测定, 以探究番茄红素积累与这 5 种激素之间的关系。结果显示: 不同倍性的西瓜果实在授粉后 25 ~ 30 d 时都达到成熟果实的大小。不同倍性西瓜果实番茄红素含量在授粉后 25 d 时开始迅速增加, 并且一直表现为三倍体 > 四倍体 > 二倍体; 整个果实发育期, IAA 的含量表现为多倍体大于二倍体, 在授粉后 15 d 和 25 d 时, 三倍体西瓜果实中 IAA 的含量远高于其它倍性; ABA 的含量没有明显的规律, 不同发育时期各个倍性中 ABA 的含量差异各不相同; 不同倍性西瓜果实中 GA 的含量整体上表现为逐渐降低的趋势, 均为发育前期最大; 不同倍性西瓜果实中 ZR 的含量差异不明显, 在授粉后 25 d 时有一个较小的峰值; 不同倍性西瓜果实中 BR 的含量相对较少, 整个发育时期都维持在 5 ~ 15 ng · g⁻¹FW。不同倍性西瓜果实中番茄红素和 GA 的积累均呈负相关, 其它激素和番茄红素的积累均无相关性。

关键词: 西瓜; 倍性; 番茄红素; 内源激素; 相关性

中图分类号: S 651

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 05-0969-10

Correlations of Endogenous Hormones and Lycopene Accumulation During Development of Different Ploidy Watermelons

DOU Jun-ling, LU Xu-qiang, LIU Wen-ge*, ZHAO Sheng-jie, HE Nan, ZHU Hong-ju, and GAO Lei
(Zhengzhou Fruit Research Institute, China Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

Abstract: To explore the relation between the accumulation of lycopene and hormones, genotypes with different ploidy (2x, 3x, 4x) watermelon ‘Mimei’ were used as materials. The content of endogenous hormones (IAA, ABA, GA, ZR, BR) and lycopene were tested by ELISA (enzyme linked immunosorbent assay) and spectrophotometry respectively during the fruit development period. The results showed as follows: The fruit reached its full size from 25 d to 30 d after pollination. The content of lycopene had the tendency of triploid (3x) > tetraploid (4x) > diploid (2x) and rapidly increased at 25 d after pollination. The content of IAA in diploid watermelon was less than others during fruit developing period, and the contents of triploid were significant more than others at 15 d and 25 d after pollination;

收稿日期: 2014-12-05; **修回日期:** 2015-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31171979); 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目 (CAAS-ASTIP-2015-ZFRI); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-26-03); ‘十二五’国家科技支撑计划项目 (2012BAD02B00)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: lwgwm@163.com)

There was no obvious regularity about the content of ABA among different ploidy; The content of GA reached the maximum in the early development period, but decreased gradually as the fruit grows; The content of ZR had no obvious difference among different ploidy in the whole development, only having a peak value at 25 d after pollination; The content of BR was less than other hormones in watermelon fruit, maintaining in 5 – 15 ng · g⁻¹FW during fruit development period. There was a negative correlation between lycopene and GA. The correlations between lycopene and others hormones were not found.

Key words: watermelon; ploidy; lycopene; endogenous hormone; correlation

植物内源激素在调控果实生长发育过程中起着重要作用(唐莉娟和万益群, 2009)。在刺梨、苹果和葡萄上研究激素对坐果及果实发育的生理作用, 可为诱导果实发育和提高坐果率提供依据(阎国华等, 2000; 陈发河等, 2002; 樊卫国等, 2004)。对内源激素的研究表明多种植物激素协调作用对调控梨果实生长发育起着重要作用(廖明安等, 2009)。在草莓中的研究表明, GA₃ 具有促进草莓花芽分化的作用, 而 IAA 则与草莓花芽分化存在一定的负相关(钟晓红等, 2004)。

番茄红素的合成与内源激素积累关系密切, GA 和番茄红素的合成共用同一底物牻牛儿基牻牛儿基焦磷酸(GGPP), 而 ABA 的合成是番茄红素合成途径的延续(Isaacson et al., 2002; 豆峻岭和刘文革, 2013)。王贵元和夏仁学(2005)对红肉甜橙的研究表明番茄红素和 β - 胡萝卜素的积累伴随着 GA 含量的下降和 ABA 含量的上升。Liang (2012)对番茄的研究表明, 通过阻碍 ABA 的合成途径, 可以使番茄果实中番茄红素以及 β - 胡萝卜素的含量增加。

