

郭健,曹珂,朱更瑞,等.蟠桃与圆桃果实4种内源激素含量差异分析[J].江苏农业科学,2016,44(3):196-199.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.03.055

# 蟠桃与圆桃果实4种内源激素含量差异分析

郭健,曹珂,朱更瑞,方伟超,陈昌文,王新卫,关利平

(中国农业科学院郑州果树研究所,河南郑州 450009)

**摘要:**以龙1-2-3、龙1-2-4、龙1-2-6、北京晚蟠桃、96-2-51、96-2-43各3份蟠桃和圆桃为试验材料,利用间接酶联免疫法(ELISA)测定果实顶部和中部中果皮生长素(IAA)、细胞分裂素(ZR)、赤霉素( $GA_3$ 、 $GA_4$ )4种植物内源激素的含量;以中蟠桃10号和中桃红玉为试验材料,研究果实发育过程中内源激素的含量变化。结果表明,多数圆桃果实IAA、 $GA_4$ 含量显著高于蟠桃,且3份圆桃种质果实顶部的 $GA_4$ 含量明显高于中部;同一时期,圆桃、蟠桃果实的ZR、 $GA_3$ 含量基本无差异;较其他激素而言,在整个发育期果实IAA含量相对较高。IAA、 $GA_4$ 对蟠桃、圆桃果实发育及果形形成具有非常重要的影响。

**关键词:**蟠桃;圆桃;果实;植物激素;果实发育;果形;中果皮;IAA;赤霉素

**中图分类号:** S662.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)03-0196-04

植物激素与果实发育密切相关,生长素(IAA)与细胞分裂素(ZR)被认为是调控果实发育过程的主要植物激素<sup>[1]</sup>,Pattison等认为,番茄果实发育过程中生长素浓度存在明显差异,果实中心部位IAA浓度高于中果皮<sup>[2]</sup>。赤霉素( $GA_3$ 、 $GA_4$ )亦具有促进番茄果实坐果及果实发育的功能,研究表明,在番茄花后8 d及成熟前15 d,赤霉素含量存在高峰,与细胞分裂及膨大有关<sup>[3]</sup>。玉米素类细胞分裂素在葡萄细胞分裂与果实发育中具有显著作用<sup>[4]</sup>。大量研究表明,生长素、细胞分裂素、赤霉素在果实生长发育过程中起重要作用<sup>[5]</sup>。

收稿日期:2015-08-31

基金项目:国家“863”计划(编号:2013AA102606)。

作者简介:郭健,硕士研究生,从事果树种质资源研究。E-mail: ytguojian@163.com。

桃果实生长曲线属双“S”形,在花后子房迅速膨大为第Ⅰ期;果实生长缓慢期、核木质化开始,这是胚的生长高峰期,为第Ⅱ期;果实第2次迅速生长,细胞体积增长、果肉厚度明显增加,直至果实成熟,为第Ⅲ期。研究认为,蟠桃的纵径在第Ⅰ期、第Ⅲ期显著小于圆桃,侧径没有差异;在整个发育过程中,蟠桃的纵径是圆桃的60%左右<sup>[6]</sup>。

桃果形具有扁平形(蟠桃)与圆形(普通桃)2种主要类型,该性状由1对等位基因控制,其中扁平形(S)对圆形(s)为显性<sup>[7]</sup>。果实发育与植物内源激素也具有密不可分的关系,不同果形桃品种果实的生长发育与主要激素的作用关系尚未清楚。目前,桃果形的研究主要集中于果形基因的定位,而未见果形形成生理机制以及蟠桃、圆桃横轴与纵轴方向细胞分裂、膨大等调控的相关报道。本试验通过测定2种不同果形桃品种果实发育期不同部位生长素、细胞分裂素及赤霉

的直径及果肉厚度;先锋砧木含糖量与其他3个处理存在显著性差异,说明砧木嫁接对哈密瓜含糖量有一定影响;不同砧木嫁接的哈密瓜产量显著高于CK,表明砧木嫁接可以明显提高哈密瓜的产量。

## 3 结论与讨论

根部病害是制约哈密瓜在江苏地区发展的主要问题之一。为解决其病害问题,徐兰等在上海地区开展引种及砧木嫁接筛选试验,结果表明,以南瓜为砧木进行嫁接,砧穗亲和力和果实品质表现均较好,嫁接后哈密瓜的抗病性增强、糖度有显著增加,没有异味<sup>[10]</sup>。本试验表明,砧木嫁接后哈密瓜产量有明显提高,与徐兰等研究结论<sup>[10]</sup>一致。在此基础上,本试验还对哈密瓜的主要成分进行测定分析,对相关研究进行补充,进一步阐明砧木嫁接可对哈密瓜的主要成分产生影响,这为今后嫁接砧木的选择及砧木应用提供参考依据。

## 参考文献:

[1]刘君璞,许勇,孙小武,等.我国西瓜甜瓜产业“十一五”的展望

及建议[J].中国瓜菜,2006(1):1-3.