关于西瓜(*Citrullus lanatus*)果实中番茄红素的研究表明, 随着果实的发育, 番茄红素逐渐积累, 在成熟期达到最大值(万学闪等, 2011); 不同倍性西瓜间番茄红素含量也表现为多倍体大于二倍体(袁平丽等, 2012)。而对于西瓜无籽变异株以及普通西瓜雄性不育系中内源激素的变化都有一定的报道(刘海河等, 2006; 张勇等, 2011), 并且通过外源激素处理也可以诱导西瓜的单性结实(刘世琦等, 2003)。多倍体相对于其同源二倍体在遗传及表型上有很大的优势。一般认为, 植物营养器官性状的变化与基因的剂量有关, 随着基因拷贝数的增加, 基因转录产物量的变化, 植物的一些性状也发生相应变化(刘文革等, 2005)。多倍体西瓜果皮厚度及各组成部分的厚度均大于二倍体(刘鹏等, 2012), 多倍体西瓜的含糖量以及功能性成分含量也都高于其同源二倍体(万学闪等, 2011; 袁平丽等, 2012), 但对于多倍体西瓜内源激素含量的变化还未见报道。多倍体西瓜果实内源激素的含量是否高于其同源二倍体, 不同倍性西瓜果实间番茄红素和内源激素之间的相关性是否一致? 本研究中以同基因型不同倍性的西瓜品种‘蜜枚’为试材, 对其果实发育过程中果肉番茄红素以及内源激素含量的变化进行测定, 并分析它们之间的相关性, 以期为今后的高番茄红素西瓜育种以及西瓜栽培生理的研究提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以‘蜜枚’2x、3x、4x 西瓜为供试材料, 2012 年 3 月播种于中国农业科学院郑州果树研究所中牟县多倍体西瓜试验田, 常规管理。在花期进行自花授粉。授粉前一天下午对即将开花的雌花套帽, 第 2 天早上用雄花对其进行授粉, 挂牌标记授粉日期。从授粉后 10 d 开始采取果肉样品, 每 5 d 采 1 次样, 直到果实过熟(授粉后 40 d)。每次取 3 个长势及坐瓜节位相近的果实, 称质量后切开取果

肉样品, 去除种子, 每个果实重复 3 次取样, 样品分两份保存, 一份匀浆后至于 -20°C 保存用于番茄红素的测定; 另一份立即投入液氮冷冻, 带回实验室于 -80°C 保存用于激素的测定。

1.2 番茄红素和内源激素的测定

称取果肉 3.0 g, 匀浆机破除细胞壁; 20 mL 无水乙醇分多次脱水, 30 mL 甲醇分多次洗涤至洗出液无色, 2%二氯甲烷石油醚提取西瓜渣至无色, 合并提取液定容至 100 mL; 在波长 502 nm 处测定吸光值, 根据标准曲线方程计算番茄红素的含量(万学闪等, 2011)。3 次重复并求平均值。

番茄红素含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = $A/0.3078/W \times f$ 。式中, A 为 502 nm 处吸光值; 0.3078 为标准曲线斜率; W 为样品质量 (g); f 为稀释倍数。

称取 1.0 g 样品, 加入 4 mL 内含 100 mg PVP (聚乙烯吡咯烷酮) 的 80% 甲醇提取液, 弱光冰浴研磨、匀浆, 转入 10 mL 离心管, 置 4°C 下提取 4 h, $1\,000 \times g$ 离心 15 min, 取上清液, 过 Sep-PakC18 柱纯化两次, 滤液定容至 1.5 mL。参照刘丙花等 (2007) 的酶联免疫分析方法 (ELISA) 测定样品中的生长素 (IAA)、脱落酸 (ABA)、赤霉素 (GA)、玉米素 (ZR) 和油菜素内酯 (BR) 含量。试剂盒由中国农业大学化控室提供。

试验数据用 Excel、SPSS 软件进行相关性分析及标准误差分析。样品重复 3 次测定。

2 结果与分析

2.1 不同倍性西瓜发育过程中果实大小的变化

如图 1 所示, 不同倍性西瓜果实发育规律一致, 到授粉后 25 d 时已经基本达到成熟果实的大小, 授粉 30 d 后果实的大小不再变化。在发育前期不同倍性间西瓜果实质量相差不大, 而随着果实的发育, 西瓜果实质量的变化表现为三倍体 (3x) > 四倍体 (4x) > 二倍体 (2x), 且 3x 和 4x 西瓜果实质量明显大于 2x。

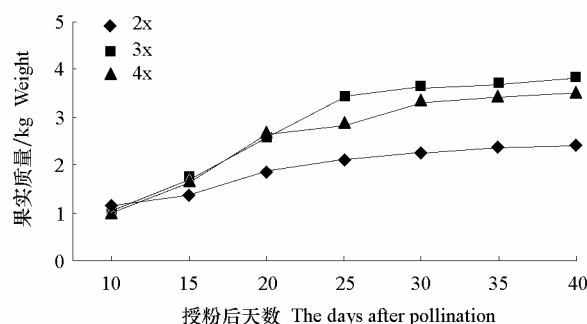


图 1 不同倍性西瓜发育过程中果实质量的变化

Fig. 1 Changes of fruit weight during development of different ploidy watermelons

2.2 不同倍性西瓜发育过程中番茄红素含量的变化

如图 2 所示, 发育前期番茄红素积累较慢, 授粉后 10~20 d 一直处于较低的水平, 到授粉后 25 d 开始迅速增加, 35 d 达到最大值, 3x、4x、2x 分别为 58.88 、 52.18 和 $49.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FW}$, 之后有所下降。整个发育过程番茄红素含量都表现为多倍体大于二倍体。

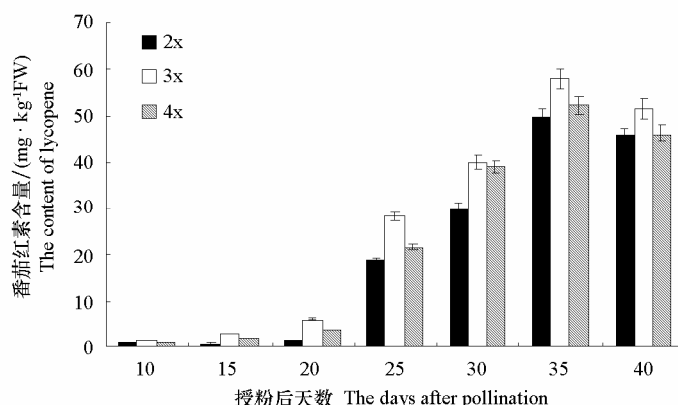


图 2 不同倍性西瓜发育过程中果实番茄红素含量的变化

Fig. 2 Changes of fruit lycopene during development of different ploidy watermelons

2.3 不同倍性西瓜发育过程中 IAA 含量的变化

如图 3 所示, 多倍体西瓜果实中 IAA 含量在果实各个发育时期多数大于二倍体, 三倍体在授粉后 15 d 和 25 d 明显大于二倍体和四倍体; 而在其它发育时期, IAA 含量在不同倍性间的差异没有一定的规律。整个发育期二倍体和三倍体西瓜 IAA 含量均表现出“升高—降低—升高—降低”的趋势, 二倍体西瓜在授粉后 15 d 和 35 d 有两个峰值, 分别为 294 和 336 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$; 三倍体西瓜在授粉后 15 d 和 25 d 有两个峰值; 而四倍体在整个发育过程中含量变化不大, 一直维持在 200 ~ 300 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 左右。

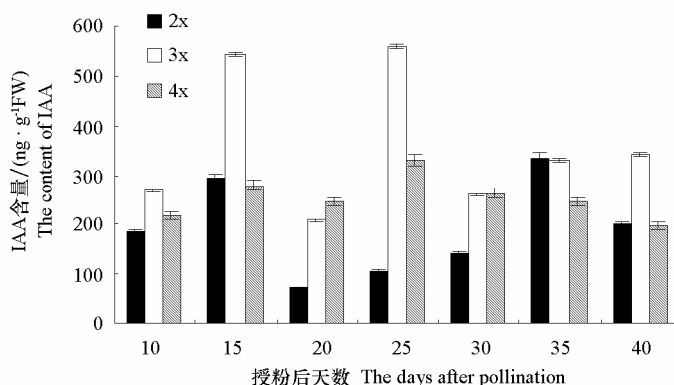


图 3 不同倍性西瓜发育过程中 IAA 含量的变化

Fig. 3 Changes of IAA content during development of different ploidy watermelons

2.4 不同倍性西瓜发育过程中 ABA 含量的变化

如图 4 所示, 不同倍性间 ABA 含量的变化趋势各不相同, 在整个发育过程中, 二倍体西瓜果实前期 ABA 含量较低, 后期一直维持在较高的水平, 这与番茄红素积累的趋势相近。而三倍体在整个发育过程中在授粉后 15 d 和 30 d 有两个峰值, 分别为 559 和 468 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 其余时间含量都较低; 四倍体西瓜在整个发育过程中 ABA 含量的变化趋势为“升高—降低—升高”, 分别在授粉后 20 d 和 40 d 含量最高, 分别为 575 和 544 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。

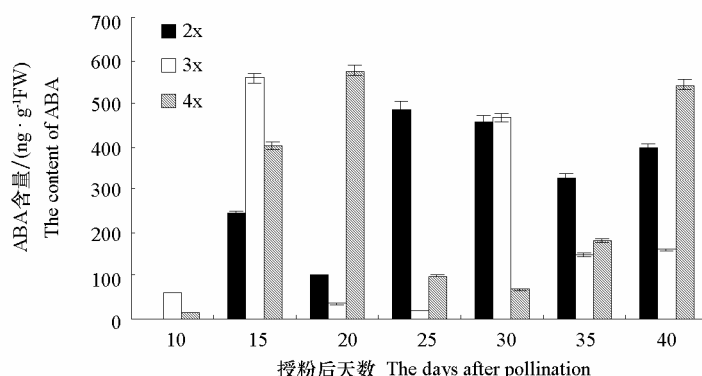


图 4 不同倍性西瓜发育过程中 ABA 含量的变化

Fig. 4 Changes of ABA content during development of different ploidy watermelons

2.5 不同倍性西瓜发育过程中 GA 含量的变化

如图 5 所示, 不同倍性西瓜果实 GA 的含量在整个发育时期都表现为逐渐降低的趋势, 授粉后 40 d 时达到最低。授粉后 10 d 含量最大, 此时二倍体中 GA 含量最大为 $125 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 三倍体和四倍体中的含量相差不大, 分别为 52 和 $53 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$; 之后不同倍性间 GA 含量几乎都开始降低, 四倍体在授粉后 15 d 有 1 个小的峰值 ($66 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$), 而二倍体在授粉后 30 d 也有 1 个小的峰值 ($33 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$), 其它发育时期均呈现逐渐降低的趋势。