[2]顾月兰.上海地区哈密瓜品种引进及其配套栽培技术研究[D].南京:南京农业大学,2004.

[3]孙文.水果和蔬菜中维生素C含量的测定方法综述[J].天津化工,2008(5):58-59.

[4]聂小林,孙伟.食品两种灰分测定的方法适用性的研究[J].食品质量安全检测报告,2014(3):925-927.

[5]GB/T 8858—1988 水果、蔬菜产品中干物质和水分含量的测定方法[S].北京:国家标准化管理委员会,1988.

[6]陈永杰.几种水果有效酸度的测定[J].潍坊高等职业教育,2010(2):58-59,67.

[7]周春丽,钟贤武,范鸿冰,等.果蔬及其制品中可溶性总糖和还原糖的测定方法评价[J].食品工业,2012(5):89-92.

[8]冯正滔.试析食品中蛋白质含量的测定方法[J].广西质量监督导报,2008(9):78-80.

[9]张江荣,杨军,董文明.食品中粗脂肪测定方法的改进研究[J].现代农业科技,2012(3):333-334.

[10]徐兰,张旭,金春英,等.不同砧木嫁接对哈密瓜生长、产量及品质的影响[J].上海农业学报,2012,28(1):73-77.

素的含量,比较其差异,从生理水平初步探讨导致果形出现差异的原因,研究植物内源激素对果形形成的作用,以确定导致桃果形差异的主要内源激素。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料均来自中国农业科学院郑州果树研究所国家桃种质资源圃。采集龙 1-2-3、龙 1-2-4、龙 1-2-6、北京晚蟠桃、96-2-51、96-2-43 共 6 个桃品种硬核后、未成熟前果实顶部与中部的中果皮果肉,研究果实不同部位的内源激素含量。以中蟠桃 10 号(蟠桃)、中桃红玉(圆桃)2 个桃品种为试验材料,采集果实第 1 次快速生长期(S1)、硬核期(S2)、第 2 次快速生长期(S3)、生理成熟期(S4)共 4 个时期的中果皮果肉,不区分部位,研究不同果形桃品种果实发育过程中的激素含量变化;中桃红玉 4 个采样时间分别是 4 月 22 日(花后 30 d)、5 月 12 日(花后 50 d)、5 月 28 日(花后 65 d)、6 月 14 日(花后 85 d);中蟠桃 10 号 4 个采样时间分别是 4 月 22 日(花后 30 d)、5 月 28 日(花后 65 d)、6 月 14 日(花后 85 d)、7 月 9 日(花后 110 d)。液氮速冻,于超低温冰箱中保存、备用。

### 1.2 测定方法

采用间接酶联免疫法<sup>[8]</sup>测定,测定的激素种类包括生长素(IAA)、细胞分裂素(ZR)、赤霉素(GA<sub>3</sub>、GA<sub>4</sub>),ELISA 试剂盒由中国农业大学提供。

### 1.3 数据分析

利用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实 IAA 含量差异分析

IAA 具有促进细胞分裂、果实发育的作用。由图 1 可见,圆桃、蟠桃各 3 个共 6 个桃品种中,圆桃、蟠桃果实均未表现出明显的顶部 IAA 含量高于或低于中部的变化规律;3 个圆桃果实的 IAA 含量几乎全部显著高于蟠桃,其果实整体的平均 IAA 含量高于蟠桃,为蟠桃的 3 倍。这说明 IAA 在促进圆桃果实沿纵轴方向生长发育的作用方面强于蟠桃,IAA 可能促进了圆桃果实顶部细胞的分裂与膨大,而使圆桃形成圆形的果实。