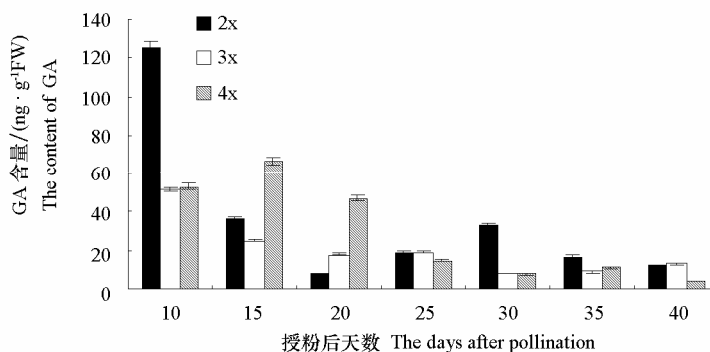


图 5 不同倍性西瓜发育过程中 GA 含量的变化

Fig. 5 Changes of GA content during development of different ploidy watermelons

2.6 不同倍性西瓜发育过程中 ZR 含量的变化

如图 6 所示, 不同倍性间 ZR 含量几乎都表现为先上升后降低的趋势, 在授粉后 25 d 分别达到最大值, 二倍体达 $33 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 三倍体达 $44 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, 四倍体达 $23 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。而在各个发育时期不同倍性间 ZR 含量差异较小, 几乎都表现为前期缓慢升高, 到授粉后 25 d 达到峰值, 之后再缓慢降低, 但整体上都维持在一定的范围内。

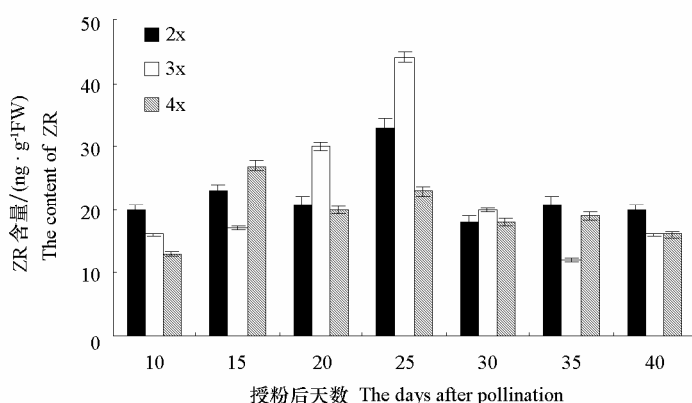


图 6 不同倍性西瓜发育过程中 ZR 含量的变化

Fig. 6 Changes of ZR content during development of different ploidy watermelons

2.7 不同倍性西瓜发育过程中 BR 含量的变化

如图 7 所示,在整个发育过程中 BR 含量一直较低,授粉后 25 d 三倍体的含量最高,为 $16 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。各个倍性间差异也不明显,二倍体西瓜在整个发育过程中的含量一直维持在 $5 \sim 12 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 之间;而三倍体除授粉后 20 d 和 25 d 时含量为 14 和 $16 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 外,其它时期含量均小于 $10 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$;四倍体整个发育期 BR 含量也一直维持在 $5 \sim 9 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 之间,整个发育时期 BR 含量维持在较低水平,不同倍性间的差异也较小。

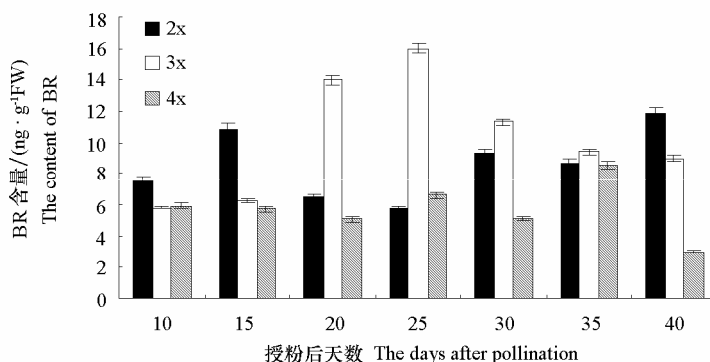


图 7 不同倍性西瓜发育过程中 BR 含量的变化

Fig. 7 Changes of BR content during development of different ploidy watermelons

2.8 不同倍性西瓜果实发育过程中内源激素与番茄红素相关性分析

由表 1 可知,所研究的 5 种激素中 GA 和番茄红素呈负相关性,即果实发育过程中 GA 的含量随果实番茄红素含量的升高而降低。二倍体和三倍体西瓜果实发育过程中 GA 含量和同倍性的番茄红素含量呈显著负相关,而四倍体西瓜发育过程中 GA 含量和四倍体西瓜番茄红素含量呈极显著负相关;其它内源激素和番茄红素没有相关性。