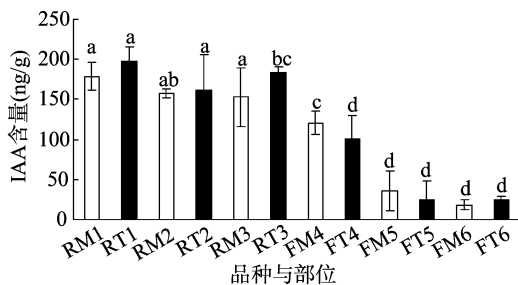


图 1 不同桃品种 2 个部位果实的中果皮果肉 IAA 含量  
R—圆桃, F—蟠桃; M—果实中部, T—果实顶部;  
1—龙 1-2-3, 2—龙 1-2-4, 3—龙 1-2-6, 4—北京晚蟠桃, 5—96-2-51, 6—96-2-43; 不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同

图 1 不同桃品种 2 个部位果实的中果皮果肉 IAA 含量

由图 2 可见,随果实生育期发展,IAA 含量变化整体呈下降趋势;与中蟠桃 10 号相比,中桃红玉果实在 S1—S2 发育前

期维持相对较高浓度的 IAA,在 S2—S3 时期果实 IAA 含量高于中蟠桃 10 号,这表明果实发育过程中,有一段时间(S2—S3 时期)圆桃果实的 IAA 含量高于蟠桃。

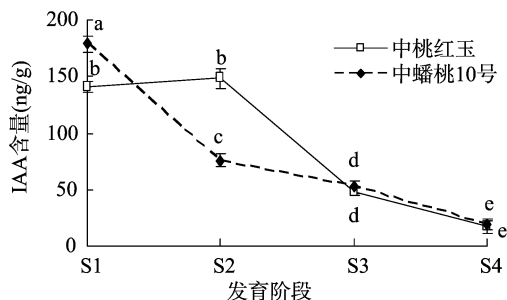


图 2 中桃红玉和中蟠桃 10 号发育过程中果实中果皮果肉 IAA 含量变化  
S1—第 1 次快速生长期; S2—硬核期;  
S3—第 2 次快速生长期; S4—成熟期。下同

### 2.2 果实 ZR 含量差异分析

ZR 是细胞分裂素中的 1 种,也具有促进细胞分裂的作用。由图 3 可见,不同品种果实顶部与中部的 ZR 含量各不相同,无论是圆桃还是蟠桃,同一个品种果实顶部与中部 ZR 含量差异不显著;圆桃果实平均 ZR 含量为蟠桃的 2 倍,相比于 IAA 的 3 倍,差异相对较小。由图 4 可见,果实生长发育过程中,中蟠桃 10 号、中桃红玉果实的 ZR 含量均逐渐降低,在果实相同发育时期,两者果实的 ZR 含量无显著性差异。这说明 ZR 在促进圆桃与蟠桃果实发育过程中的作用基本相同,并不是造成果形差异的主要因素。

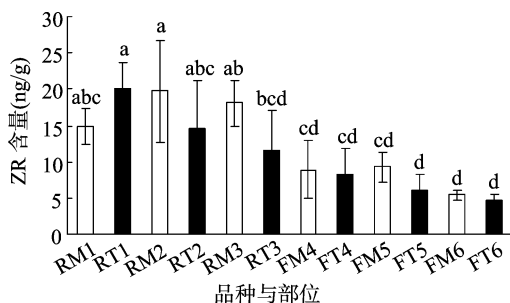


图 3 不同桃品种 2 个部位果实的中果皮果肉 ZR 含量

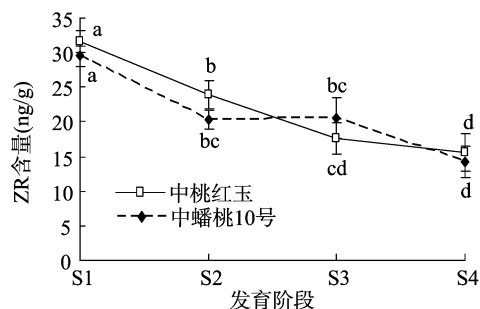


图 4 中桃红玉和中蟠桃 10 号发育过程中果实中果皮果肉 ZR 含量变化

### 2.3 果实 GA<sub>4</sub> 含量差异分析

GA<sub>4</sub> 具有促进细胞分裂、伸长及膨大的作用。由图 5 可见,6 个桃品种中,圆桃果实顶部的 GA<sub>4</sub> 含量显著高于果实中部,龙 1-2-3、龙 1-2-4、龙 1-2-6 果实顶部的 GA<sub>4</sub> 含量分别是果实中部的 2.3、1.5、1.6 倍;蟠桃果实顶部与中部的

GA<sub>4</sub> 含量没有与圆桃类似的变化规律,且果实顶部与中部 GA<sub>4</sub> 含量差异不显著。3 个圆桃的 GA<sub>4</sub> 平均含量比蟠桃高 78%。