表 1 不同倍性西瓜果实发育过程中内源激素与番茄红素的相关性

Table 1 The correlation between lycopene and endogenous hormones during development of different ploidy watermelons fruit

番茄红素含量 Lycopene content	IAA (2x)	ABA (2x)	GA (2x)	ZR (2x)	BR (2x)
二倍体 Diploid	0.368	0.648	- 0.846*	- 0.163	0.396
三倍体 Triploid	- 0.067	- 0.029	- 0.755*	- 0.220	0.174
四倍体 Tetraploid	- 0.191	- 0.076	- 0.913**	- 0.246	0.074

注: *表示在 0.05 水平上差异显著; **表示在 0.01 水平上差异显著。

Note: *, correlation is significant at the 0.05 level; **, correlation is significant at the 0.01 level.

3 讨论

西瓜果实发育前期质量增加较快, 授粉后 25 ~ 30 d 已经基本达到成熟果实的大小, 这与果实后期积累大量的营养物质有关。此时, 细胞体积变化缓慢, 细胞内开始积累大量有机物(刘鹏 等, 2012), 本研究中 GA、ABA、ZR 在授粉后 25 d 或 30 d 都出现峰值, 且番茄红素在授粉后 25 d 也迅速增加, 这些可能与该时期西瓜果实从细胞体积增大向营养物质积累的转变有关。

普通二倍体西瓜的生长期一般为 35 d 左右, 在果实发育初期, IAA 是 5 种激素中含量最高的。在授粉后 40 d 时二倍体和四倍体 IAA 含量都有所降低, 而三倍体中 IAA 含量却有所升高, 这可能与果实成熟后种子内产生大量的 IAA 有密切关系(吴邦良 等, 1995; 张绍铃 等, 2003), 三倍体西瓜中不产生种子, 在发育后期其瓜瓤中的 IAA 含量仍然维持在较高的水平。有研究证明 GA 有促进 IAA 产生的作用(Gaspar et al., 1996; 樊卫国 等, 2004), 而本研究中没有得到相关结论, 不同倍性西瓜果实 GA 与 IAA 在‘蜜枚’西瓜果实发育过程中没有必然的相关性。西瓜果实逐渐增大, 只有 GA 含量逐渐较小, GA 含量随西瓜果实的增大而减少, 推测 GA 可能对西瓜果实大小的影响较小, 而含量相对较高的其它激素弥补了 GA 的不足。这和张勇等(2011)在无籽西瓜变异株上的研究结果相一致。

Liang (2012) 通过对番茄 ABA 合成途径中编码 9 - 顺式 - 环氧类胡萝卜素双加氧酶基因 SINCED1 的 RNAi 发现, ABA 的合成受到 SINCED1 的抑制后会导致番茄红素以及 β - 胡萝卜素的增加, 所有受到 RNAi 的果实都会表现出深红色, 从而认为 ABA 可能在番茄果实成熟过程中起着调控果实着色程度以及类胡萝卜素成分的作用。Robert 等(2007)利用 cDNA 芯片研究马铃薯同源单倍体、二倍体和四倍体的基因转录表达时发现多个基因的表达在不同染色体倍性上发生了显著的变化。本研究中不同倍性西瓜果实中 ABA 和番茄红素没有相关性, 这可能是由于倍性的增加引起了 ABA 合成途径中某些基因表达量的改变而造成发育过程中 ABA 合成与番茄红素合成的不相关。

Shiwachi 等(2003)对红肉脐橙的研究表明, 使用 GA 抑制剂可以提高果肉番茄红素的含量, 从而造成果肉着色加深。王贵元和夏仁学(2005)的研究也表明脐橙发育过程中番茄红素的积累和 GA 含量的变化呈显著负相关, GA 可能对番茄红素的合成起负调控的作用。本研究中番茄红素在不同倍性西瓜果实中的含量差异表现为 $3x > 4x > 2x$, 说明倍性的增加造成了番茄红素含量的增加。Yuan 等(2012)通过对不同倍性西瓜果实番茄红素合成关键酶基因表达量的研究表明, 在多倍体西瓜果实中番茄红素合成关键酶基因 *PSY* 和 *LCYb* 的表达量比普通二倍体表达量高, 这也解释了本试验中番茄红素在多倍体中含量高的原因。不同倍性西瓜果实 GA 含量差异较小, 说明倍性的增加对西瓜果实 GA 的含量影响较小; 3 个倍性西瓜果实发育过程中 GA 的变化趋势相一致, 均表现为逐渐降低, 与番茄红素的积累呈负相关。这也验证了 GA 和番茄红素的合成共用同一个底物, 番茄红素的合成可能与 GA 的积累存在着相互抑制的作用(Liang, 2012)。

多倍体西瓜果实发育过程中 IAA 的含量大于其同源二倍体, 这说明倍性的增加造成了 IAA 含量的增加; 而 ZR、BR 在不同倍性西瓜果实发育过程中含量一直较低, 且不同倍性间的差异较小, 说明倍性的增加对这两种激素的影响较小, 究其原因, 可能是染色体人工加倍形成的同源多倍体中与这两种激素相关的基因变异较小(刘文革 等, 2004; 栾丽 等, 2004)。受等位基因剂量效应、转录因子数量和遗传的影响, 某些基因的表达在同一物种不同倍性之间存在一定的差异, 这可能也解释了倍性的增加对不同激素造成的差异有所不同的原因。

植物内源激素的调控途径与类胡萝卜素以及植物体内许多营养物质的合成途径相互联系(豆峻岭和刘文革, 2013), 并且受倍性以及栽培条件的影响, 本研究中对同基因型不同倍性内源激素以及番茄红素的研究表明, 不同倍性的西瓜果实发育过程中 GA 含量均与番茄红素呈负相关, 二倍体西瓜 ABA 的含量和番茄红素呈正相关, 而其它激素和番茄红素没有相关性。植物激素对果实生长发育的调控是一个很复杂的过程, 尤其是不同倍性间激素的调控更加复杂, 该过程不仅仅取决于某一种激素的消长及其绝对浓度的变化, 内源激素间的相互平衡及相互间的协同作用也非常重要(陈昆松 等, 1999)。

References

- Chen Fa-he, Cai Hui-nong, Feng Zuo-shan, Zhang Wei-yi, Liao Kang-ji. 2002. Changes in hormone levels in grape berries during development. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 28 (5): 391 – 395. (in Chinese)
- 陈发河, 蔡慧农, 冯作山, 张维一, 廖康集. 2002. 葡萄浆果发育过程中激素水平的变化. *植物生理与分子生物学报*, 28 (5): 391 – 395.
- Chen Kun-song, Li Fang, Zhang Shang-long. 1999. Role of abscisic acid and indole-3-acetic acid in kiwifruit ripening. *Acta Horticulturae Sinica*, 26 (2): 81 – 86. (in Chinese)
- 陈昆松, 李 方, 张上隆. 1999. ABA 和 IAA 对猕猴桃果实成熟进程的调控. *园艺学报*, 26 (2): 81 – 86.
- Dou Jun-ling, Liu Wen-ge. 2013. Research progress on metabolic and molecular regulation of lycopene. *Journal of Fruit Science*, 30 (4): 697 – 705. (in Chinese)
- 豆峻岭, 刘文革. 2013. 番茄红素代谢及分子调控机理研究进展. *果树学报*, 30 (4): 697 – 705.
- Fan Wei-guo, An Hua-ming, Liu Guo-qin, He Song-tao, Liu Jin-ping. 2004. Changes of endogenous hormones contents in fruit, seeds and their effects on the fruit development of *Rosa roxburghii*. *Scientia Agricultura Sinica*, 37 (5): 728 – 733. (in Chinese)
- 樊卫国, 安华明, 刘国琴, 何嵩涛, 刘进平. 2004. 刺梨果实与种子内源激素含量变化及其与果实发育的关系. *中国农业科学*, 37 (5): 728 – 733.
- Gaspar T, Kevers C, Penel C, Greppin H, Reid D M, Thorpe T A. 1996. Plant hormones and plant growth regulators in plant tissue culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 32 (4): 272 – 289.
- Isaacson T, Ronen G, Zamir D, Hirschberg J. 2002. Cloning of tangerine from tomato reveals a carotenoid isomerase essential for the production of β -carotene and xanthophylls in plants. *The Plant Cell*, 14: 333 – 342.
- Liang Sun. 2012. Fruit-specific RNAi-mediated suppression of SINCED1 increases both lycopene and beta-carotene contents in tomato fruit. *Journal of Experimental Botany*, 63 (8): 3097 – 3108.
- Liao Ming-an, Liu Xu, Deng Guo-tao, Chen Shan-bo, Ren Ya-jun, Liu Wei-guo. 2009. Studies on the changes of endogenous hormones during fruit growth and development of two pear cultivars. *Journal of Fruit Science*, 26 (1): 25 – 31. (in Chinese)
- 廖明安, 刘 旭, 邓国涛, 陈善波, 任雅君, 刘卫国. 2009. 梨 2 个品种果实发育期间内源激素含量的变化. *果树学报*, 26 (1): 25 – 31.
- Liu Bing-hua, Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Sui Jing, Zhao Feng-xia, Wang Hai-yun. 2007. The dynamism changes of endogenous hormones in sweet cherry (*Prunus avium* L.) pulp. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (6): 1535 – 1538. (in Chinese)
- 刘丙花, 姜远茂, 彭福田, 隋 静, 赵凤霞, 王海云. 2007. 甜樱桃果实发育过程中激素含量的变化. *园艺学报*, 34 (6): 1535 – 1538.
- Liu Hai-he, Hou Xi-lin, Zhang Yan-ping, Yin Ya-le. 2006. Changes of endogenous hormones and polyamines in male flower buds of nuclear male