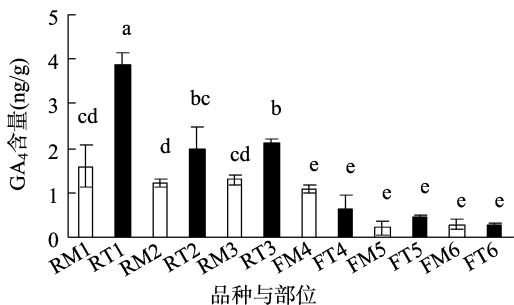


图5 不同品种 2 个部位果实的中果皮果肉 GA<sub>4</sub> 含量

由图 6 可见,随果实生育期发展,中蟠桃 10 号、中桃红玉果实的 GA<sub>4</sub> 含量变化呈相反趋势,并非整个发育期圆桃的 GA<sub>4</sub> 含量都高于蟠桃;在 S2—S3 时期,中桃红玉果实的 GA<sub>4</sub> 含量高于中蟠桃 10 号,这段时期恰好也是圆桃果实 IAA 含量高于蟠桃的时期;果实同一发育时期,中蟠桃 10 号在发育前期(S1)的 GA<sub>4</sub> 含量显著高于中桃红玉,是其 1.8 倍;中蟠桃 10 号硬核期果实的 GA<sub>4</sub> 含量显著下降,下降幅度为 50%,后趋于稳定;在发育前期至硬核期,中桃红玉果实的 GA<sub>4</sub> 含量维持较高水平,后下降并趋于稳定。

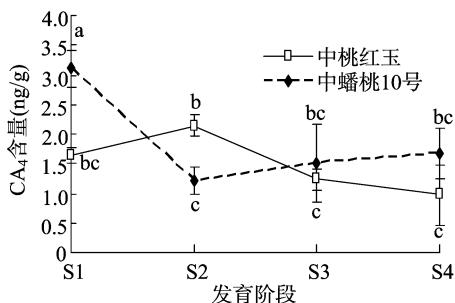


图6 中桃红玉和中蟠桃10号发育过程中果实中果皮果肉的GA<sub>4</sub>含量变化

#### 2.4 果实 GA<sub>3</sub> 含量差异分析

由图 7 可见,6 个桃品种中,无论圆桃还是蟠桃,果实顶部 GA<sub>3</sub> 含量整体上未明显表现出高于或低于果实中部的变化规律,圆桃与蟠桃果实的 GA<sub>3</sub> 整体平均含量相差不大,圆桃果实 GA<sub>3</sub> 平均含量仅比蟠桃高 18%,相对于 IAA、GA<sub>4</sub>、ZR,其含量变化在圆桃、蟠桃中差异最不明显。由图 8 可见,随果实生育期发展,GA<sub>3</sub> 含量变化整体呈下降趋势;在相同发育时期,圆桃、蟠桃果实的 GA<sub>3</sub> 含量差异不显著。因此,GA<sub>3</sub> 在果形形成过程中的地位与 ZR 相同,仅作为果实发育过程中需要的一种内源激素,并不是影响果形产生差异的主要原因。

### 3 结论与讨论

植物激素对果实的生长发育及成熟具有重要作用,授精受精是果实发育的第一步,也是最重要的一步,受精后的子房产生大量的植物激素,进一步促进子房壁及植物其他器官的生长发育<sup>[9]</sup>。有研究表明,种子中生长素和细胞分裂素的增加,促进了果实细胞分裂及细胞膨大<sup>[10]</sup>。桃果实的生长发育

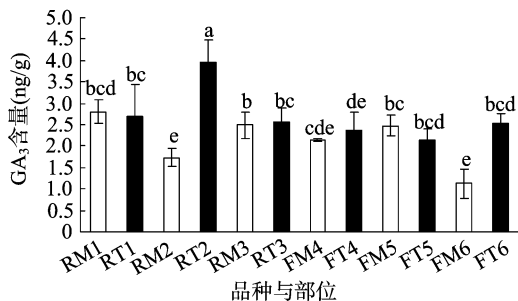


图7 不同桃品种 2 个部位果实的中果皮果肉 GA<sub>3</sub> 含量

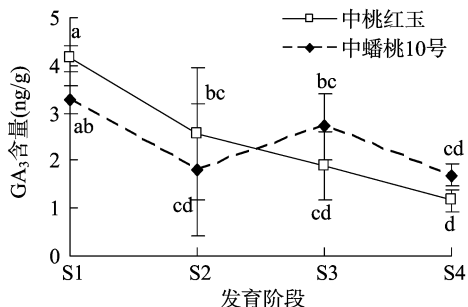


图8 中桃红玉和中蟠桃10号发育过程中果实中果皮果肉的GA<sub>3</sub>含量变化

及桃园、扁不同果形的形成也应该受到各种植物激素的广泛作用,前人研究多集中在测定桃果实软化与激素的关系,蟠桃裂果与激素的关系及缝合线变软与激素的关系等<sup>[11-13]</sup>。有研究指出,果实内源激素含量的不均匀会导致苹果果实的偏斜,即产生非正常果形的果实<sup>[14]</sup>,通过外施 IAA、BA、GA<sub>3</sub> 等激素,可以降低苹果果实的偏斜<sup>[15]</sup>。前人对苹果正常果与畸形果内源激素的含量进行分析认为,内源激素的差异是导致畸形果出现的一个重要因素,畸形果中的内源激素含量普遍低于正常果<sup>[16]</sup>。同样,梨果实偏斜也是由于内源激素含量不均匀引起的<sup>[17]</sup>。另外,有研究表明,外施赤霉素可以促进番茄形成单性结实的果实,且与正常授精受精后发育的果实基本相同<sup>[18]</sup>。闫国华等认为,赤霉素可能参与促进苹果细胞伸长,进而影响果实发育的生物学过程<sup>[19]</sup>。

相比圆桃,蟠桃果形扁平的性状是否也是由于内源激素分布不均匀而导致的? 本试验从果实顶部与中部等不同部位着手,分别测定 3 种圆桃、3 种蟠桃果实顶部与中部主要的内源激素含量,分析导致蟠桃、圆桃果形形成差异的生理因素。结果表明,6 份桃种质中,无论果实顶部或中部,圆桃果实的 IAA、GA<sub>4</sub> 含量要明显高于蟠桃,而相对于圆桃,蟠桃是一种果形变扁的“畸形果”,这与激素含量差异引起畸形果实产生的结论<sup>[14,16]</sup> 较为一致。圆桃果实顶部与中部 GA<sub>4</sub> 含量的显著差异及圆桃、蟠桃整体平均 GA<sub>4</sub> 水平的差异,反映圆桃果实顶部较高浓度的 GA<sub>4</sub> 促进了果实顶部的细胞伸长、细胞分裂等,使果实具有向上生长、膨大的能力,并最终表现出圆桃的果形特点。对于蟠桃而言,由于 GA<sub>4</sub> 分布不规律,且 GA<sub>4</sub> 含量整体低于圆桃,则表现出区别于圆桃的果形特点。

在桃整个生长发育过程中,测定 2 个不同果形桃品种果实的 4 种主要植物内源激素含量发现,IAA 含量在果实发育初期较高,并随果实发育逐渐降低,这与 Boettcher 等研究结

论<sup>[20-21]</sup>较为一致;在发育 S2—S3 时期,中桃红玉果实的 IAA 含量高于中蟠桃 10 号,这说明圆桃在形成圆形果实过程中,一段时间内较高浓度的 IAA 促进了圆形果实的正常发育;中蟠桃 10 号与中桃红玉果实的 GA<sub>4</sub> 含量变化差异相对较大,两者 GA<sub>4</sub> 含量变化呈相反趋势,这说明在形成不同果形果实的过程中,GA<sub>4</sub> 确实起到极其重要的作用,与 Serrani 等研究结论<sup>[22]</sup>趋于一致;同一时期,圆桃、蟠桃果实的 ZR、GA<sub>3</sub> 含量差异不明显,这 2 种激素在圆桃、蟠桃果实发育及果形形成过程中表现较为一致,不是影响果形出现差异的因素。有研究表明,种子是果实中植物激素的主要来源,种子中丰富的植物激素刺激着种子周围组织的快速正常生长<sup>[23-24]</sup>,苹果果实内含有种子的多少甚至决定着苹果的果形<sup>[25]</sup>。而蟠桃果核、果实呈扁平状,发育过程中容易出现裂核、裂果等极端类型<sup>[6]</sup>,这些潜在的特点可能对激素的产生及运输产生影响,从而导致对果形的形成产生影响。