- sterile G17AB line watermelon. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (1): 143 - 145. (in Chinese)
- 刘海河, 侯喜林, 张彦萍, 尹雅乐. 2006. 西瓜核雄性不育系雄花蕾发育过程中内源激素和多胺动态变化分析. *园艺学报*, 33 (1): 143 - 145.
- Liu Peng, Liu Wen-ge, Zhao Sheng-jie, Yan Zhi-hong, He Nan, Lu Xu-qiang. 2012. Comparison on anatomic structure of fruit rind in different ploidy watermelons. *Journal of Fruit Science*, 29 (1): 296 - 301. (in Chinese)
- 刘鹏, 刘文革, 赵胜杰, 阎志红, 何楠, 路绪强. 2012. 不同倍性西瓜果实果皮解剖结构比较. *果树学报*, 29 (1): 296 - 301.
- Liu Shi-qi, Xing Yu-xian, Wang Bing-lin. 2003. Studies on exogenous hormones inducing parthenocarp of watermelon (*Citrullus lanatus* Mansfeld). *Scientia Agricultura Sinica*, 36 (9): 1071 - 1075. (in Chinese)
- 刘世琦, 邢禹贤, 王冰林. 2003. 外源激素诱导西瓜单性结实的研究. *中国农业科学*, 36 (9): 1071 - 1075.
- Liu Wen-ge, Wang Ming, Yan Zhi-hong. 2004. AFLP analysis of the genetic diversity between diploid and autopolyploid watermelon. *Journal of Fruit Science*, 21 (1): 46 - 49. (in Chinese)
- 刘文革, 王鸣, 阎志红. 2004. 西瓜二倍体及同源多倍体遗传差异的 AFLP 分析. *果树学报*, 21 (1): 46 - 49.
- Liu Wen-ge, Yan Zhi-hong, Rao Xiao-li. 2005. Comparison of the leaf epidermal ultra-structure morphology of different ploidy watermelon. *Journal of Fruit Science*, 22 (1): 31 - 34. (in Chinese)
- 刘文革, 阎志红, 饶小莉. 2005. 不同倍性西瓜的叶表皮微形态特征比较. *果树学报*, 22 (1): 31 - 34.
- Luan Li, Fan Lun, He Tao, Liu Gang, Tu Sheng-bin. 2004. Genetic variation of tetraploid and diploid rice revealed by microsatellite marks. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 10 (5): 556 - 558. (in Chinese)
- 栾丽, 樊伦, 何涛, 刘刚, 涂升斌. 2004. 用 SSR 标记检测同源四倍体与二倍体水稻的遗传差异. *应用与环境生物学报*, 10 (5): 556 - 558.
- Shiwachi H, Ayankanmi T, Asiedu R, Onjo M. 2003. Influence of exogenous gibberellin inhibitors on tuber sprouting in yam. *Tropical Science*, 43(3): 147 - 151.
- Stupar R M, Bhaskar P B, Yandell B S, Rensink W A, Hart A, Ouyang S, Veilleux R E, Busse J S, Erhardt R J, Buell C R, Jiang J. 2007. Phenotypic and transcriptomic changes associated with potato autopolyploidization. *Genetics*, 176: 2055 - 2067.
- Tang Li-juan, Wan Yi-qun. 2009. Progress in methods for analyzing plant hormone. *Food Science*, 30 (21): 393 - 398. (in Chinese)
- 唐莉娟, 万益群. 2009. 植物激素的分析研究进展. *食品科学*, 30 (21): 393 - 398.
- Wan Xue-shan, Liu Wen-ge, Yan Zhi-hong, Zhao Sheng-jie, He Nan, Liu Peng, Dai Jun-wei. 2011. Changes of the contents of functional substances including lycopene, citrulline and ascorbic acid during watermelon fruits development. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (13): 2738 - 2747. (in Chinese)
- 万学闪, 刘文革, 阎志红, 赵胜杰, 何楠, 刘鹏, 代军委. 2011. 西瓜果实发育过程中番茄红素、瓜氨酸和 VC 等功能物质含量的变化. *中国农业科学*, 44 (13): 2738 - 2747.
- Wang Gui-yuan, Xia Ren-xue. 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*, 32 (3): 482 - 485. (in Chinese)
- 王贵元, 夏仁学. 2005. 红肉脐橙果实发育过程中番茄红素、 β -胡萝卜素、糖、GA、ABA 含量的变化. *园艺学报*, 32 (3): 482 - 485.
- Wu Bang-liang, Xia Chun-sen, Zhao Zong-fang, Li Yu-san. 1995. Fruit trees flowering and setting physiology and regulation technology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press: 107 - 110. (in Chinese)
- 吴邦良, 夏春森, 赵宗方, 李玉三. 1995. 果树开花结实生理和调控技术. 上海: 上海科学技术出版社: 107 - 110.
- Yan Guo-hua, Gan Li-jun, Sun Rui-hong, Zhang Li-hua, Zhou Xie. 2000. A study on the mechanisms of exo-gibberellins and cytokinins in the growth regulation of young apple fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 27 (1): 11 - 16. (in Chinese)
- 阎国华, 甘立军, 孙瑞红, 张利华, 周燮. 2000. 赤霉素和细胞分裂素调控苹果早期生长发育机理的研究. *园艺学报*, 27 (1): 11 - 16.
- Yuan Ping-li, Liu Wen-ge, Lu Xu-qiang, Zhao Sheng-jie, Lu Jin-sheng, Yan Zhi-hong, He Nan, Zhu Hong-ju, Guan Li-ying. 2012. Change of lycopene contents during fruit development of different ploidy watermelon. *Journal of Fruit Science*, 29 (5): 890 - 894. (in Chinese)
- 袁平丽, 刘文革, 路绪强, 赵胜杰, 芦金生, 阎志红, 何楠, 朱红菊, 关立颖. 2012. 不同倍性西瓜果实发育过程中番茄红素含量动态. *果树学报*, 29 (5): 890 - 894.