因此,本研究初步认为,IAA、GA<sub>4</sub> 共同参与调控桃果实发育过程中果形的形成,其中 IAA 通过在一定时期内不同类型果中的浓度差异,决定果形的形成;而 GA<sub>4</sub> 一方面通过不同浓度决定果形,另一方面通过圆桃中果实顶部与中部的浓度差异决定圆桃果形的形成。但是,这 2 种激素如何具体调控果实生长发育,进而形成不同圆、扁形状的桃果实还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Seymour G B, Granell A. Fruit development and ripening[J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65(16): 4489–4490.
- [2] Pattison R J, Catala C. Evaluating auxin distribution in tomato (*Solanum lycopersicum*) through an analysis of the PIN and AUX/LAX gene families[J]. The Plant Journal, 2012, 70(4): 585–598.
- [3] Srivastava A, Handa A K. Hormonal regulation of tomato fruit development; a molecular perspective[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2005, 24(2): 67–82.
- [4] 肖年湘, 郁松林, 王春飞. 6-BA、玉米素对全球红葡萄果实发育过程中糖分含量和转化酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 227–231.
- [5] Mariotti L, Picciarelli P, Lombardi L A. Fruit-set and early fruit growth in tomato are associated with increases in indoleacetic acid, cytokinin, and bioactive gibberellin contents[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2011, 30(4): 405–415.
- [6] 王力荣. 桃果实无毛和扁平基因的遗传多效性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [7] Lesley J W. A genetic study of saucer fruit shape and other characters in the peach[J]. Proc Am Soc Hortic Sci, 1940, 37: 218–222.
- [8] 吴颂如, 陈婉芬, 周 燮. 酶联免疫法(ELISA)测定内源植物激素[J]. 植物生理学通讯, 1988(5): 53–57.
- [9] Klee H J, Giovannoni J J. Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes[J]. Annual Review of Genetics, 2011, 45: 41–59.
- [10] Blumenfeld A, Gazit S. Cytokinin activity in avocado seeds during fruit development[J]. Plant Physiology, 1970, 46(2): 331–333.
- [11] Pan L, Zeng W F, Niu L, et al. Sequence characteristics and expression analysis of IAA-leucine resistant I-like hydrolase genes in peach[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(2): 243–251.
- [12] 李 阳, 刘悦萍, 张 巍. 桃果实不同发育时期正常和裂核果实内激素含量的变化[C]. 第一届细胞、分子生物学、生物物理学和生物工程会议, 黑龙江齐齐哈尔, 2010.
- [13] 张 雪, 刘志民, 陈华君, 等. 桃果实缝合线软化过程中内源激素的变化[J]. 果树学报, 2008, 25(2): 172–177, 封 4.
- [14] 梁家伟. 外源激素对富士苹果果形影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [15] 杜 研, 李建贵, 侍 瑞, 等. BA、GA<sub>3</sub> 和 IAA 对富士苹果果形形成的影响[J]. 植物生理学报, 2013, 49(9): 895–901.
- [16] 杜 研. 阿克苏富士苹果果形形成机理与调控研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013.
- [17] 陈小明. 梨果形偏斜因子研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [18] Ohmiya A. Effects of auxin on growth and ripening of mesocarp discs of peach fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2000, 84(3/4): 309–319.
- [19] 闫国华, 甘立军, 孙瑞红, 等. 赤霉素和细胞分裂素调控苹果果实早期生长发育机理的研究[J]. 园艺学报, 2000, 27(1): 11–16.
- [20] Boettcher C, Keyzers R A, Boss P K. Sequestration of auxin by the indole-3-acetic acid-amido synthetase GH3-1 in grape berry (*Vitis vinifera* L.) and the proposed role of auxin conjugation during ripening[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(13): 3615–3625.
- [21] Tatsuki M, Nakajima N, Fujii H, et al. Increased levels of IAA are required for system 2 ethylene synthesis causing fruit softening in peach (*Prunus persica* L. Batsch)[J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(4): 1049–1059.
- [22] Serrani J C, Ruiz-Rivero O, Fos M A. Auxin-induced fruit-set in tomato is mediated in part by gibberellins[J]. The Plant Journal, 2008, 56(6): 922–934.
- [23] Crane J C. Growth substances in fruit setting and development[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1964, 15: 303–326.
- [24] Ozga Z A, Yu J, Reinecke D M. Pollination-, development-, and auxin-specific regulation of gibberellin 3-hydroxylase gene expression in pea fruit and seeds[J]. Plant Physiology, 2003, 131(3): 1137–1146.
- [25] 杜 研, 李建贵, 侍 瑞, 等. 授粉受精对富士苹果果形形成的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2013, 36(3): 202–206.