- Yuan P L, Liu W G, Zhao S J, Lu X Q, Yan Z H, He N, Zhu H J. 2012. Lycopene content and expression of phytoene synthase and lycopene β -cyclase genes in tetraploid watermelon//Proceedings of the Xth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae. Antalya, Turkey: 315 - 324.
- Zhang Shao-ling, Gao Fu-yong, Chen Di-xin, Gu Zhi-xin. 2003. The effects of plant growth regulating substances on pollen germination and tube growth in Fengshui pear (*Pyrus serotina*). Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 23 (4): 586 - 591. (in Chinese)
- 张绍铃, 高付永, 陈迪新, 顾志新. 2003. 植物生长调节物质对丰水梨花粉萌发和花粉管生长的影响. 西北植物学报, 23 (4): 586 - 591.
- Zhang Yong, Zhang Xian, Cheng Zhi-hui, Ma Jian-xiang, Xian Feng. 2011. Hormonal changes in developing fruits of seedless mutant of watermelon. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 31 (6): 1152 - 1156. (in Chinese)
- 张勇, 张显, 程智慧, 马建祥, 咸丰. 2011. 西瓜无籽变异株果实发育期激素含量变化特征. 西北植物学报, 31 (6): 1152 - 1156.
- Zhong Xiao-hong, Ma Ding-wei, Huang Yuan-fei. 2004. Content variation of endogenous hormone during fruit developing period of strawberry. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 26 (1): 107 - 111. (in Chinese)
- 钟晓红, 马定渭, 黄远飞. 2004. 草莓果实发育过程中内源激素水平的变化. 江西农业大学学报, 26 (1): 107 - 111.

征 订

《中国蔬菜栽培学》(第2版)

《中国蔬菜栽培学》(第2版)于2009年10月由中国农业出版社出版发行。全书约250万字,分总论、各论、保护地蔬菜栽培、采后处理及贮藏保鲜共4篇。总论篇概要地论述了中国蔬菜栽培的历史、产业现状,中国蔬菜的起源、来源和种类,蔬菜作物生长发育和器官形成与产品质量的关系,蔬菜生产分区、栽培制度和技术原理,蔬菜栽培的生理生态基础以及环境污染与蔬菜的关系等;各论篇较详细地介绍了根菜类、薯芋类、葱蒜类、白菜类、芥菜类、甘蓝类、叶菜类、瓜类、茄果类、豆类、水生类、多年生类、芽苗菜以及食用菌类蔬菜的优良品种、栽培技术、病虫害综合防治、采收等方面的技术经验和研究成果;保护地蔬菜栽培篇论述了中国蔬菜保护地的类型、构造和应用,主要栽培设施的设计、施工,保护地环境及调节,保护地蔬菜栽培技术;采后处理及贮藏保鲜篇重点介绍了蔬菜采后处理技术及贮藏原理和方法等。与原著(1987年版)相比较,具有如下特点:

1. 重点增加了自20世纪80年代后期以来,中国在蔬菜栽培理论、无公害蔬菜栽培技术、推广应用的新品种、病虫害综合防治以及在蔬菜产品质量、产品采后处理及贮藏保鲜原理和技术等方面取得的新成果、新进展;概述了改革开放以来中国蔬菜产、销通过商品基地建设、流通体系建设等在解决蔬菜周年生产和供应方面所取得的成绩。
2. 对蔬菜栽培历史,蔬菜的起源、来源,分类,蔬菜学名,病虫害学名等进行了复核,校勘。
3. 尽可能地反映不同学术思想和观点;尽量反映不同生态区,包括中国台湾地区在内的栽培技术特点。
4. 删去了“蔬菜的加工”和“野生蔬菜”两章,以使本书的内容更加切题。另在附录中增加了“主要野生蔬菜简表”、“主要野生食用菌简表”和“主要香辛料蔬菜简表”3个附表。

本书由中国农业科学院蔬菜花卉研究所主编,组织全国有较高学术水平和实际工作经验的专家、学者和技术人员130余人分别撰写,反映了21世纪初中国蔬菜栽培科学研究和蔬菜生产技术的水平,内容较全面、系统,科学性、学术性强,亦有较强的实用性,插有近500张彩图,可供相关科研人员、农业院校师生、专业技术及管理人员等参考。

定价:330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研究所《园艺学报》编辑部,邮编100081。